Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados

BR-CORTE

4ª edição

Editores:

Sebastião de Campos Valadares Filho

Douglas Teixeira Saraiva

Pedro del Bianco Benedeti

Flávia Adriane de Sales Silva

Mario Luiz Chizzotti

2023

4ª edição

Exemplares deste livro podem ser adquiridos:

Livraria UFV on-line

www.editoraufv.com.br

Diagramação e montagem:

Edson Agostinho Pereira (31) 3612-4623

Capa e Arte:

Samira Silveira Moreira, Pedro del Bianco Benedeti e Douglas Teixeira Saraiva

Impressão e acabamento:

Suprema Gráfica Ltda (32) 99975-0062

Ficha catalográfica elaborada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa

B794 2023

BR-CORTE : exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados / Sebastião de Campos Valadares Filho … [et al], editores. -- 4. ed. -- Visconde de Rio Branco, MG : Suprema, 2023.
xxi, 480 p. : il. ; 41 cm.

Inclui bibliografia.
DOI: http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-192-0.2023.B001
ISBN 978-85-8179-192-0

1. Bovinos de corte – Pesos e medidas. I. Valadares Filho, Sebastião de Campos, 1955-. II. Saraiva, Douglas Teixeira, 1992-. III. Benedeti, Pedro Del Bianco, 1985. IV. Silva, Flávia Adriane de Sales, 1990-. V. Chizzotti, Mario Luiz, 1980-.

CDD 22. ed. 636.213

Bibliotecário responsável: Euzébio Luiz Pinto CRB-6/3317

Índice

Capítulo	Título	Pág.
01	**Ajuste do peso corporal de bovinos para condições fisiológicas e de alimentação ……...** *Mateus Pies Gionbelli, Sebastião de Campos Valadares Filho, Edenio Detmann, Karolina Batista Nascimento, Flávia Adriane de Sales Silva*	01
02	**Regulação e predição de consumo de matéria seca ……...** *José Augusto Gomes Azevêdo, Sebastião de Campos Valadares Filho, Guilherme Lobato Menezes, Luiz Fernando Costa e Silva, Lígia Lins Souza, Polyana Pizzi Rotta, Luciana Navajas Rennó, Mário Fonseca Paulino, Ivanor Nunes de Prado, Robério Rodrigues Silva, Gleidson Giordano Pinto de Carvalho, Ériton Egídio Lisboa Valente, Maria Izabel Batista Pereira, Ricardo Andrade Reis*	15
03	**Degradação ruminal da proteína dos alimentos e síntese de proteína microbiana ……....** *Stefanie Alvarenga Santos, Polyana Pizzi Rotta, Luiz Fernando Costa e Silva, Ana Clara Baião Menezes e Sebastião de Campos Valadares Filho*	45
04	**Predição do valor energético de dietas para bovinos a partir da composição química dos alimentos .....** *Edenio Detmann, Tadeu Eder da Silva, Sebastião de Campos Valadares Filho, Cláudia Batista Sampaio, Malber Nathan Nobre Palma*	75
05	**Predição da composição corporal e da carcaça de bovinos de corte ….** *Flávia Adriane de Sales Silva, Letícia Artuzo Godoi, Luiz Fernando Costa e Silva, Breno de Castro Silva, Marcos Inácio Marcondes, Mário Fonseca Paulino, Pedro Del Bianco Benedeti, Mario Luiz Chizzotti, Sebastião de Campos Valadares Filho*	113
06	**Predição do peso de carcaça, espessura de gordura subcutânea e perda de peso corporal durante o transporte de bovinos de corte …..** *Flávia Adriane de Sales Silva, Pedro del Bianco Benedeti, Breno de Castro Silva, Gutierrez José de Freitas Assis, Débora Evelyn de Freitas Assis, Victor Graciliano Luccas da Fonseca, Dhones Rodrigues de Andrade, Sebastião de Campos Valadares Filho, Mario Luiz Chizzotti*	139
07	**Respirometria e exigências nutricionais de zebuínos e cruzados de leite, em diferentes níveis de alimentação e estádios fisiológicos ….....** *Ana Luiza da Costa Cruz Borges, Ricardo Reis e Silva, Alexandre Lima Ferreira, Helena Ferreira Lage, Paolo Antônio Dutra Vivenza, Pedro Henrique Araújo de Carvalho, Marcelina Pereira da Fonseca, Lúcio Carlos Gonçalves, Norberto Mário Rodriguez †*	165
08	**Exigências de energia para bovinos de corte ……...** *Pedro Del Bianco Benedeti, Marcos Inácio Marcondes, Alex Lopes da Silva, Flávia Adriane de Sales Silva, Mateus Pies Gionbelli, Sebastião de Campos Valadares Filho*	177
09	**Exigências de proteína e aminoácidos para bovinos de corte ……** *Flávia Adriane de Sales Silva, Pedro Del Bianco Benedeti, Luiz Fernando Costa e Silva, Polyana Pizzi Rotta, Ana Clara Baião Menezes, Laura Franco Prados, Marcos Inácio Marcondes, Sebastião de Campos Valadares Filho*	205
10	**Exigências de minerais para bovinos de corte .....** *Luiz Fernando Costa e Silva, Sebastião de Campos Valadares Filho, Diego Zanetti, Dhones Rodrigues de Andrade, Mateus Pies Gionbelli, Terry Eugene Engle, Mário Fonseca Paulino*	235

11 **Exigências nutricionais para vacas de corte vazias e gestantes …….** 273

Mateus Pies Gionbelli, Sebastião de Campos Valadares Filho, Marcio de Souza Duarte

12 **Exigências nutricionais de vacas de corte lactantes e seus bezerros ……...** 299

Sidnei Antônio Lopes, Luiz Fernando Costa e Silva, Sebastião de Campos Valadares Filho, Matheus Felipe de Lana Ferreira, Douglas Teixeira Saraiva, Éllem Maria de Almeida Matos, Pedro Veiga Rodrigues Paulino, Mário Fonseca Paulino, Gustavo Rezende Siqueira

13 **Predição da excreção de nitrogênio e fósforo para bovinos de corte.....** 329

Laura Franco Prados, Fernanda Helena Martins Chizzotti, Abmael da Silva Cardoso, Ana Claudia Ruggieri, Mario Luiz Chizzotti, Igor Lima Bretas, Breno de Castro Silva , Polyana Pizzi Rotta e Luiz Fernando Costa e Silva Sebastião de Campos Valadares Filho

14 **Predição do consumo de água para bovinos de corte.....** 347

Diego Zanetti, Laura Franco Prados, Breno de Castro Silva, Mateus Pies Gionbelli, Sebastião de Campos Valadares Filho

15 **Vitaminas para bovinos de corte……..……..** 361

Sebastião de Campos Valadares Filho, Dhones Rodrigues de Andrade, Júlia Travassos da Silva, Flávia Adriane de Sales Silva, Luciana Navajas Rennó, Mário Fonseca Paulino

16 **Aditivos para bovinos de corte…….....** 389

Flávia Adriane de Sales Silva, Breno de Castro Silva, Sidnei Antônio Lopes, Danillo Domingues Millen, Telma Teresinha Berchielli, Ana Luiza da Costa Cruz Borges, Laura Franco Prados, Mario Luiz Chizzotti, Marcos Vinícius Carneiro Pacheco, Fabyano Fonseca e Silva†, Sebastião de Campos Valadares Filho

17 **Tabelas de exigências nutricionais de bovinos de corte.....……..** 431

Pedro Del Bianco Benedeti, Flávia Adriane de Sales Silva, Douglas Teixeira Saraiva, Sidnei Antônio Lopes, Luiz Fernando Costa e Silva , Diego Zanetti, Sebastião de Campos Valadares Filho

Biografia dos membros do comitê

Sebastião de Campos Valadares Filho
Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (1977), mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal de Minas Gerais (1981) e doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (1984). Em 1998, concluiu estágio de pós-doutorado no USDFRC, Madison- USA. Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Viçosa. Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em Nutrição e Alimentação Animal, atuando principalmente nas seguintes linhas de pesquisa: avaliação de alimentos para ruminantes, exigências nutricionais de ruminantes com ênfase em zebuínos e desempenho de bovinos de corte. Foi chefe do departamento de Zootecnia no período de fevereiro de 1999 a fevereiro de 2003 e, de fevereiro de 2009 até março de 2013. Participou do Comitê Assessor do CNPq na área de Veterinária e Zootecnia no período de setembro de 2003 a agosto de 2006, sendo coordenador do CA em 2005-2006. Participou como membro da câmara de Zootecnia e Veterinária da FAPEMIG, de fevereiro de 2006 a fevereiro de 2010, sendo Coordenador da câmara CVZ no ano de 2010. Foi coordenador do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFV de março de 2003 a janeiro de 2009 e de janeiro de 2020 até fevereiro de 2023. Foi coordenador do INCT de Ciência Animal aprovado em 2008, com vigência até 2016, sendo novamente coordenador da segunda chamada do INCT de Ciência Animal aprovado em 2016, com vigência até 2024.

Ana Luiza da Costa Cruz Borges
Possui graduação em Medicina Veterinária pela Universidade Federal de Minas Gerais (1992), mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal de Minas Gerais (1995) e doutorado em Ciência Animal pela Universidade Federal de Minas Gerais (2000). Atualmente é professora Titular no Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, onde ministra a disciplina de Nutrição Animal no curso de graduação em Medicina Veterinária, Nutrição de Ruminantes e Exigências Nutricionais de Ruminantes nos cursos de Mestrado e Doutorado em Zootecnia. Orienta alunos no Mestrado e no Doutorado em Zootecnia, atuando em pesquisa na área de nutrição de bovinos, particularmente em determinação de exigências nutricionais, respirometria, calorimetria, avaliação de forrageiras tropicais e resíduos agroindustriais, estudo dos alimentos, estudos da fermentação ruminal e partição da digestão.

Diego Zanetti
Possui graduação em Zootecnia (2012) com Mestrado (2014) e Doutorado (2017) em Zootecnia, ambos pela UFV - Universidade Federal de Viçosa. Durante a graduação foi bolsista de Iniciação Científica do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal (INCT-CA). Durante o Doutorado, realizou período sanduíche na *Colorado State University*. Atualmente é Professor EBTT no Instituto Federal do Sul de Minas Gerais, campus Machado, onde coordena o curso de Bacharelado em Zootecnia. Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em Exigências Nutricionais dos Animais, Avaliação de Alimentos para Ruminantes e Nutrição e Metabolismo mineral.

Edenio Detmann
Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (1997), mestrado (1999) e doutorado (2002) em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa. Entre 2012 e 2013 realizou período sabático no *Department of Agricultural Research for Northern Sweden da Swedish University of Agricultural Sciences*. Atualmente é Professor Titular da Universidade Federal de Viçosa, pesquisador 1A do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e assessor científico de diversas fundações de amparo à

pesquisa e de periódicos nacionais e internacionais. Foi Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFV (2016-2019), Coordenador do Curso de Graduação em Zootecnia da UFV (2006-2009), Editor Científico Sênior da Revista Brasileira de Zootecnia (2011-2012), membro da Câmara de Veterinária e Zootecnia da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (2014-2015) e membro do Conselho Editorial da Editora UFV (2018-2019). É membro do corpo editorial do periódico *Animal Feed Science and Technology*. É pesquisador do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal (INCT-CA), no qual coordena a rede nacional de pesquisa em avaliação de alimentos, responsável pela normatização das análises de alimentos para animais. Na UFV, é chefe do Laboratório de Nutrição Animal, ministra disciplinas nas áreas de Análise de Alimentos, Experimentação Animal e Comunicação Científica e orienta estudantes de graduação e pós-graduação. Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em Avaliação de Alimentos para Animais, atuando principalmente nos seguintes temas: nutrição de bovinos em pastejo, métodos nutricionais aplicados à nutrição de ruminantes, experimentação animal e análise de alimentos.

Flávia Adriane de Sales Silva

Possui graduação em zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2014), mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2015) e doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2019). Realizou período sanduíche na *Pennsylvania State University* de agosto de 2017 a julho de 2018. Atuou como pesquisadora associada na Universidade Federal de Viçosa, monitora de disciplinas de graduação e pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa e consultora técnica no projeto de extensão LabNUR consultoria (ênfase em nutrição e produção de bovinos de corte). Atualmente é professora substituta de bovinocultura de leite no Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais.

José Augusto Gomes Azevêdo

Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (1994), especialização em Produção de Ruminantes pela Universidade Federal de Lavras (1997), mestrado, doutorado e pós-doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2001, 2009 e 2014). É bolsista em produtividade em pesquisa pelo CNPq e Professor Pleno do Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual de Santa Cruz; leciona a disciplina Nutrição Animal para os cursos de graduação em Agronomia e Medicina Veterinária e também, as disciplinas Nutrição de Ruminantes; Análise de Alimentos no Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, nível de mestrado e doutorado e Tópicos Especiais em Nutrição de Ruminantes no Programa de Pós-graduação em Zootecnia, nível de mestrado e doutorado; coordena o laboratório da UESC junto ao INCT em Ciência Animal, coordena o Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Alimentação de Ruminantes e coordena o Laboratório de Nutrição Animal. Foi Vice-Diretor do Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual de Santa Cruz de abril de 2015 até abril de 2017; Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal de agosto de 2010 até agosto de 2011 e do Colegiado de Medicina Veterinária em 1999. Vem realizando trabalhos com software de formulação de ração com custo mínimo. É revisor de periódicos nacionais e internacionais e consultor ad hoc do CNPq. Orienta estudantes de IC, mestrado, doutorado e pós-doutorado. Tem recursos de projeto de pesquisa financiado pelo CNPq, FAPESB, CAPES e BNB. Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em nutrição de ruminantes, atuando principalmente nos seguintes temas: uso de alimentos alternativos para ruminantes, exigências nutricionais, avaliação de alimentos, avaliação de carcaça e produção de cordeiros confinados.

Laura Franco Prados

Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2010), mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2012) e doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2016) com estágio sanduíche na *University of Nebraska-Lincoln* sob orientação do professor

Dr. Galen Erickson. Em 2016 realizou pós-doutorado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) sob supervisão do professor Dr. Sebastião de Campos Valadares Filho. Entre 2017 e 2020 realizou pós-doutorado na Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) sob supervisão do Dr. Flávio Resende e Dr. Gustavo Siqueira. No primeiro semestre de 2021 foi professora substituta da Universidade Estadual Paulista (UNESP – Jaboticabal). Desde 2021 trabalha na CARGILL | NUTRON, onde atuou como Coordenadora Técnica de Pesquisa e atualmente é nutricionista de bovinos de corte. Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em Nutrição e Alimentação Animal, Exigências Nutricionais, Suplementação de bovinos de corte.

Luiz Fernando Costa e Silva

Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2009), Mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2011) e Doutorado na área de Produção e Nutrição de Ruminantes pela Universidade Federal de Viçosa (2015). Doutorado Sanduíche pela *Colorado State University* (2013-2014). Pós doutorado pela Universidade Federal de Viçosa trabalhando no desenvolvimento da Terceira edição das Tabelas Brasileiras de Exigências Nutricionais para Zebuínos Puros e Cruzados - BR-CORTE. Áreas de atuação: Produção de bovinos de corte; Exigências Nutricionais, com ênfase em Minerais, de bovinos de corte; Predição de curvas de lactação e de consumo para vacas e bezerros Nelore; Avaliação de alimentos para ruminantes; Predição da composição corporal de bovinos. Atualmente trabalha como Gerente Técnico da Alltech do Brasil sendo responsável por todas as pesquisas da Alltech na América Latina nas seguintes espécies: bovinos de corte, bovinos de leite, avicultura, suinocultura, aquicultura (peixes e camarões), apicultura e equideocultura.

Mario Luiz Chizzotti

Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2002), mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2004) e doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2007), com estágio sanduíche na *Texas A&M Universtity*. Realizou pós-doutorado em produção de ruminantes na Universidade Federal de Viçosa (2008) e em *Meat Science na Iowa State University*, Ames EUA (2017-2018). Foi Professor Adjunto da Universidade Federal de Lavras e Universidade Federal do Vale do São Francisco. Atualmente é Diretor do Centro de Ciências Agrárias da UFV, foi chefe do Departamento de Zootecnia (2018-2019; 2019-2021) e Professor Adjunto da Universidade Federal de Viçosa, na área de Cadeia produtiva da Carne, Pele e Couros, com ênfase em Qualidade da Carne, Fisiologia do crescimento e Zootecnia de Precisão. Coordenador das disciplinas ZOO 429 Cadeia Produtiva da Carne, Couro e Pele (Graduação, UFV) e ZOO 729 Fisiologia do crescimento animal e qualidade de carne (Pós-graduação, UFV). Foi presidente da Comissão de Pesquisa do DZO UFV (de 2015 a 2017) e coordenador da comissão de ética no uso de animais de produção em experimentação (de 2013 a 2017). É membro do INCT Ciência Animal, e colaborador do Frigorífico Escola (FE/DZO/UFV) e do laboratório de ciência da carne (LCC/DZO/UFV) e Bolsista Produtividade do CNPq nível 1-A, atuando nas linhas de pesquisa de bioenergética e exigências nutricionais, inteligencia artificial e modelagem na produção animal, fisiologia do crescimento, ciência de carne e zootecnia de precisão.

Mateus Pies Gionbelli

É Bacharel em Zootecnia (2008) pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Possui Mestrado (2010) e Doutorado (2013) em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Realizou parte das atividades do Doutorado no USDA\ARS\U.S. *Meat Animal Research Center*, em Clay Center, NE, USA. Entre 2013 e 2014 realizou Pós-Doutorado no Departamento de Zootecnia da UFV. Desde abril de 2014 é Professor Adjunto no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Desde junho de 2014 é docente permanente e desde janeiro de 2017 é

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFLA (Conceito 6 CAPES). É líder do Grupo de Pesquisa em Nutrição Gestacional e Programação Fetal (DGP/CNPq). É Coordenador Associado no Programa Nacional de Cooperação Acadêmica na Amazônia (PROCAD CAPES Edital 21/2018 - representando o PPGZ/UFLA). É membro do Comitê do Sistema BR-CORTE (Nutrient Requirements of Zebu and Crossbred Cattle, em sua 3ª edição). É membro da Rede de Avaliação de Exigências Nutricionais de Animais de Produção do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Ciência Animal (INCT/CA). Vencedor do Prêmio Roullier Innovation Awards 2020 - Animal Nutrition (Centre Mondial de lInnovation Roullier, Roullier Group, Saint-Malo, França). Entre 2017 e 2022 foi Editorial Board Member do Journal of Animal Science. Tem experiência na área de Nutrição e Produção de Ruminantes, atuando principalmente nos seguintes temas: nutrição de vacas de corte, nutrição gestacional e programação fetal, suplementação estratégica de bovinos de corte em pastejo, exigências nutricionais de bovinos de corte e análise de dados em agropecuária.

Pedro Del Bianco Benedeti
Possui graduação (2010), mestrado (2012) e doutorado (2016) em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Participou do programa Doutorado Sanduíche (PDSE/CAPES) na *University of Nevada*, Reno (UNR) no período entre janeiro de 2014 a agosto de 2015. Foi bolsista de pós-doutorado (PDJ - CNPq) na Universidade Federal de Viçosa (2016-2019). Desde janeiro de 2019 é Professor no Departamento de Zootecnia da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC Oeste). Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em nutrição de bovinos de corte e técnicas *in vitro* e *in situ* na análise de alimentos e aditivos para ruminantes. Outras atribuições: Membro do comitê responsável pela quarta edição do BR-CORTE - Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados (2017-atual); - Membro do programa de pós graduação em Zootecnia da UDESC Oeste (2019 - atual); - Membro do corpo editorial do Jornal Sul Brasil Rural (2019 - atual); Professor orientador da Zootec Jr. Consultoria Agropecuária (2020-atual); - Coordenador Setorial de Estágios do Departamento de Zootecnia da UDESC Oeste (2022-atual); - Sub-chefe do Departamento de Zootecnia da UDESC Oeste (2019 -2021); - Coordenador da Fazenda Experimental do Centro de Educação Superior do Oeste - FECEO (2020-2022).

Sidnei Antônio Lopes
Possui graduação em Zootecnia, com doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa na área de nutrição e produção de ruminantes; com ênfase em Nutrição e produção de bovinos de corte. Possui experiência com consultorias, desenvolvendo e acompanhando projetos na área de bovinos de corte. Foi professor no Instituto Federal Sudeste de Minas - Campus Rio Pomba. Pesquisador do INCT-CA, atuando no sistema de exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados (BR-CORTE 2016); Desenvolvimento do software para Cálculo de Rações e predição de desempenho de bovinos de corte em condições tropicais (BR-CORTE 4.0) e software das Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos (CQBAL 4.0). Pesquisador em bovinocultura na EPAMIG. Atualmente, é professor de Bovinocultura de Corte do Departamento de Zootecnia da UFV.

Stefanie Alvarenga Santos
Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Federal do Espírito Santo (2005). Concluiu Mestrado (2007) e Doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa no ano de 2011 e realizou período Sanduíche na *University of Delaware* (EUA). Foi bolsista de Pós-doutorado júnior entre 2011 e 2013 pela Universidade Federal da Viçosa. Atualmente é docente da classe Associado I da Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal da Bahia (UFBA) - Ondina , Salvador. Foi coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da mesma Instituição no período 2014-2018. Coordena o Laboratório de Nutrição Animal desta mesma instituição. Leciona a disciplina Nutrição Animal para o curso de Medicina Veterinária da UFBA e as disciplinas 1 - Fisiologia da digestão e 2 - Métodos de Pesquisa em Nutrição de Ruminantes no Programa de Pós-

graduação em Zootecnia da mesma instituição. Colabora na gestão da Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em caprinocultura da Fazenda Experimental de Entre Rios-UFBA. Membro do comitê de atualização do BR-Corte 2016 e BR-Corte 2023, no qual é responsável pelas recomendações referentes à produção de proteína microbiana ruminal e degradabilidade da proteína dos alimentos. Membro do INCT - Ciência Animal CNPq, no qual é responsável pelo desenvolvimento da meta 2 (Rede 1): Desenvolvimento e aprimoramento de métodos biológicos e químicos para avaliação do desempenho animal, e colaboração na meta 3 (Rede 2): Desenvolver o Sistema Brasileiro de Exigências Nutricionais de Pequenos Ruminantes BR_Caprinos_e_Ovinos. Orienta estudantes em iniciação científica, monitoria, iniciação à extensão, mestrado, doutorado e pós-doutorado. Possui recursos de projeto de pesquisa aprovados e financiados pelo CNPq e pela FAPESB. Tem experiência na área de Zootecnia, com pesquisa em nutrição de ruminantes, atuando principalmente nos seguintes temas: Aprimoramento de métodos de pesquisa em nutrição de ruminantes, exigências nutricionais, avaliação de alimentos e produção de pequenos ruminantes. Exerce a extensão universitária coordenando o grupo Formuladores, com principal ênfase em manejo alimentar e nutrição Pet, sendo responsável pelo atendimento nutricional ambulatorial de cães e gatos do Hospital Veterinário Renato Rodemburg de Medeiros Neto (HOSPMEV - UFBA).

x

Sobre os autores

Abmael da Silva Cardoso
Research Scholar do Range Cattle Research and Education Center da Universidade da Flórida, Ona, FL, Estados Unidos.
E-mail: adasilvacardoso@ufl.edu

Alex Lopes da Silva
Professor do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.
E-mail: alex.lopes@ufv.br

Alexandre Lima Ferreira
Bolsista de pós-doutorado do CNPq pela Universidade Federal de São Joao Del Rei/EMBRAPA Gado de Leite, Juiz de Fora, MG, Brasil.
E-mail: axellfire@hotmail.com

Ana Claúdia Ruggieri
Professora Assistente no Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, SP, Brasil.
E-mail: acruggieri@fcav.unesp.br

Ana Clara Baião Menezes
Professora no *Department of Animal Science, South Dakota State University*, Brookings, SD, USA.
E-mail: anaclara.baiaomenezes@sdstate.edu

Ana Luiza da Costa Cruz Borges
Professora Associada no Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.
E-mail: analuizavetufmg@gmail.com

Breno de Castro Silva
Doutor em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).
E-mail: cs.brenno@gmail.com

Cláudia Batista Sampaio
Professora Adjunta no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.
E-mail: claudiabsampaio@ufv.br

Danillo Domingues Millen
Professor Associado da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Jaboticabal, SP, Brasil.
E-mail: danilo.millen@unesp.br

Débora Evelyn de Freitas Assis
Estudante de Pós-Graduação em Zootecnia no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.
E-mail: debora.assis@ufv.br

Dhones Rodrigues de Andrade
Estudante de Pós-Graduação em Zootecnia no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.
E-mail: dhonesandrade2@gmail.com

Diego Zanetti
Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), Campus Machado. Machado, MG, Brasil.
E-mail: diego.zanetti@ifsuldeminas.edu.br

Douglas Teixeira Saraiva
Pós-doutorando na Universidade Federal de Viçosa (UFV) Viçosa, MG, Brasil.
E-mail: dteixeiras21@gmail.com

Edenio Detmann
Professor Titular no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.
E-mail: detmann@ufv.br

Éllem Maria de Almeida Matos
Estudante de Pós-Graduação em Zootecnia no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.
E-mail: ellem.matos@ufv.br

Ériton Egídio Lisboa Valente
Professor Associado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Marechal Cândido Rondon, PR, Brasil.
E-mail: eriton.valente@unioeste.br

Fabyano Fonseca e Silva (*In memoriam*)
Professor Associado no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.
E-mail: fabyanofonseca@ufv.br

Fernanda Helena Martins Chizzotti
Professora Adjunta no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.
E-mail: fernanda.chizzotti@ufv.br

Flávia Adriane de Sales Silva
Doutora em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV)
E-mail: flaviasales.pf@gmail.com

Gleidson Giordano Pinto de Carvalho
Professor Associado na Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, BA, Brasil.
E-mail: gleidsongiordano@yahoo.com.br

Guilherme Lobato Menezes
Pós-doutorando na Universidade de Wisconsin (UW), Madison, Estados Unidos.
E-mail: lobatomeneze@wisc.edu

Gustavo Rezende Siqueira
Professor de Zootecnia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp)
E-mail: siqueira@apta.sp.gov.br

Gutierrez José de Freitas Assis
Assistente técnico II/Pesquisador na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG - Instituto Tecnológico de Agropecuária de Pitangui.
E-mail: gutierrez.assis@epamig.br

Helena Ferreira Lage
Médica Veterinária, Doutora em Zootecnia na Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.
E-mail: helenaf.lage@gmail.com

Igor Lima Bretas
Pós-doutorando na Universidade da Flórida – *North Florida Research and Education Center*, Marianna, FL, Estados Unidos.
E-mail: ig.limabretas@ufl.edu

Ivanor Nunes do Prado
Professor Aposentado no Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, PR, Brasil.
E-mail: inprado@uem.br

José Augusto Gomes Azevêdo
Professor Pleno no Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, BA, Brasil.
E-mail: augustog@uesc.br

Júlia Travassos da Silva
Estudante de Pós-Graduação em Zootecnia no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.
E-mail: julia.travassos@ufv.br

Karolina Batista Nascimento
Pesquisadora Associada em Nível de Pós-Doutorado - Departamento de Zootecnia – UFLA.
E-mail: karolinanascimento@yahoo.com.br

Laura Franco Prados
Nutricionista de Bovinos de Corte da Cargill | Nutron, Campinas, SP, Brasil
E-mail: laura_prados@cargill.com

Letícia Artuzo Godoi
Doutora em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV)
E-mail: leticiartuzo@gmail.com

Lígia Lins Souza
Professora Substituta no Departamento de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, BA, Brasil.
E-mail: llsouza@uesc.br

Luciana Navajas Rennó
Professora Adjunta no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.
E-mail: lucianarenno@ufv.br

Lúcio Carlos Gonçalves
Professor Titular no Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.
E-mail: luciocg@vet.ufmg.br

Luiz Fernando Costa e Silva
Gerente técnico do Alltech do Brasil Agroindustrial, Maringá, PR, Brasil.
E-mail: lfsilva@alltech.com

Malber Nathan Nobre Palma
Professor EBT, Instituto Federal de Roraima (IFRR), RO, Brasil.
E-mail: malber.palma@ifrr.edu.br

Marcelina Pereira da Fonseca
Doutora em Zootecnia na Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.
E-mail: marcelinazootec@yahoo.com.br

Marcio de Souza Duarte
Professor - *Department of Animal Biosciences* - *University of Guelph*, Canadá.
E-mail: mduarte@uoguelph.ca

Marcos Inácio Marcondes
Professor do *Department of Animal Sciences, Washington State University* (WSU), Pullman, WA, EUA.
E-mail: marcos.marcondes@wsu.edu

Marcos Vinícius Carneiro Pacheco
Estudante de Pós-graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.
E-mail: marcosvinicius_sdo@hotmail.com

Maria Izabel Batista Pereira
Estudante de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, BA, Brasil.
E-mail: mibpereira@uesc.br

Mário Fonseca Paulino
Professor Aposentado no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.
E-mail: mpaulino@ufv.br

Mario Luiz Chizzotti
Professor Adjunto no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.
E-mail: mariochizzotti@ufv.br

Mateus Pies Gionbelli
Professor do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG, Brasil.
E-mail: mateus.pg@dzo.ufla.br

Matheus Fellipe de Lana Ferreira
Pós-doutorando - *Eastern Oregon Agricultural Research Center, Oregon State University*, Burns, Oregon.
E-mail: ferreirm@oregonstate.edu

Norberto Mário Rodriguez (*in memoriam*)
Professor Emérito no Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.
E-mail: norberto@vet.ufmg.br

Paolo Antônio Dutra Vivenza
Médico Veterinário, Doutor em Zootecnia na Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.
E-mail: paolovivenza@hotmail.com

Pedro Del Bianco Benedeti
Professor do Departamento de Zootecnia da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Chapecó, SC, Brasil.
E-mail: pedro.benedeti@udesc.br

Pedro Henrique Araújo de Carvalho
Estudante de Pós-Graduação em Zootecnia na Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.
E-mail: pedrohacarvalho26@gmail.com

Pedro Veiga Rodrigues Paulino
Gerente Global de Tecnologia de Bovinos de Corte, Cargill / Nutron, Brasil
E-mail: Pedro_Veiga@cargill.com

Polyana Pizzi Rotta
Professora Adjunta no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.
E-mail: polyana.rotta@ufv.br

Ricardo Andrade Reis
Professor Titular do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, SP, Brasil.
E-mail: ricardo.reis@unesp.br

Ricardo Reis e Silva
Professor Adjunto no Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.
E-mail: ricreis1@hotmail.com

Robério Rodrigues Silva
Professor Pleno no Departamento de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Itapetinga, BA, Brasil.
E-mail: rrsilva.uesb@hotmail.com

Sebastião de Campos Valadares Filho
Professor Titular no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil; Coordenador do INCT-Ciência Animal.
E-mail: scvfilho@ufv.br

Sidnei Antônio Lopes
Professor do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.
E-mail: sidnei.lopes@ufv.br

Stefanie Alvarenga Santos
Professora Associada na Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, BA, Brasil.
E-mail: stefanie.alvarenga@ufba.br

Tadeu Eder da Silva
Pós-doutorando, *Department of Animal and Dairy Sciences, University of Wisconsin* - Madison
E-mail: tdasilva2@wisc.edu

Telma Teresinha Berchielli
Professora Titular da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP),
campus Jaboticabal, SP. Brasil.
E-mail: telma.berchielli@unesp.br

Terry Eugene Engle
Professor no *Animal Science Department da Colorado State University* (CSU), Fort Collins, Colorado, Estados Unidos.
E-mail: terry.engle@colostate.edu

Victor Graciliano Luccas da Fonseca
Mestre em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG. Brasil.
E-mail: victor.fonseca@mcassab.com.br

Prefácio

O Brasil é uma das últimas fronteiras de expansão agropecuária do mundo, e possui o maior rebanho comercial do mundo. Contudo nosso desafio é incrementar a produtividade do rebanho, uma vez que os índices produtivos nacionais são ainda relativamente baixos, apesar da melhora considerável ocorrida nos mesmos nos últimos anos. A utilização de novas tecnologias é essencial para melhorar a produtividade da bovinocultura de corte nacional. Uma das formas de aumentar a produtividade é aprimorar os sistemas de exigências nutricionais, utilizando dados gerados na nossa realidade, tornando a atividade mais eficiente.

Os experimentos conduzidos no Brasil, avaliando as exigências nutricionais de bovinos, ao contrário de outros países, são relativamente novos, pois iniciaram somente na década de 70, destacando-se os professores José Fernando Coelho da Silva e Celso Boin da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e da Escola Superior de Agricultura Luis de Queiróz (ESALQ), respectivamente, como pioneiros nessa área de pesquisa no Brasil. Posteriormente, outros professores/pesquisadores de outras Instituições iniciaram suas pesquisas nessa área. A primeira publicação no assunto foi feita no Simpósio Internacional sobre Exigências Nutricionais de Ruminantes, realizado no período de 24 a 26 de outubro de 1995 em Viçosa, Minas Gerais.

Em junho de 2006, durante a realização do V Simcorte, foi publicada a primeira versão das Tabelas de Exigências Nutricionais de Zebuínos e Tabelas de Composição de Alimentos, denominada BR-CORTE, usando somente dados de zebuínos e com pequeno número de informações individuais (187 observações).

A segunda edição do BR-CORTE foi publicada em junho de 2010, durante a realização do VII Simcorte, que incluiu animais provenientes de cruzamento de zebuínos com taurinos de corte, denominados cruzados de corte. Nessa versão, o banco de dados (752 observações individuais) cresceu bastante.

Posteriormente foi desenvolvido um software para formular dietas e calcular as exigências nutricionais, denominado BR-CORTE 1.0, que foi disponibilizado *online* no site www.brcorte.com.br em junho de 2012. Esse software foi atualizado em 2014, incluindo a parte de predição de desempenho, recebendo a denominação de software BR-CORTE 2.0, também disponível no mesmo site.

A terceira edição das Tabelas de Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados - BR-CORTE, incluiu quatro novos capítulos, utilizando um novo e atualizado banco de dados para estimar as exigências nutricionais de bovinos, sendo o único sistema descrito especificamente para zebuínos. O comitê desta terceira edição foi composto por membros de diferentes universidades: UFV-MG, UFBA-BA, UFLA-MG, UFMG-MG e UESC-BA.

Na quarta edição das Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados (BR-CORTE, 2023) foram incluídos 5 novos capítulos: 1- estimativa de peso de carcaça experimental e comercial; 2- estimativa de consumo de água; 3- revisão sobre vitaminas para bovinos de corte; 4- aditivos para bovinos de corte; 5- o capítulo final que apresenta as Tabelas de exigências nutricionais de todos os nutrientes. Foram adicionadas novas informações ao banco de dados, permitindo ajustar novas equações em diferentes capítulos. O comitê desta quarta edição foi composto por membros de diferentes universidades: UFV-MG, UFBA-BA, UFLA-MG, UFMG-MG, UESC-BA, UDESC-SC, IFSULDEMINAS- MG.

O Capítulo 1 apresenta as equações para estimar os pesos de bovinos, em diferentes condições fisiológicas. São apresentadas equações para estimar o peso corporal em jejum em função do peso corporal e o peso de corpo vazio em função do peso corporal em jejum, utilizando modelos alométricos. Em 2023, novas equações foram ajustadas para estimar o peso corporal em jejum a partir do peso corporal.

O Capítulo 2 apresenta várias equações para estimar o consumo de matéria seca (CMS) de bovinos de corte, incluindo estimativa de consumo de zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite. Foi ajustada uma nova equação para estimar o consumo de zebuínos em confinamento. Além disso, neste capítulo são apresentadas equações para estimar o CMS para animais alimentados com diferentes teores de concentrado na dieta, e também para animais criados a pasto recebendo suplementação.

O Capítulo 3 apresenta diferentes técnicas para medir a proteína degradada no rúmen dos alimentos, incluindo equações para estimar a contaminação microbiana nos resíduos da incubação ruminal de alimentos volumosos e concentrados. Além disso, são apresentadas equações para estimar a produção de proteína microbiana expressa de diferentes formas, que leva em consideração os consumos de proteína bruta e de NDT das dietas. Uma nova equação foi ajustada para estimar a excreção urinária de creatinina.

O Capítulo 4 apresenta equações para estimar o valor energético dos alimentos, em termos de NDT, energia digestível e energia metabolizável, a partir de sua composição química. Nesse capítulo estão incluídas equações para estimar as taxas de digestão e de passagem da fibra insolúvel em detergente neutro potencialmente digestível. Devido à falta de novas informações, esse capítulo não foi alterado.

O Capítulo 5 apresenta a predição da composição da carcaça e do corpo vazio dos animais zebuínos e cruzados de corte e de leite, usando o corte entre a 9ª e 11ª costelas. São também apresentadas equações para estimar a composição dos componentes não carcaça. Além disso, foram incluídas várias equações para estimar a composição corporal a partir de medidas obtidas com o uso da densitometria de raios-X de energia dupla (DXA) em sete seções da meia carcaça.

O capítulo 6 é novo e discute os principais fatores que afetam o rendimento e a composição da carcaça bovina. Ressaltamos que a estimação do peso de carcaça a partir do peso corporal de forma adequada possibilita aos nutricionistas fazer ajustes mais precisos na nutrição e manejo durante o ciclo produtivo, bem como, pode auxiliar na definição do melhor momento para o abate. Assim, são apresentadas equações para predizer o peso de carcaça experimental e comercial, a espessura de gordura subcutânea, bem como a perda de peso corporal durante o transporte de animais zebuínos.

O Capítulo 7 avalia o uso da técnica calorimétrica para estimar a energia líquida dos alimentos e a eficiência de utilização da energia metabolizável (EM) para mantença, ganho de peso, gestação e lactação. Além disso, apresenta uma equação para estimar a concentração de EM a partir da concentração de energia digestível da dieta. Também são apresentadas equações para estimar a produção de metano.

O Capítulo 8 apresenta as exigências nutricionais de energia para mantença e ganho de peso de zebuínos puros ou cruzados de corte e de leite de diferentes classes sexuais, onde são discutidas as exigências de animais terminados em confinamento ou a pasto. Também foram estimados os pesos à maturidade de zebuínos puros e cruzados de diferentes classes sexuais, possibilitando o uso de uma única equação para estimar as exigências de energia líquida para ganho de peso de bovinos de diferentes classes sexuais e cruzamentos. Além disso, são apresentadas novas equações para estimar as exigências de energia usando o peso de carcaça e o ganho de carcaça em vez de peso de corpo vazio.

O Capítulo 9 apresenta as equações para estimar as exigências de proteína metabolizável para mantença, e uma nova e única equação para estimar as exigências líquidas de proteína para ganho de peso de bovinos de diferentes cruzamentos e classes sexuais, substituindo a energia retida de cada grupo genético e condição sexual pela equação geral da energia retida que usa o peso de corpo vazio equivalente. Apresenta ainda como novidade as exigências de aminoácidos líquidas e metabolizáveis para ganho de peso. Ao final do capítulo, são apresentados resultados de dois experimentos que compararam o desempenho de bovinos alimentados com dietas contendo diferentes teores de proteína bruta.

O Capítulo 10 apresenta as exigências líquidas, os coeficientes de retenção verdadeiros e as exigências dietéticas de todos os minerais. Foi incluída no capítulo uma discussão sobre fontes de minerais inorgânica, que compreende os óxidos, cloretos e sulfatos; e orgânica, que compreende os minerais complexados ou associados às moléculas orgânicas (complexos e quelatos), como polissacarídeos, aminoácidos ou proteínas, além da biodisponibilidade de minerais orgânicos. Ressalta-se que nessa publicação estão contidas várias informações pouco disponíveis na literatura internacional sobre exigências de microminerais.

O capítulo 11 apresenta as exigências de energia e proteína metabolizável para vacas zebuínas adultas para mantença e gestação e a eficiência de utilização da energia metabolizável para gestação. Considerando a escassez de informações sobre exigências de gestação, esse capítulo não foi atualizado, sendo mantidas as recomendações da edição anterior.

O Capítulo 12 mostra as exigências de energia, de proteína e de minerais para vacas Nelore lactantes e bezerros lactentes. Nessa edição foram incluídas novas equações para estimar o consumo de matéria seca de vacas lactantes criadas a pasto e a produção de leite de vacas zebuínas multíparas e primíparas.

O Capítulo 13 discute sobre o manejo ambiental. Considerando que esse assunto tem sido muito debatido ultimamente, na terceira edição foram testadas equações descritas na literatura para estimar as excreções de compostos nitrogenados (N) e de fósforo (P). Como essas equações não estimaram adequadamente essas excreções, foram ajustadas equações para estimar as excreções de N e P no meio ambiente para as condições tropicais, que são as mesmas recomendadas nessa nova edição, em virtude da ausência de novas informações.

O capítulo 14 é novo e aborda a predição do consumo de água para bovinos de corte, mostrando os fatores que influenciam o consumo de água. Ressalta-se que várias equações da literatura foram testadas e não validaram o consumo de água de zebuínos em condições tropicais. Assim, uma equação foi ajustada para predizer o consumo de água por bovinos de corte em condições tropicais.

O capítulo 15 é novo e discute os principais aspectos relacionados à suplementação de vitaminas hidrossolúveis e lipossolúveis para bovinos de corte. Além disso, são apresentados dois estudos avaliando os efeitos da suplementação vitamínica sobre o desempenho produtivo, fisiologia e metabolismo de bovinos confinados criados em condições tropicais.

O capítulo 16 é novo e apresenta uma revisão dos principais aditivos disponíveis para bovinos de corte no Brasil. Posteriormente, é apresentada uma meta-análise sobre os efeitos da monensina e dos óleos funcionais sobre o desempenho produtivo e parâmetros ruminais de bovinos confinados em condições brasileiras, além de resultados de uma pesquisa que avaliou em conjunto seis aditivos.

O capítulo 17 é novo e mostra uma compilação das exigências nutricionais de energia, proteína e minerais para zebuínos puros e cruzados de corte e de leite de diferentes condições sexuais, e para vacas Nelore lactantes e seus bezerros lactentes, na forma de diferentes Tabelas.

Esperamos que esta publicação possa ser utilizada por pesquisadores, consultores e produtores rurais envolvidos na produção de gado de corte.

Agradecimentos

Aos órgãos financiadores dessa rede de pesquisa que colaboraram para a realização desse projeto: INCT de Ciência Animal, CNPq, FAPEMIG, CAPES e FINEP, apresentamos nossos profundos agradecimentos.

Ao professor Fabyano Fonseca e Silva *in memoriam*, pela grande ajuda nas 2 últimas versões do BR-CORTE, nosso eterno agradecimento.

Aos professores, pesquisadores e principalmente a todos os estudantes de pós-graduação, bolsistas de iniciação cientifica e estagiários que contribuíram com o desenvolvimento das pesquisas e geração dos dados presentes nessa publicação, agradecemos.

Agradecemos a todas universidades que cederam os resultados dos experimentos para composição do banco de dados do BR-CORTE, especialmente a Unesp de Jaboticabal e de Dracena, a UEM de Maringá e ao Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG. Também agradecemos a APTA pelo fornecimento de diversas informações.

À bolsista de PDJ, Flávia Adriane de Sales Silva, pela grande contribuição para essa publicação, destacando que, sem sua contribuição, possivelmente parte desse trabalho não teria sido concluído. Gostaria ainda de agradecer ao bolsista de PDJ Douglas Teixeira Saraiva, pela grande contribuição na fase final desse trabalho, e ao professor Pedro del Bianco Benedeti, pela enorme contribuição na elaboração de todas as planilhas do sistema.

A todos os membros do comitê e todos os co-autores dos capítulos que gentilmente dedicaram seu tempo e sabedoria a este projeto.

Aos estudantes de doutorado Júlia Travassos Silva, Samira Silveira Moreira e Felipe Pedrosa Melgaço que colaboraram na organização do lançamento da quarta edição do BR-CORTE.

Ao professor José Neumann e ao canal Agroverdades por terem aceitado fazer o lançamento da quarta edição do BR-CORTE.

Agradecemos ao Dr. Renato Filgueiras proprietário da MAP – Fazenda Canivete, Felixlândia-MG, pelo fornecimento dos animais Nelore, Angus × Nelore e Simental × Nelore, que constituem a base do banco de dados do BR-CORTE e ao professor Mário Fonseca Paulino pelo fornecimento dos animais Nelore super precoces.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-192-0.2023.C001.p.1-14

1

Ajuste do peso corporal de bovinos para condições fisiológicas e de alimentação

Mateus Pies Gionbelli, Sebastião de Campos Valadares Filho, Edenio Detmann, Karolina Batista Nascimento, Flávia Adriane de Sales Silva

O resultado da pesagem de um bovino não representa o real peso de seu corpo. Cerca de 10 a 20% do peso corporal de um bovino na balança é conteúdo do trato gastrointestinal. Essa proporção pode variar dependendo do animal estar alimentado ou em jejum. A relação entre o peso de balança e o peso corporal real de um bovino pode variar também em função da idade. Em fêmeas, essas relações sofrem ainda variação do estágio fisiológico (vazia, lactante, gestante). Para medir crescimento e desempenho ou estimar os requerimentos nutricionais de bovinos, faz-se necessário conhecer com exatidão o peso real de seus constituintes. Esse capítulo descreve modelos matemáticos gerados a partir de experimentos feitos para estimar com a máxima exatidão possível o peso corporal de um bovino em função do estado alimentar e condições fisiológicas.

INTRODUÇÃO

O sistema BR-CORTE e todos os demais sistemas de alimentação de bovinos produzidos no mundo (NRC, ARC, AFRC, CSIRO, INRA, etc.) são frutos de extensa e arduosa pesquisa. Nessas situações, a pesagem dos animais é realizada de maneira rigorosa e precisa, em que as variações de peso são normalmente aferidas por pesagem após um período de jejum ou por meio da pesagem dos constituintes corporais após o abate.

Objetiva-se, por intermédio da pesagem após jejum, ter uma medida mais próxima do real peso corporal do animal (peso de corpo vazio). A pesagem após jejum melhora a exatidão experimental, pois há redução da proporção do peso aferido que é resultado de enchimento (conteúdo do trato gastrointestinal). Variações no conteúdo do trato gastrointestinal (TGI) são consideradas as maiores fontes de erro em mensurações de ganho de peso em ruminantes (Lofgreen et al., 1962).

As estimativas de exigências nutricionais do BR-CORTE são obtidas em sua maioria por meio de meta-análises de experimentos de abate comparativo. Nesses casos, tem-se a real pesagem do animal, uma vez que imediatamente após o abate, o TGI é lavado e pesado vazio, juntando-se às demais porções do corpo do animal para formar a exata medida da massa de um animal, o peso de corpo vazio (PCVZ). Por representar com exatidão a massa animal, o PCVZ é usado como base para cálculo da maioria das exigências nutricionais no BR-CORTE e também em outros sistemas de alimentação. No entanto, nos sistemas de produção de bovinos de corte no Brasil, raramente procede-se à pesagem dos animais em jejum. São necessários, portanto, meios para estimar acuradamente o peso em jejum e o peso de corpo vazio dos animais em função do seu peso corporal alimentado.

Variações nas relações entre peso alimentado, em jejum e vazio podem ser afetadas por classe sexual, grupo genético e peso do animal. Pouca atenção tem sido dada a essas relações e aos fatores que atuam sobre elas nas edições anteriores dos sistemas de alimentação em uso no mundo.

Esse capítulo foi elaborado buscando estabelecer as relações de pesagens em bovinos de corte, bem como as definições de pesagem, para que a partir da medida obtida no campo, se possa acessar corretamente a medida necessária para estimarem-se as exigências nutricionais do animal.

DEFINIÇÕES DE PESAGEM NA PESQUISA E NA PRÁTICA

Embora no cotidiano refere-se ao peso de um animal, na realidade está sendo considerada sua massa. Massa e peso são grandezas diferentes, sendo a massa uma

grandeza inercial e o peso uma grandeza vetorial. Massa é a quantidade de matéria presente em um corpo e medida numa balança, que, no Sistema Internacional de Unidades (SI), tem sua unidade representada em quilogramas (kg). Peso é o resultado da multiplicação entre a massa de um corpo e a aceleração da gravidade local, que depende da atração que um corpo exerce sobre o outro, que é dada pela aceleração da gravidade, cuja unidade padrão no SI é o Newton (N). No entanto, na superfície da Terra, a força gravitacional é constante e por isso as relações entre massa e peso que são usadas não variam. Dessa forma, embora referir-se ao peso de um animal, quando na verdade se está considerando a massa, apesar de ser um erro conceitual, não altera a utilização prática do conceito de massa. Portanto, quando há referência a um animal com peso de 300 kg, considera-se, na verdade, uma massa de 300 kg, ou um peso real de 300 quilogramas força ou, aproximadamente 3000 newtons.

A medida mais simples utilizada para se referir à massa de um animal, é resultado da pesagem com o animal em condições normais de alimentação, realizada a qualquer hora do dia. Tal medida é normalmente referenciada como peso vivo (PV) ou peso corporal (PC), embora não existam diferenças práticas entre as duas. Adota-se nesse sistema o termo PC. Essa medida representa o peso do animal em estado alimentado (peso alimentado), também chamado de "peso cheio". Embora, no campo, não exista um horário determinado para tomada dessa medida, em condições de pesquisa, de forma a estabelecer uma padronização clara e buscando a menor variabilidade possível, realiza-se a pesagem do animal sempre pela manhã, no início do dia, entre 05:00 e 07:00 horas.

Apesar de o PC ser a medida de pesagem mais utilizada na prática, em pesquisa priorizam-se pesagens em jejum para reduzir o efeito de enchimento e melhorar a exatidão das mensurações. Pesar os animais após um período definido de jejum de sólidos reduz a porcentagem da medida tomada que representa enchimento do TGI. Encontram-se na literatura referências a pesagens realizadas após jejum variando de 12 a 16 horas. Em todos os trabalhos que compõem a base do Sistema BR-CORTE, as pesagens em jejum são realizadas após 16 horas de jejum de alimentos sólidos, cuja mensuração recebe o nome de peso corporal em jejum (PCJ), por vezes também referido como peso vivo em jejum (PVJ). Em experimentos que visam comparar o ganho de peso obtido por animais submetidos a diferentes tratamentos, o PCJ tem sido considerado a medida mais adequada a ser tomada no início e final do experimento, a partir da qual calcula-se o ganho médio diário em jejum (GMDJ) como sendo a diferença entre a pesagem final e inicial em jejum, dividida pelo número de dias em avaliação. No entanto, tal medida sempre foi chamada de ganho médio diário (GMD), mesmo quando tomada a partir de diferenças entre pesagens em jejum. Diferentemente do GMDJ, o GMD representa, em teoria, o ganho médio diário calculado com base na diferença de peso entre duas pesagens sem jejum (PC). Embora sejam teoricamente diferentes, não têm sido expressas diferenças entre as duas medidas (GMDJ e GMD). Na prática, as diferenças são desprezíveis (0,56%, tomando como base o banco de dados do sistema BR-CORTE), tornando não problemático o uso do GMD tomado a partir de diferentes pesagens de animais em jejum ou alimentados. No entanto, há que se ressaltar que a medida de GMD deve ser obtida a partir da diferença entre duas pesagens ao mesmo estado alimentar. Ou seja, se a pesagem inicial for tomada em jejum, a pesagem final também deve ser realizada em jejum.

Apesar de o PCJ representar melhor a massa de um animal do que o PC, há ainda considerável fração de conteúdo do TGI embutido na medida de PCJ. A medida acurada da massa corporal só pode ser obtida pesando-se o animal totalmente livre de conteúdo do TGI. Como é impossível realizar tal mensuração com animais vivos, o valor de PCVZ só é obtido após abate do animal, quando o TGI é lavado e seu peso somado aos demais constituintes corporais. É a partir do PCVZ que se calcula a maioria dos valores de exigências nutricionais de bovinos, em função de o PCVZ representar a real massa corporal do animal. O acúmulo real de peso corporal obtido após determinado período de avaliação, dividido pelo número de dias em avaliação, é chamado de ganho diário de peso de corpo vazio (GPCVZ).

As estimativas de exigências nutricionais de energia adotadas pelos sistemas de alimentação de bovinos são expressas em unidades de tamanho metabólico (UTM). O tamanho metabólico é um conceito que foi criado para comparar as taxas metabólicas de animais em diferentes tamanhos corporais (Kleiber, 1932, 1947, Brody, 1945, Kleiber, 1965, White e Seymour, 2005). Tal conceito é baseado na observação que a área de superfície de dois corpos de forma e densidade similares, mas de massas diferentes, é proporcional a ¾ de seus pesos. Consequentemente, as taxas metabólicas desses diferentes corpos são proporcionais aos seus pesos elevados à potência 0,75 ($PC^{0,75}$), valor esse obtido a partir da comparação da produção de calor em jejum de animais adultos de diferentes espécies (Brody, 1945). No sistema BR-CORTE, o conceito de UTM é usado para expressar as exigências de energia para mantença, em que o gasto necessário para mantença é expresso em unidades de peso de corpo vazio metabólico ($PCVZ^{0,75}$).

Outra relação de peso utilizada pelo sistema BR-CORTE é o peso equivalente ou peso de corpo vazio equivalente (PCVZeq). O PCVZeq é uma medida que toma como base o peso estimado à maturidade dos animais. O peso à maturidade representa o peso no qual o crescimento de massa muscular praticamente cessa, havendo a partir de então crescimento significativo somente por acúmulo de reservas energéticas, podendo também ser obtido a partir de um determinado teor de gordura no corpo. O PCVZeq é, portanto, uma relação utilizada para descrever animais de diferentes classes sexuais ou grupos genéticos na mesma escala de proporção do peso à maturidade. É utilizado para tornar mais simples a expressão das exigências de energia para crescimento, visto que animais de diferentes classes sexuais ou grupos genéticos atingem a maturidade em diferentes PCVZ.

Um resumo das siglas, definições práticas e teóricas das diferentes formas de expressar massa animal utilizadas no sistema BR-CORTE é apresentado na Tabela 1.1. A maneira sugerida para estimar as relações entre as unidades apresentadas na Tabela 1.1 é descrita nos itens posteriores.

BANCO DE DADOS PARA AJUSTES DE PESO

Um banco de dados contendo informações de 40 experimentos realizados no Brasil entre 1991 e 2016 foi utilizado para estabelecer as relações de pesagens (PC até PCVZ e GMD para GPCVZ) para animais em crescimento e terminação do sistema BR-CORTE (Tabela 1.2). Um histograma da distribuição de frequências da variável PCJ é apresentado na Figura 1.1.

Tabela 1.1 - Definições de pesagem usadas no sistema BR-CORTE e sua relação com as definições normalmente encontradas na prática

Sigla adotada no BR-CORTE	Sigla em inglês	Siglas comuns na prática	Definições encontradas	Definição real	Como obter
PC	BW	PV ou PC	Peso vivo, peso corporal, peso alimentado	Massa animal tendo alimento e água permanentemente disponíveis (kg)	Pesar o animal sem jejum de sólidos ou líquidos, entre 05:00 e 07:00 horas
PCJ	SBW	PCJ, PVJ, PJ	Peso vivo em jejum, peso corporal em jejum, peso em jejum	Massa animal aferida após 16 horas de jejum de sólidos (kg)	Pesar o animal pela manhã, após 16 horas de jejum de sólidos
PCVZ	EBW	PCVZ	Peso de corpo vazio	Massa animal livre de conteúdo do trato gastrointestinal ou massa real dos constituintes corporais do animal (kg)	Imediatamente após o abate, lavar o trato gastrointestinal e pesá-lo vazio. Somar o peso do trato gastrointestinal vazio aos demais constituintes corporais (couro, sangue, carcaça, vísceras, cabeça, membros, etc…)
$PCVZ^{0,75}$	$EBW^{0,75}$	PCM ou UTM	Peso de corpo vazio metabólico, unidade de tamanho metabólico	Massa animal livre de conteúdo do trato gastrointestinal elevada à potência 0,75 ou massa metabólica vazia (kg)	Elevar o PCVZ à potência 0,75
PCVZeq	EQEBW	PCVZeq	Peso de corpo vazio equivalente	Massa animal livre de conteúdo do trato gastrointestinal proporcionalizada ao peso à maturidade de um animal referência	Dividir o PCVZ pelo peso à maturidade do respectivo classe sexual/grupo genético e multiplicar pelo peso referência

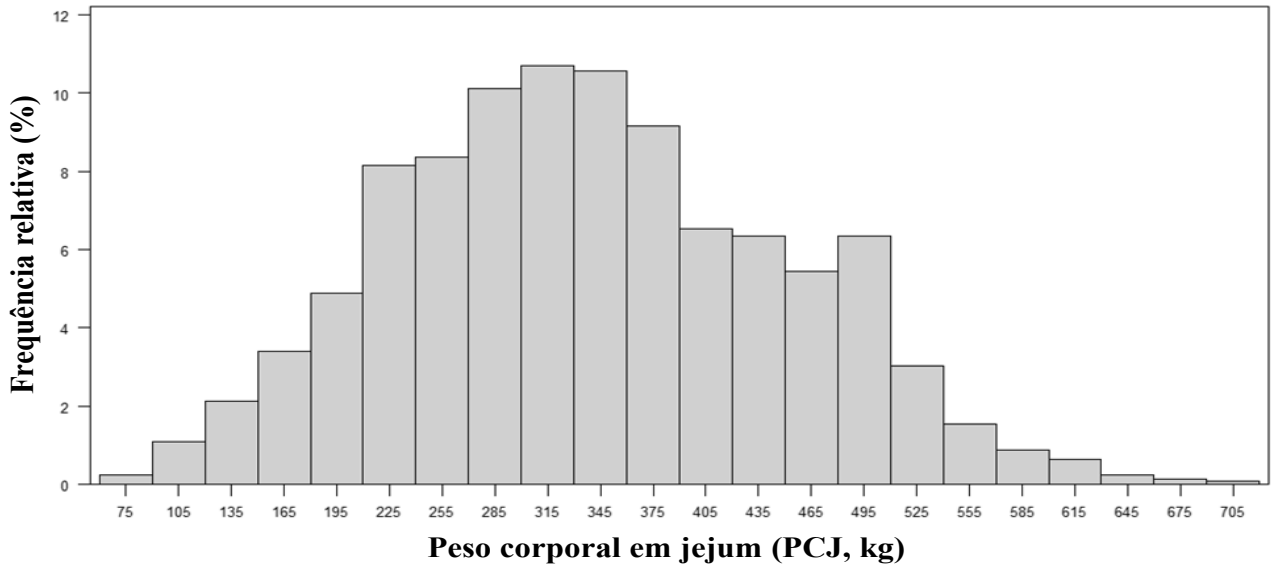


Figura 1.1 - Histograma da distribuição de frequências da variável PCJ.

Tabela 1.2 - Descrição do banco de dados utilizado para estabelecer as relações de pesagem do BR-CORTE (2016)

Item	Variável								
	PC (kg)	PCJ (kg)	PCVZ (kg)	GMD (kg/dia)	GMDJ (kg/dia)	GPCVZ (kg/dia)	PCJ/PC	PCVZ/PCJ	GPCVZ/GMDJ
N	409	2855	1514	129	1020	1020	409	1514	953
Menor	81	74	63	-0,24	-0,54	-0,55	0,90	0,76	0,71
Média	381	340	290	0,77	0,91	0,88	0,98	0,88	0,96
Mediana	388	333	285	0,89	0,94	0,90	0,98	0,88	0,96
Maior	710	701	600	1,61	2,66	2,74	1,01	0,97	0,98
Desvio padrão	144	111	93	0,44	0,52	0,52	0,02	0,04	0,21
Coeficiente de variação (%)	38	33	32	58	57	59	2	5	22

RELAÇÕES DE PESAGENS

Após avaliação da aderência à distribuição normal, o primeiro passo para o estabelecimento das relações de pesagem a serem utilizadas no sistema BR-CORTE foi a avaliação do ajuste de modelos que melhor descrevem estatisticamente e biologicamente tais relações. Na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010) relações lineares entre PCVZ e PCJ e entre o GPCVZ e o GMDJ haviam sido estabelecidas e apresentadas no capítulo de exigências de energia (Marcondes et al., 2010). A relação entre PC e PCJ não foi estimada no BR-CORTE em 2010 e sugeriu-se a adoção da relação fixa (PCJ = PC × 0,96) usada pelo NRC (2000).

O uso de relações de pesagem lineares implica sugerir que as proporções de peso perdido ao jejum no PC e de conteúdo do trato gastrointestinal no PCJ são constantes e não variam com o aumento de peso dos animais. Existem, no entanto, evidências de que tais relações não são lineares (Gionbelli et al., 2015). Em função disso, procedeu-se na última edição dessa publicação, BR-CORTE (2016), à avaliação do ajuste de duas estruturas de modelos matemáticos (linear e não linear) às relações entre pesos, considerando-se o exposto na Tabela 1.3. A comparação das estruturas de modelo apresentadas na Tabela 1.3 foi realizada por meio do Critério de Informação de Akaike – AIC (Akaike, 1974). Para todas as relações avaliadas, o uso de modelo não linear, apesar de possuir maior número de parâmetros, apresentou menor valor de AIC, indicando melhor ajuste. Uma análise da relação entre valores preditos e observados foi realizada por intermédio de ajustamento de regressão linear simples (valores preditos = X, valores observados = Y) para

avaliação da qualidade/falta de ajustamento dos modelos não lineares às três relações. Neste caso, a hipótese de que $\beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$ foi aceita ($P \geq 0,89$). A probabilidade de melhor ajuste do modelo não linear em relação ao linear foi estimada por meio do cálculo de razão da evidência da diferença absoluta entre os valores de AIC estimados para o ajuste das duas estruturas de modelos (Motulsky e Christopoulos, 2003). O resultado da razão de evidência (ou probabilidade relativa) do AIC favorável ao modelo não linear é apresentado também na Tabela 1.3 e pode ser interpretado como a probabilidade de que o modelo não linear apresenta melhor ajuste do que o modelo linear.

Além de melhor ajuste estatístico, a aplicação de modelos não lineares às relações de pesos apresentadas na Tabela 1.3 também é mais adequada do ponto de vista biológico, pois considera que as proporções de peso e de taxa de ganho variam conforme o animal varia de peso. Para a relação entre o PCVZ e o PCJ, por exemplo, sugere-se que a proporção do PCJ que é representada por enchimento do TGI reduz com o aumento do tamanho do animal. A partir de então, foram testados os efeitos de sistema de alimentação (pasto × confinamento), classe sexual e grupo genético sobre as relações de peso, conforme descrito nos itens a seguir.

Tabela 1.3 - Relações de pesagens, estruturas de modelos avaliadas para descrever as relações de pesagem e valor de razão da evidência do Critério de Informação de Akaike favorável ao uso do modelo não linear

Relação	Modelo linear	Modelo não linear	Razão de evidência do AIC favorável ao modelo não linear
$PCJ = f(PC)$	$PCJ = a \times PC$	$PCJ = a \times PC^b$	89%
$PCVZ = f(PCJ)$	$PCVZ = a \times PCJ$	$PCVZ = a \times PCJ^b$	80%
$GPCVZ = f(GMDJ)$	$GPCVZ = a \times GMDJ$	$GPCVZ = a \times GMDJ^b$	100%

Estimando peso corporal em jejum (PCJ) a partir do peso corporal (PC)

Apesar do entendimento de que a pesagem após jejum de sólidos de 12 a 16 horas apresenta menor valor do que a pesagem do animal alimentado, a necessidade do estabelecimento de uma relação entre PCJ e PC para zebuínos e seus cruzados só foi observada nos últimos anos. Apesar de a diferença entre PC e PCJ não ser maior do que 5%, é extremamente importante considerá-la, pois representa a primeira conexão entre mensurações obtidas em experimentos (PCJ) e mensurações realizadas no dia a dia dos sistemas produtivos (PC).

Para a última edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016), coletaram-se dados de PC e PCJ durante 6 anos (de 2010 a 2016) dos mesmos animais em grande parte dos experimentos realizados para compor o seu banco de dados. Tal mensuração requer, no entanto, pesagens em dias diferentes. Dessa maneira, procedeu-se pesagem dos animais em estado alimentado em um dia (PC), e retirada da alimentação sólida 16 horas antes de nova pesagem realizada exatamente no mesmo horário do dia posterior (PCJ). Dessa maneira, foram obtidas 409 medidas de PC e PCJ para os mesmos animais, com intervalo de um dia. O valor de um dia de GMD obtido no período de avaliação no qual tais medidas foram tomadas foi descontado do valor de PCJ para o correto estabelecimento da relação, visto que tais medidas haviam sido tomadas com um dia de diferença.

Uma vez que a tomada de medidas da relação entre PCJ e PC tinha iniciado recentemente, estavam disponíveis apenas dados de animais Zebuínos e cruzados de leite, em regime de confinamento, para redigir esse capítulo em 2016. O número de experimentos realizados com animais de diferentes classes sexuais também foi insuficiente para avaliação do efeito de classe sexual na meta-análise realizada. Portanto, considerou-se apenas o teste da possível diferença entre animais Zebuínos e cruzados de leite, independente da classe sexual, mantidos em confinamento.

Modelos não lineares para estimar o PCJ em função do PC foram ajustados aos dados de animais Zebuínos e Cruzados de leite por meio do

procedimento NLMIXED do SAS, considerando efeito de medidas repetidas no tempo, quando as mensurações de PC e PCJ foram tomadas no mesmo animal mais de uma vez. Uma razão *F* foi calculada para testar se a estimativa de parâmetros específicos para cada grupo genético melhorava significativamente o ajuste dos dados em relação ao uso de parâmetros únicos para ambos os grupos genéticos. O valor P para a distribuição *F* aplicado à razão calculada mostrou haver ganho estatístico para o ajuste de parâmetros diferentes para animais Zebu e Cruzados de Leite em relação ao uso de parâmetros únicos (P=0,007). Procedeu-se então teste dos efeitos de grupo genético sobre cada um dos parâmetros do modelo não linear por meio da função ESTIMATE do procedimento NLIN do SAS. Foram observadas diferenças entre Zebuínos e Cruzados de Leite para os parâmetros *a* (P<0,003) e *b* (P<0,004). Foram geradas, então, duas equações com parâmetros independentes para Zebuínos e cruzados de leite na última edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016), sendo:

Zebuínos:

$$PCJ = 0{,}8800 \times PC^{1{,}0175} \quad \text{Eq. 1.1}$$

Cruzados de leite:

$$PCJ = 0{,}9664 \times PC^{1{,}0017} \quad \text{Eq. 1.2}$$

em que PCJ = peso corporal em jejum e PC = peso corporal.

Um exemplo do uso das equações propostas em 2016 para estimar o PCJ de animais de diferentes grupos genéticos a partir de diferentes valores de PC é apresentado na Tabela 1.4. Percebe-se que para animais Zebuínos, a perda proporcional de peso em função de jejum de sólidos de 16 horas é maior quanto menor o tamanho do animal, sendo próxima àquela atribuída pelo NRC (2000) apenas em animais leves (com pesos aproximados de 150 kg). Embora sejam dados de animais em crescimento e terminação, o comportamento da variação da relação em função do aumento de peso é semelhante ao observado para vacas zebuínas adultas (Gionbelli et al., 2015). Em cruzados de leite, a relação média entre PCJ e PC é praticamente linear e levemente maior do que a atribuída pelo NRC (2000).

Tabela 1.4 - Exemplo de aplicação da Eq. 1.1 e Eq. 1.2 para estimar o peso corporal em jejum a partir do peso corporal, de acordo com o BR-CORTE (2016)

PC (kg)	PCJ (kg)		PCJ/PC		Diferença de peso (kg)		Redução no PC (%)	
	Zebu	Cruz. Leite	Zebu	Cruz. Leite	Zebu	Cruz. Leite	Zebu	Cruz. Leite
150	144,1	146,2	0,961	0,975	5,9	3,8	3,9	2,5
300	291,7	292,7	0,972	0,976	8,3	7,3	2,8	2,4
450	440,7	439,4	0,979	0,976	9,3	10,6	2,1	2,4
600	590,5	586,2	0,984	0,977	9,5	13,8	1,6	2,3

Para cruzados de corte, embora não tenha sido possível estabelecer naquela época a relação com base em dados reais, sugeriu-se o uso da Eq. 1.2 (cruzados de leite), uma vez que as relações entre PC e enchimento do TGI desses animais são mais semelhantes a mestiços leiteiros do que a zebuínos (Lana et al., 1992). Considerou-se também ser mais apropriado o uso da Eq. 1.2 do que a relação fixa adotada pelo NRC (2000) (0,96) por ter sido desenvolvida a partir de dados de animais criados em condições brasileiras.

Para animais criados a pasto, embora as equações propostas no BR-CORTE (2016) tenham sido geradas a partir de dados de animais em confinamento, considerou-se mais prudente realizar a conversão de PC para PCJ usando a Eq. 1.1 (os experimentos com animais em pastejo que compõem o BR-CORTE foram realizados em sua maioria com animais Nelore) do que não realizar ou usar a relação fixa de 0,96. A estimativa do PCVZ de animais a pasto foi obtida a partir de dados de PCJ de experimentos realizados em pastejo, onde os animais foram fechados em curral com jejum de sólidos antes da mensuração de PCJ, realizada sempre pela manhã.

Vários estudos avaliando a relação PCJ:PC de bovinos confinados de diferentes grupos genéticos (Zebu, cruzados de corte e cruzados de leite) e classe sexual (machos não castrados, machos castrados e fêmeas) foram realizados em condições brasileiras desde a última edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016), os quais permitiram a expansão do banco de dados e uma melhor avaliação dessa relação de acordo com o

grupo genético e classe sexual na edição atual. Os mesmos procedimentos estatísticos foram realizados usando o banco de dados estendido.

Não foram observadas diferenças para os parâmetros *a* e *b* (P < 0,05) entre bovinos zebuínos e cruzados de corte, independentemente da classe sexual. No entanto, ambos os parâmetros *a* e *b* foram diferentes para cruzados de leite. Assim, foram recomendados dois novos modelos, sendo um para zebuínos e cruzados de corte e outro para cruzados de leite na atual edição desta publicação, sendo:

Zebu e cruzados de corte:

$$PCJ = 0,8915 \times PC^{1,0151} \quad \text{Eq. 1.3}$$

Cruzados de leite:

$$PCJ = 0,9247 \times PC^{1,0085} \quad \text{Eq. 1.4}$$

onde PCJ = peso corporal em jejum e PC = peso corporal. Infelizmente, o número de observações de bovinos criados a pasto ainda é reduzido. Portanto, foi considerado mais adequado estimar o PCJ de animais criados a pasto a partir do PC usando a Eq. 1.3 (os experimentos com animais a pasto que fazem parte das últimas edições desta publicação foram realizados em sua maioria com animais zebuínos).

As estimativas do PCJ de animais de diferentes grupos genéticos a partir de diferentes valores de PC com base nas novas equações recomendadas são apresentadas na Tabela 1.5.

Tabela 1.5 - Aplicações das Eq. 1.3 e Eq. 1.4 para estimar o peso corporal em jejum (PCJ) a partir do peso corporal (PC)

PC (kg)	PCJ (kg)		PCJ/PC		Diferença de peso (kg)		Diferença de peso (%)	
	Zebu/Cruzado de corte	Cruzado de leite	Zebu/Cruzado de corte	Cruzado de leite	Zebu/Cruzado de corte	Cruzado de leite	Zebu/Cruzado de corte	Cruzado de leite
150	144,2	144,7	0,961	0,964	5,8	5,3	3,9	3,5
300	291,5	291,2	0,971	0,972	8,5	8,8	2,8	2,9
450	439,9	438,3	0,978	0,974	10,1	11,7	2,2	2,6
600	589,1	585,8	0,982	0,976	10,9	14,2	1,8	2,4

Estimando peso de corpo vazio (PCVZ) a partir do peso corporal em jejum (PCJ)

A última edição dessa publicação (BR-CORTE, 2016) apresentou dados abundantes (n = 1514; Tabela 1.2) para estabelecer a relação entre PCVZ e PCJ. Assim, os efeitos fixos de sistema de alimentação, classe sexual e grupo genético sobre os parâmetros do modelo não-linear ajustado foram testados. O teste da razão *F* evidenciou haver ganho estatístico (P<0,04) para o ajuste de modelos separados, conforme as diversas classes dos efeitos fixos testados (sistema alimentar, sexo e grupo genético).

Dados de animais criados a pasto foram contrastados então com dados de animais dos mesmos grupos genéticos (Zebu e cruzados de leite) e classes sexuais (machos castrados e não castrados) criados em confinamento por intermédio de meta-análise considerando-se apenas o efeito fixo do sistema de alimentação e os efeitos aleatórios de classe sexual, grupo genético e experimento (o número de experimentos com variação de classe sexual e grupo genético não permitiu realizar comparações para ajustes de parâmetros para estes efeitos). Observou-se efeito do sistema de alimentação para ambos os parâmetros do modelo não linear (P<0,01). Foi ajustada então uma equação não linear para estabelecer a relação entre PCVZ e PCJ de animais em pastejo, sendo:

$$PCVZ = 0,8507 \times PCJ^{1,0002} \quad \text{Eq. 1.5}$$

em que PCVZ = peso de corpo vazio e PCJ = peso corporal em jejum.

Observa-se pela Eq. 1.5 que a relação entre PCVZ e PCJ é praticamente linear em animais criados em pastejo. Embora tenha havido aumento do número de experimentos, a relação também é bastante próxima daquela proposta na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010; PCVZ = 0,863 × PCJ).

No caso de animais em confinamento, observou-se efeito significativo da interação entre classe sexual e grupo genético sobre os parâmetros do modelo não linear (P<0,003). No entanto, não foram observadas diferenças

entre cruzados de leite e cruzados de corte para os parâmetros *a* (P>0,70) e *b* (P>0,63). Em função disso, foram ajustadas equações independentes considerando as diferenças entre machos não castrados, machos castrados e fêmeas, e entre animais Zebuínos e seus cruzados (leite ou corte na última edição dessa publicação (Tabela 1.6)

Tabela 1.6 - Equações propostas no BR-CORTE (2016) para predizer o peso de corpo vazio (PCVZ) a partir do peso corporal em jejum (PCJ) de bovinos confinados

Grupo genético	Classe sexual	Equação	Número
Zebu	Machos não castrados	$PCVZ = 0,8126 \times PCJ^{1,0134}$	Eq. 1.6
	Machos castrados	$PCVZ = 0,6241 \times PCJ^{1,0608}$	Eq. 1.7
	Fêmeas	$PCVZ = 0,6110 \times PCJ^{1,0667}$	Eq. 1.8
Cruzados de corte e de leite	Machos não castrados	$PCVZ = 0,7248 \times PCJ^{1,0314}$	Eq. 1.9
	Machos castrados	$PCVZ = 0,6586 \times PCJ^{1,0499}$	Eq. 1.10
	Fêmeas	$PCVZ = 0,6314 \times PCJ^{1,0602}$	Eq. 1.11

Na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010), uma única relação linear havia sido proposta para estabelecer a relação entre PCVZ e PCJ de animais em confinamento (PCVZ = 0,895 × PCJ). Considerando as estimativas da Eq. 1.6 a Eq. 1.11, e animais de 150 a 600 kg de PCJ, observa-se que a relação entre PCVZ e PCJ em Zebuínos e seus cruzamentos em confinamento varia de 84,6 a 93,6%, com média de 89,7% (0,897), valor esse semelhante ao adotado para animais em confinamento na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010). Embora sugira que a relação entre PCVZ e PCJ possa variar de 85 a 95%, o NRC (2000) sugere o uso de uma relação fixa de 0,891. No entanto, o uso de múltiplas equações com efeitos de classe sexual e grupo genético para estimar o PCVZ, conforme proposto na última edição dessa publicação (BR-CORTE, 2016), melhora a exatidão e a precisão das estimativas de PCVZ. Um exemplo de aplicação da Eq. 1.5 (pasto) e Eq. 1.6 (confinamento) para estimar o PCVZ de machos não castrados zebuínos, em pastejo ou confinamento, é apresentado na Tabela 1.7. Uma exemplificação da variabilidade nas relações entre PCVZ e PCJ obtidas a partir das Eq. 1.6 a Eq. 1.11 é apresentada na Tabela 1.8.

Tabela 1.7 - Exemplo de aplicação da Eq. 1.5 e Eq. 1.6 para estimar o peso de corpo vazio a partir do peso corporal em jejum de machos não castrados zebuínos em pastejo e em confinamento

PC (kg)	PCJ (kg)	Pasto		Confinamento	
		PCVZ (kg)	PCVZ/PCJ	PCVZ (kg)	PCVZ/PCJ
150	144,2	122,8	0,852	125,2	0,869
300	291,5	248,3	0,852	255,6	0,877
450	439,9	374,7	0,852	387,9	0,882
600	589,1	501,8	0,852	521,5	0,885

Tabela 1.8 - Relação entre o peso de corpo vazio e o peso corporal em jejum (PCVZ/PCJ) de Zebuínos e seus cruzamentos, em confinamento, em diferentes pesos, estimada a partir das Eq. 1.6 a Eq. 1.11

PCJ	Machos não castrados		Machos castrados		Fêmeas	
(kg)	Zebu	Cruzados	Zebu	Cruzados	Zebu	Cruzados
150	0,869	0,847	0,844	0,844	0,851	0,852
300	0,877	0,866	0,881	0,874	0,892	0,888
450	0,882	0,877	0,904	0,892	0,917	0,911
600	0,885	0,885	0,920	0,905	0,935	0,927

A relação entre PCVZ e PCJ também foi avaliada com o banco de dados expandido conforme descrito na última seção. No entanto, nenhuma melhora estatística foi observada quando os novos dados foram incluídos no banco de dados do BR-CORTE (2016). Portanto, o atual comitê decidiu manter as recomendações da última edição desta publicação (BR-CORTE, 2016) para predição do PCVZ a partir de PCJ de bovinos criados a pasto e em confinamento.

Estimando ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ) a partir do ganho médio diário (GMD)

A relação entre GPCVZ e GMDJ também foi avaliada na última edição desta publicação (BR-CORTE, 2016). Inicialmente, uma avaliação da relação entre o GMDJ (mensurado a partir de duas pesagens em jejum) e o GMD (mensurado a partir de duas pesagens em estado alimentado) mostrou que o intercepto e o coeficiente de inclinação da regressão não diferiram de 0 e 1 (P>0,14 e P>0,39, respectivamente). Portanto, sendo as diferenças entre GMDJ e GMD não significativas, o uso de medida única, referenciada unicamente como GMD, poderia ser adotada. Ou seja, embora sejam teoricamente diferentes, na prática GMDJ e GMD não diferem.

Não foram observados ganhos estatísticos em relação ao ajuste de um modelo único quando modelos com parâmetros variados foram ajustados em função de sistemas de alimentação (P>0,16), classe sexual (P>0,24) ou grupo genético (P>0,11). Ajustou-se, portanto, uma única equação não linear para descrever a relação entre GPCVZ e GMD, conforme segue:

$$GPCVZ = 0,9630 \times GMD^{1,0151} \qquad \text{Eq. 1.12}$$

em que GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio e GMD = ganho médio diário ou ganho médio diário em jejum.

Um exemplo de aplicação da Eq. 1.12 é apresentado na Tabela 1.9. Observa-se uma relação entre GPCVZ e GMD variando de 0,943 a 0,971, quando considerados ganhos variando de 0,25 a 1,75 kg/dia. Na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010) sugeriu-se o uso de uma relação fixa entre GPCVZ e GMD de 0,955 para animais em pastejo e 0,936 e 0,966 para zebuínos de corte e seus cruzamentos, respectivamente, em confinamento. O NRC (2000) utiliza relação fixa de 0,951. Os dados exemplificados na Tabela 1.9 mostram que as estimativas propostas a partir da Eq. 1.12 encontram-se de acordo com os dados da literatura. Há, no entanto, ganho em precisão e acurácia com o uso de uma relação variável entre GPCVZ e GMD, obtida a partir de modelo não linear, conforme proposto na última edição dessa publicação (BR-CORTE, 2016).

Tabela 1.9 - Relação entre o ganho de peso de corpo vazio e o ganho médio diário (GPCVZ:GMD) com base na aplicação da Eq. 1.12

GMD (kg/dia)	GPCVZ (kg/dia)	GPCVZ/GMD	Redução do GMD (%)
0,25	0,24	0,943	5,7
0,50	0,48	0,953	4,7
0,75	0,72	0,959	4,1
1,00	0,96	0,963	3,7
1,25	1,21	0,966	3,4
1,50	1,45	0,969	3,1
1,75	1,70	0,971	2,9

Conforme discutido na seção anterior, nenhuma melhoria estatística foi obtida para a predição de GPCVZ a partir de GMD, quando novos dados foram incluídos no banco de dados do BR-CORTE (2016). Portanto, as recomendações da última edição desta publicação (BR-CORTE, 2016) continuam válidas para predizer GPCVZ a partir do GMD de bovinos.

Assim, na edição atual do BR-CORTE são recomendadas novas equações para estimar o peso corporal em jejum de animais zebuínos e cruzados de corte:

$$PCJ = 0{,}8915 \times PC^{1{,}0151} \qquad \text{Eq. 1.3}$$

e outra para cruzados de leite:

$$PCJ = 0{,}9247 \times PC^{1{,}0085} \qquad \text{Eq. 1.4}$$

AJUSTES DE PESO PARA VACAS ADULTAS EM FUNÇÃO DO ESTADO ALIMENTAR E DO ESTÁGIO FISIOLÓGICO

As relações de pesagem apresentadas até então são aplicáveis a animais em crescimento e terminação, em condição de homeostase fisiológica. Ou seja, são aplicáveis a animais sadios, em fase de crescimento positivo (consumo acima da mantença), que ainda não atingiram a maturidade fisiológica. No caso de fêmeas que já atingiram a maturidade fisiológica, o ajuste de peso em função do estado alimentar e também fisiológico (gestação ou não) foi descrito por Gionbelli et al. (2015), utilizando vacas Nelore multíparas. As equações propostas por Gionbelli et al. (2015) foram recomendadas para os ajustes de peso de vacas adultas na última edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016). Essas equações ainda são recomendadas na edição atual, pois nenhum dado novo foi gerado desde então.

Para ajuste de peso de vacas gestantes, Gionbelli et al. (2015) sugeriram o conceito de componente gestação (GEST), que é representado por:

$$GEST = (UTgest - UTng) + (UBgest - UBng) \qquad \text{Eq. 1.13}$$

em que GEST = componente gestação, UTgest = peso do útero grávido, UTng = peso estimado do útero não grávido, UBgest = peso do úbere da vaca gestante e UBng = peso estimado do úbere para a vaca em condição não gestante. Ou seja, o valor de GEST compreende o acréscimo de peso no útero ocorrido em função da gestação (útero grávido menos útero não grávido) mais o acréscimo de peso no úbere ocorrido em função da gestação (úbere da vaca em condição de gestação menos o úbere da vaca em condição não gestante).

O uso do valor de GEST permite estimar o peso de uma vaca gestante que é função da gestação e o peso que é função de tecidos maternos. Ou seja, separa-se, portanto, o "peso gestante" de uma vaca do seu "peso vazio", independente do estágio de gestação. Em geral, a gestação (referenciada por GEST) passa a ser considerada matematicamente como um componente extra da vaca. Isso permite, por exemplo, calcular o ganho de peso de uma vaca ao longo de um período que foi relativo ao aumento de tecidos maternos e do ganho de peso relativo à gestação. Portanto, criam-se os conceitos de peso gestante (PCgest, PCJgest e PCVZgest) e peso não gestante (PCng, PCJng e PCVZng), cujas relações são simplesmente descridas por:

$$PCgest = PCng + GEST$$

$$PCJgest = PCJng + GEST$$

PCVZgest = PCVZng + GEST

Os pesos ajustados para condição gestante e não gestante são também a base para os cálculos de exigências nutricionais para vacas adultas para mantença e gestação, descritos no Capítulo 11.

As equações usadas para estimação dos pesos dos animais alimentados, em jejum ou de corpo vazio, para vacas vazias e gestantes são descritas na Tabela 1.10. A descrição detalhada das siglas usadas nas equações apresentadas na Tabela 1.10 é apresentada na Tabela 1.11. Uma vez que as estimativas das relações de peso de vacas gestantes requerem o uso de várias equações (Tabela 1.10), Gionbelli et al. (2015) prepararam uma planilha em Excel para facilitar os cálculos. Tal planilha pode ser baixada diretamente a partir do site da revista onde o trabalho foi publicado (trabalho com acesso aberto), através do link: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0112111>.

Tabela 1.10 - Equações usadas para ajustar peso de vacas zebuínas gestantes e não gestantes

Variável a ser estimada	Variáveis preditoras	Relação	Equação
		Vacas não gestantes	
PCJng	PCng	$PCJng = 0{,}8084 \times PCng^{1{,}0303}$	Eq. 1.14
PCVZng	PCJng	$PCVZng = 0{,}8424 \times PCJng^{1{,}0122}$	Eq. 1.15
		Vacas gestantes	
PCJgest	PCgest	$PCJng = 0{,}8084 \times PCng^{1{,}0303}$	Eq. 1.14
PCng	PCgest e GEST	PCng = PCgest – GEST	Eq. 1.16
PCJng	PCJgest e GEST	PCJng = PCJgest – GEST	Eq. 1.17
GEST	Se TG ≤ 240: UTfg Se TG > 240: UTfg e UBfg	Se TG ≤ 240: $GEST = UT_{fg}$ Se TG > 240: $GEST = UT_{fg} + UB_{fg}$	Eq. 1.18
UTfg	UTg e UTng	UTfg = UTgest - UTng	Eq. 1.19
UTgest	TG ou TG e ECC	$UTgest = 0{,}008010 \times BEZ \times ECC^{0{,}3225} \times \exp^{((0{,}02544 - 0{,}0000286 \times TG) \times TG)}$ ou $UTgest = 0{,}007521 \times BEZ \times \exp^{((0{,}03119 - 0{,}00004117 \times TG) \times TG)}$	Eq. 1.20 Eq. 1.21
UTng	PCJgest e UTgest	Se TG ≤ 240: UTng = 0,0012 × (PCJgest – UTgest + 0,6) Se TG > 240: UTng = 0,0012 × (PCJgest – UTgest + 0,6 – 2)	Eq. 1.22
UBng	UTfg, PCJgest e ECC	Se TG ≤ 240: $UBng = (PCJgest - UTfg) \times 0{,}00589 \times ECC^{0{,}2043}$ Se TG > 240: $UBng = (PCJgest - UTfg - 2) \times 0{,}00589 \times ECC^{0{,}2043}$	Eq. 1.23
UBfg	UBng e TG	Se TG ≤ 240: UBfg = 0 Se TG > 240: $UBfg = UBng \times \exp^{((TG - 238) \times 0{,}0109)} - UBng$	Eq. 1.24
PCVZgest	PCVZng e GEST	PCVZgest = PCVZng + GEST	Eq. 1.25

Tabela 1.11 - Lista de siglas (ordenada alfabeticamente) usadas nas equações apresentadas na Tabela 1.10 e suas definições

Sigla	Definição
ECC	Escore de condição corporal (escala de 1 a 9). Quando não estiver disponível, usar ECC=5
GEST	Componente gestação (kg)
BEZ	Peso estimado do bezerro ao nascer (kg). Sugere-se usar o peso médio de bezerros do rebanho para o qual as estimativas estiverem sendo realizadas
PCVZgest	Peso de corpo vazio gestante (kg)
PCVZng	Peso de corpo vazio não gestante (kg)
PCgest	Peso corporal gestante (kg)
PCng	Peso corporal não gestante (kg)
PCJgest	Peso corporal em jejum gestante (kg)
PCJng	Peso corporal em jejum não gestante (kg)
TG	Tempo de gestação (dias)
UBfg	Peso do úbere que aumentou em função da gestação (kg)
UBng	Peso do úbere para condição não gestante (kg)
UTfg	Peso do útero que aumentou em função da gestação (kg)
UTgest	Peso do útero grávido (kg)
UTng	Peso do útero para condição não gestante (kg)

Para exemplificar a aplicação das equações e relações apresentadas na Tabela 1.10 (Gionbelli et al., 2015), tomou-se como base uma vaca Nelore, com 450 kg de PC (peso obtido a campo, sem jejum), ECC = 4,5 e com 5 meses de gestação (TG = 150 dias). Supondo que a mesma vaca tenha sido pesada novamente 4 meses depois, quando foram obtidos os seguintes dados: PC = 520 kg, ECC = 5 e TG = 270. Considera-se ainda que o peso médio ao nascimento dos bezerros de tal rebanho seja de 35 kg (BEZ = 35 kg). Com as equações e relações apresentadas na Tabela 1.10 pode-se estimar o peso em jejum, peso de corpo vazio e peso de constituintes maternos e também de componentes da gestação, nas duas pesagens realizadas, conforme segue:

Primeira pesagem	Segunda pesagem (4 meses depois)
PC = 450 kg / ECC = 4,5 / TG = 150 dias / BEZ = 35 kg	PC = 520 kg / ECC = 5 / TG = 270 dias / BEZ = 35 kg
$PCJgest = 0{,}8084 \times PCgest^{1{,}0303}$ (Eq. 1.14) $PCJgest = 0{,}8084 \times 450^{1{,}0303} = 437{,}76$ kg	$PCJgest = 0{,}8084 \times PCgest^{1{,}0303}$ (Eq. 1.14) $PCJgest = 0{,}8084 \times 520^{1{,}0303} = 508{,}07$ kg
$UTgest = 0{,}00801 \times BEZ \times ECC^{0{,}3225} \times \exp^{((0{,}02544 - 0{,}0000286 \times TG) \times TG)}$ (Eq. 1.20) $UTgest = 0{,}00801 \times 35 \times 4{,}5^{0{,}3225} \times \exp^{((0{,}02544 - 0{,}0000286 \times 150) \times 150)} = 10{,}87$ kg	$UTgest = 0{,}00801 \times BEZ \times ECC^{0{,}3225} \times \exp^{((0{,}02544 - 0{,}0000286 \times TG) \times TG)}$ (Eq. 1.20) $UTgest = 0{,}00801 \times 35 \times 1{,}68 \times \exp^{((0{,}02544 - 0{,}0000286 \times 270) \times 270)} = 56{,}33$ kg
$UTng = 0{,}0012 \times (PCJgest - UTgest + 0{,}6)$ (Eq. 1.22) $UTng = 0{,}0012 \times (437{,}76 - 10{,}87 + 0{,}6) = 0{,}51$ kg	$UTng = 0{,}0012 \times (PCJgest - UTgest + 0{,}6 - 2)$ (Eq. 1.22) $UTng = 0{,}0012 \times (508{,}07 - 56{,}33 + 0{,}6 - 2) = 0{,}54$ kg
$UTfg = UTg - UTng$ (Eq. 1.19) $UTfg = 10{,}87 - 0{,}51 = 10{,}36$ kg	$UTfg = UTgest - UTng$ (Eq. 1.19) $UTfg = 56{,}33 - 0{,}54 = 55{,}79$ kg
$UBng = (PCJg - UTfg) \times 0{,}00589 \times ECC^{0{,}2043}$ (Eq. 1.23) $UBng = (437{,}76 - 10{,}36) \times 0{,}00589 \times 4{,}5^{0{,}2043} = 3{,}42$ kg	$UBng = (PCJgest - UTfg - 2) \times 0{,}00589 \times ECC^{0{,}2043}$ (Eq. 1.23) $UBng = (508{,}07 - 55{,}79 - 2) \times 0{,}00589 \times 5^{0{,}2043} = 3{,}68$ kg
$UBfg = 0$ kg (Eq. 1.24)	$UBfg = UBng \times \exp^{((TG-238) \times 0{,}0109)} - UBng$ (Eq. 1.24) $UBfg = 3{,}68 \times \exp^{((270-238) \times 0{,}0109)} - 3{,}68 = 1{,}54$ kg
$GEST = UTfg$ (Eq. 1.18) $GEST = 10{,}36$ kg	$UTgest = UTfg + UBfg$ (Eq. 1.18) $GEST = 55{,}79 + 1{,}54 = 57{,}33$ kg
$PCJng = PCJgest - GEST$ (Eq. 1.17) $PCJng = 437{,}76 - 10{,}36 = 427{,}40$ kg	$PCJng = PCJgest - GEST$ (Eq. 1.17) $PCJng = 508{,}07 - 57{,}33 = 450{,}75$ kg
$PCVZng = 0{,}8424 \times PCJng^{1{,}0122}$ (Eq. 1.15) $PCVZng = 0{,}8424 \times 427{,}40^{1{,}0122} = 387{,}66$ kg	$PCVZng = 0{,}8424 \times PCJng^{1{,}0122}$ (Eq. 1.15) $PCVZng = 0{,}8424 \times 450{,}75^{1{,}0122} = 409{,}1$ kg
$PCVZgest = PCVZng + GEST$ (Eq. 1.25) $PCVZgest = 387{,}66 + 10{,}36 = 398{,}01$ kg	$PCVZgest = PCVZng + GEST$ (Eq. 1.25) $PCVZgest = 409{,}1 + 57{,}33 = 466{,}42$ kg
Interpretação: Ao longo de 120 dias a vaca ganhou 70 kg de peso (520 - 450). Nesse período, no entanto, a vaca aumentou 46,97 kg de peso relativo à gestação (57,33 – 10,36). Isso corresponde a um ganho médio diário de 0,39 kg relativo à gestação. O ganho de peso vazio relativo a tecidos maternos no período foi de apenas 21,44 kg (409,10 – 387,66), que corresponde a um ganho médio diário de 0,18 kg relativo à deposição de tecidos maternos. Ou seja, do ganho de peso de corpo vazio total que a vaca teve no período (68,41 kg), 68,7% foi relativo à gestação e 31,3% relativo à deposição de tecidos maternos.	

REFERÊNCIAS

Akaike, H. A new look at the statistical model indentification. *IEEE T Automat Contr*, AC-19:716-723, 1974.

Brody, S. *Bioenergetics and growth.* NY: Reinhold, 1945. 1007 p.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. *Nutrient Requirements of Zebu and crossbred cattle – BR-CORTE*, 2 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2010.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F., Gionbelli, M. P., Rotta, P. P., Marcondes, M. I., Chizzotti, M. L. *Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle – BR-CORTE*, 3 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2016.

Gionbelli, M. P.; Duarte, M. S.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Chizzotti, M. L.; Rodrigues, F. C.; Zanetti, D.; Gionbelli, T. R. S.; Machado, M. G. Achieving Body Weight Adjustments for Feeding Status and Pregnant or Non-Pregnant Condition in Beef Cows. *PLoS One*, 9:e115724, 2015.

Kleiber, M. Body size and metabolism. *Hilgardia*, 6:315-353, 1932.

Kleiber, M. Body size and metabolic rate. *Physiological Reviews*, 27:511-541, 1947.

Kleiber, M. Metabolic body size.In:Proceedings of Energy Metabolism, 3, 11.1965, Troon, Scotland. *Proceedings...* Troon, Scotland: Academic Press, 427-435, 1965.

Lana, R. P.; Fontes, C. A. A.; Peron, A. J.; Silva, D. J.; Paulino, M. F.; Queiróz, A. C. Gastrointestinal tract fill and its relationship with body weight and weight gain, in bovines of seven breed groups. Re*vista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 21:510-517, 1992.

Lofgreen, G. P.; Hull, J. L.; Otagaki, K. K. Estimation of the empty body weight of beef cattle. *Journal of Animal Science*, v.21, p.20, 1962.

Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Valadares Filho, S. C.; Gionbelli, M. P.; Paulino, P. V. R.; Paulino, M. F. Energy requirements of Zebu beef cattle. In: Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P.V.R. (Ed). N*utrient Requirements of Zebu Beef Cattle.* 2.ed. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, 81-106, 2010.

Motulsky, H.; Christopoulos, A. *Fitting Models to Biological Data using Linear and Nonlinear Regression.* San Diego, CA, USA:GraphPad Software Inc., 351 p. 2003.

National Research Council - NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Updated 7th. ed. Washington, DC, USA: National Academy Press, 242 p. 2000.

White, C. R.; Seymour, R. S. Review - Allometric scaling of mammalian metabolism. *The Journal of Experimental Biology*, 208:1611-1619, 2005.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-192-0.2023.C002.p.15-44

2

Regulação e predição de consumo de matéria seca

José Augusto Gomes Azevêdo, Sebastião de Campos Valadares Filho, Guilherme Lobato Menezes, Luiz Fernando Costa e Silva, Lígia Lins Souza, Polyana Pizzi Rotta, Luciana Navajas Rennó, Mario Fonseca Paulino, Ivanor Nunes do Prado, Robério Rodrigues Silva, Gleidson Giordano Pinto de Carvalho, Ériton Egídio Lisboa Valente, Maria Izabel Batista Pereira, Ricardo Andrade Reis

INTRODUÇÃO

O consumo de matéria seca (CMS) é a variável mais importante que afeta o desempenho animal (Waldo e Jorgensen, 1981), pois garante ao organismo, nutrientes adequados e substratos energéticos para as reações bioquímicas que contribuem nas oscilações do metabolismo celular, especialmente em bovinos para produção de carne, tendo em vista a importância econômica e o complexo sistema digestivo com suas funções metabólicas peculiares (Forbes, 2007).

Em bovinos para produção de carne, variações no consumo de alimentos ocorrem durante seu ciclo de crescimento para manter um equilíbrio dinâmico do meio interno frente aos constantes desafios apresentados pelas necessidades metabólicas e ambientais.

Limitações no consumo de alimentos podem impedir que as exigências nutricionais sejam supridas. Como a maioria dos nutrientes da dieta de bovinos de corte é utilizada para suprir as exigências de mantença, pequena alteração no consumo de alimentos pode ocasionar limitações na eficiência dos processos produtivos, e consequentemente, a taxa de crescimento irá diminuir. Com isso, o potencial genético para ganho de peso não será alcançado e a lucratividade da atividade pecuária estará comprometida. Além disso, poderão surgir problemas associados com estresse alimentar, sanidade e distúrbios digestivos.

REGULAÇÃO DO CONSUMO DE ALIMENTOS POR BOVINOS

Fatores neuro-hormonais

O cérebro é o órgão que coordena o comportamento alimentar. Segundo Konturek et al. (2005), há indicação de que o núcleo do trato solitário (NTS), no tronco cerebral, serve como porta de entrada para sinais neurais vindos do trato gastrintestinal até o centro regulador de consumo no hipotálamo. Estes autores, também sugerem que o corpo amidalóide, a córtex pré-frontal, bem como a área postrema (zona de disparo quimiorreceptora ou "centro do vômito") têm sido responsáveis por desordens alimentares e armazenamento ou conservação inadequada de energia. Além disso, tanto o núcleo arqueado (ARC) como o núcleo paraventricular (PVN) são importantes centros no controle da ingestão de alimentos, pois são os locais onde vários hormônios liberados a partir do trato gastrintestinal e tecido adiposo convergem para regular o consumo alimentar e o gasto energético (Crespo et al., 2014).

Hetherington e Ranson (1940) e Anand e Brobeck (1951) foram os primeiros a propor o modelo constituído do centro da fome no hipotálamo lateral (LHA) e da saciedade na região ventromedial hipotalâmica. No hipotálamo, a sua área lateral possui neurônios que induzem o animal a iniciar um novo ciclo de alimentação, enquanto estímulos na sua área ventromedial induzem à saciedade (Mayer e Thomas, 1967). Há indícios de que a região do hipotálamo lateral, conhecida como “centro da fome”, estaria sempre apta para induzir a fome, isto é, esta região seria cronicamente ativa, e sua atividade estaria transitoriamente inibida pelo “centro da saciedade”, no hipotálamo ventromedial (Konturek et al., 2005). Assim, o consumo de alimentos seria estimulado por ausências de sinais de saciedade (Allen et al., 2005).

Acredita-se que ao invés de cada núcleo hipotalâmico atuar sobre o controle da homeostase energética, estes atuam de forma sistêmica, onde os sinais entre os mesmos são transmitidos por neuropeptídios específicos. O ARC desempenha papel importante na integração dos sinais que regulam o consumo (Stanley et al., 2005).

Uma série de sistemas complexos mantém a homeostase energética a fim de manter o peso corporal e disponibilizar energia suficiente para todos os processos metabólicos (Dietrich e Horvath, 2009). Segundo Ketelaars e Tolkamp (1996) o consumo gera benefícios e custos ao animal, em que os benefícios estão relacionados a energia para mantença e ganho, enquanto, o custo está relacionado ao consumo de oxigênio que gera radicais livres, responsáveis pelo envelhecimento. Esses autores afirmaram que a regulação de consumo se deve ao efeito na economia de oxigênio. Já Forbes e Provenza (2000), relataram que os animais regulam o seu consumo diário de maneira que não proporcione um desconforto metabólico ou físico.

Após o consumo de alimentos, os sinais dos receptores localizados na faringe e nas vias orogástricas são encaminhados para o sistema nervoso central (SNC), no tronco cerebral. Posteriormente, mecanismos de distensão gástrica, estimulação química de receptores na mucosa gastrintestinal e vários hormônios são liberados a partir da mucosa gastrintestinal (Konturek et al., 2005). Adicionalmente, na parede da região anterior dorsal do rúmen-retículo existem receptores capazes de enviar informações, via fibras aferentes, projetadas para os centros de controle do consumo alimentar no NTS (Leek, 1986).

Desta forma, o SNC recebe (através do NTS) inúmeros impulsos neurais e de hormônios de órgãos periféricos, especialmente a partir da mucosa do trato gastrintestinal, do tecido adiposo e do pâncreas, que estão envolvidos no controle alimentar a curto e longo prazos, além de informações sobre o gasto de energia em resposta às constantes alterações no balanço energético (Konturek et al., 2005).

Os peptídeos intestinais sinalizam para o hipotálamo através do ARC para mediar estímulos de apetite (+), os quais não são ativados pelos neurônios que secretam neuropeptídio Y (NPY) e peptídeo agouti-associado (AgRP), ou efeitos inibidores do apetite (-) através de neurônios que contêm a pró-opiomelanocortina (POMC) precursora do hormônio estimulante de α-melanócito (α-MSH) e do peptídeo da produção do transcrito regulado pela cocaína e anfetamina (CART) para o centro da fome no LHA e centro de saciedade no PVN no hipotálamo medial (Currie et al., 2005).

Em um dos trabalhos específicos sobre o centro de controle do consumo em ruminantes, Miner (1992) sugere que o NPY é um neurotransmissor envolvido na regulação do consumo pelo SNC. O NPY / AgRP e a POMC / CART no núcleo arqueado do hipotálamo têm papéis chaves na regulação do balanço energético. A ativação dos neurônios NPY/AgRP tem um efeito orexigênico, promovendo o consumo de alimentos, enquanto os neurônios POMC/CART têm efeito contrário, ou seja, anorexigênico. POMC é ativado através de modificação pós-transcripcional ao α-MSH. Estes dois circuitos de neurônios recebem sinais de hormônios circulantes.

O resumo do controle neuro-hormonal sobre o controle de alimentos descrito por Bell et al. (2005) sugere que:

- Leptina é secretada pelo tecido adiposo, e seus níveis circulatórios são proporcionais à reserva adiposa do corpo, seus efeitos são exercidos através do receptor da leptina (LEPR), inibindo os neurônios NPY/AgRP e estimulando os neurônios POMC/CART;
- O pâncreas secreta insulina, que tem uma influência anorexigênica sobre o ARC, contudo o aumento dos níveis plasmáticos de insulina é estimulado pelo NPY;
- Grelina, em sua maioria (60%) é produzida pelo estômago, e estimula os neurônios NPY/AgRP através dos receptores que secretam o hormônio do crescimento (GH);
- O peptídeo YY 3-36 (PYY3-36) é secretado no trato gastrintestinal distal, tendo afinidade e se ligando a receptores Y2 (Y2Rs), produzindo efeitos inibitórios nos neurônios NPY/AgRP, portanto, constitui potente sinal anorexigênico periférico;
- Os neurônios NPY/AgRP também têm um efeito inibitório nos neurônios POMC/CART através da liberação de ácido γ-aminobutírico (GABA), os quais podem ser estimulados pela ligação da grelina ao GH;
- Os sinais orexigênicos e anorexigênicos, produzidos pelos neurônios NPY/AgRP e POMC/CART, respectivamente, são então enviados para neurônios efetores de fluxo de segunda ordem, os quais também recebem modificações aferentes de sinais de dopamina, serotonina e endocabinóides; e
- Estes neurônios efetores expressam receptores que incluem o receptor Y1 (Y1R) e o receptor de melanocortina 4 (MC4R).

Entre os peptídeos anorexígenos, o primeiro reconhecido inibidor da ingestão alimentar foi a colecistocinina (CCK), o produto das células endócrinas I do duodeno-jejuno. A CCK é um hormônio mediador fisiológico da inibição do consumo de alimentos a curto prazo. Ela colabora com os sinais provenientes de mecanorreceptores do trato gastrintestinal gerados pela distensão do trato digestivo, transmitido ao cérebro através do nervo vago aferente (Konturek et al., 2005).

Porém, em ruminantes existe um tempo maior entre o consumo e a chegada dos alimentos ao duodeno, local onde é produzida a CCK. Assim, CCK é menos importante nestes animais do que em animais que apresentam estômago simples. No entanto, observou-se aumento das concentrações plasmáticas de CCK em vacas 3 horas após a alimentação (Choi e Palmquist, 1996), indicando que a CCK também tem alguma função no controle do consumo alimentar em ruminantes.

Todos estes moduladores estão interagindo e juntos estabelecem um balanço total entre consumo de alimentos e o gasto energético e dessa forma provocam estímulos ao animal de começar ou não um novo ciclo alimentar.

Fatores psicogênicos

A regulação psicogênica sobre o consumo de alimentos, como percepção e aprendizagem, envolve o comportamento animal em resposta a fatores inibidores ou estimuladores no alimento, ou no manejo alimentar, que não estão relacionados ao valor energético do alimento, nem ao efeito de enchimento. Os fatores psicogênicos que alteram o consumo de alimentos consistem em sabor, odor e textura do alimento; visão; estado emocional; interações sociais e aprendizagem animal, sendo que a de maior impacto na modulação psicogênica da ingestão de alimentos é a palatabilidade (Mertens, 1994).

Fatores relacionados ao animal

a) Peso corporal

O peso corporal (PC) é um fator determinante no CMS de bovinos. Galyean e Hubbert (1992) observaram que o PC inicial representou 59,8% da variação do CMS em dietas com concentrações de ELm que variaram de 1 a 2,4 Mcal / kg MS. Em uma ampla discussão sobre modelos de predição de CMS, Pittroff e Kothmann (2001) avaliaram 12 diferentes equações e independente do grau de complexidade e sofisticação matemática das mesmas, 10 dessas consideram o peso corporal, denotando a grande importância da inclusão dessa variável nas equações de predição do CMS.

b) Grupo genético

Segundo o NRC (1987), a seleção genética para desempenho produziu animais com maior potencial de CMS e sugeriu que fatores de ajuste na predição do CMS sejam realizados. Allen (1992) afirmou que raças continentais podem consumir 10% a mais do que as raças britânicas e, com base nesta informação, o AFRC (1993) propôs fatores de ajuste na predição de CMS para várias raças puras.

O NRC (2000), no seu modelo de predição de CMS, adotou os ajustes para raça propostos por Fox et al. (1988). Eles propuseram que a predição de CMS deve ser aumentada em 8% para raça Holandesa e 4% para animais cruzados das raças Holandesa e britânicas. O NRC (2000) não sugere alteração no CMS para raças zebuínas.

c) Composição corporal

A composição corporal dos bovinos em confinamento não é constante e muda ao longo do tempo de confinamento e com aumento no PC. A composição corporal, especificamente a percentagem de gordura corporal, parece ser o principal componente a afetar o CMS (NRC, 1987). Segundo Grant e Helferich (1991), isto se deve à desaceleração do crescimento muscular e ao desenvolvimento mais rápido do tecido adiposo, com a elevação do PC. Fox et al. (1988) sugeriram alteração no CMS, quando os bovinos apresentam percentual de gordura do corpo vazio superior a 21,3%. Jorge et al. (1997) observaram maior percentual de gordura corporal (24,41%) para animais Nelore em relação à cruzados de corte (21,62%) e cruzados leiteiros (19,50%). Fox et al. (1988) sugeriram redução de 3, 10, 18 e 27% no CMS, quando o percentual de gordura

do corpo vazio estiver, respectivamente, com 23,8; 26,5; 29,0 e 31,5%.

d) Classe sexual

Marcondes et al. (2008), Véras et al. (2008) e Lage et al. (2012) não verificaram influência das classes sexuais: fêmeas, machos castrados e machos não castrados para o CMS, porém Paulino et al. (2008) observaram que o CMS foi 9,3% superior nas fêmeas, em relação aos machos não castrados, sendo que o CMS de machos castrados não diferiu de ambos. Segundo os autores, o maior consumo das fêmeas ocorreu por serem jovens.

Em novilhas, o NASEM (2016) sugeriu que a predição de CMS deveria ser diminuída em 10% para fêmeas com condição corporal média. A explicação para redução no CMS é porque as novilhas atingem maturidade fisiológica antes dos machos (NRC, 2000), e assim poderá ter maior acúmulo de gordura corporal antes dos machos. Como a gordura exerce influência indireta no CMS, pela secreção de leptina pelos adipócitos, hormônio que tem sido correlacionado às reduções no consumo (Nkrumah et al., 2005), espera-se que a capacidade de CMS das fêmeas diminua com o aumento do PC. Dessa forma, o efeito de classe sexual não pode ser considerado isoladamente, já que a condição corporal ou o percentual de gordura corporal exerce uma influência direta sobre as classes sexuais. Para Huuskonen et al. (2013), a influência da classe sexual sobre o CMS pode ser confundida com outros efeitos experimentais aleatórios.

Fatores ambientais

O clima do Brasil é diversificado em consequência de fatores variados, como a fisionomia geográfica, a extensão territorial, o relevo e a dinâmica das massas de ar. Este último fator é de suma importância porque atua diretamente tanto na temperatura quanto na pluviosidade, provocando as diferenças climáticas regionais. No entanto, o rebanho bovino do Brasil encontra-se em maior densidade na região tropical, com temperaturas normalmente acima de 25ºC, já que a distribuição do rebanho bovino se concentra principalmente nos estados de Mato Grosso, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiáis, os quais juntos representam mais de 40% (Alvares et al., 2013; Teixeira e Hespanhol, 2015).

Quanto aos fatores ambientais, Fox et al. (1988) sugeriram que em temperaturas variando entre 25 e 35ºC, a predição do CMS fosse reduzida em 10% e acima de 35ºC reduzida em 35%.

Ingvartsen et al. (1992) avaliaram o efeito do comprimento do dia sobre a capacidade de CMS e observaram que o CMS esperado pode ser 1,5 a 2% maior em dias longos e 1,5 a 2% menor em dias curtos.

Fatores de manejo e dietéticos

Existe uma relação entre a concentração energética da dieta e o CMS por bovinos para produção de carne, baseado no conceito que em dietas menos digestíveis, ou seja, com baixa energia (alta fibra), o CMS é controlado por fatores conhecidos como enchimento ruminal e impedimento físico da passagem da digesta, enquanto para dietas com alta digestibilidade, alta energia (baixa fibra), o CMS é controlado pela demanda energética do animal e por fatores metabólicos (NRC, 1987).

A forte correlação entre a fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e a fase de regulação física do consumo se dá principalmente em virtude do alto volume ocupado pela fração da parede celular das forragens (Mertens, 1994), bem como as suas características de baixa densidade e de degradação mais lenta, quando comparada ao conteúdo celular (Van Soest, 1994; NRC, 2001). A distensão no compartimento rúmen-reticular provocada pelo enchimento estimula receptores na camada muscular localizados, principalmente, ao nível de retículo e saco cranial (Allen, 1996; 2000), em que mecanorreceptores são excitados por estímulos mecânicos e químicos e tensorreceptores respondem à distensão em si (Allen, 2000), estimulando o final do período de alimentação.

No entanto, esta abordagem tem sido criticada, porque assume intrinsecamente, que os mecanismos físicos e metabólicos são independentes um do outro. Tal consideração é fisiologicamente improvável, uma vez que, os sinais reguladores funcionam de forma integrada, para criação de sinal positivo ou

negativo sobre a ingestão voluntária de matéria seca (Detmann et al., 2014).

Associam-se ao mecanismo físico, o consumo de FDN ou a sua concentração na dieta (Detmann, 2010), portanto, uma única estimativa do teor de FDN não é suficiente para entender ou prever o consumo voluntário em bovinos (Detmann et al., 2014). Assim, a separação de um total de FDN em FDN indigerida e FDN potencialmente degradável (FDNpd) pode melhorar as associações com o consumo voluntário (Huhtanen et al., 2007; Harper e McNeill, 2015). Para condições tropicais, Detmann et al. (2003) sugeriram que a ingestão de FDN acima de 13,53 g/kg PC regularia o consumo por mecanismos físicos, no entanto, Oliveira et al. (2011) relataram que a fonte de forragem deve ser considerada e indicaram valor médio de 13,2 g/kg PC para silagem de milho e 9,4 g/kg PC para cana-de-açúcar e recomendaram a discriminação qualitativa das frações da FDN e lignina para sua utilização eficaz em modelos de predição de CMS.

Para condições tropicais, Detmann et al. (2014) relacionaram o CMS com o teor de matéria orgânica digestível (MOD) e de FDN indigerida e, observaram efeito quadrático: CMS (g/kg) = -5,50 + 0,092 × MOD – 0,00007 × MOD^2, com ponto de máxima de 658 g de MOD/kg de MS e efeito linear decrescente: CMS (g/kg) = 27,8 – 0,016 × FDN indigerida, respectivamente. Esses autores verificaram que o ponto de equilíbrio entre a regulação física e química de consumo para bovinos de corte ocorreu com CMS de 20,86 g/kg PC, sendo esse valor observado para dietas com teor de MOD de 660 g/kg de MS e de FDN indigerida de 228 g/kg de MS. Isto demonstra que o CMS é simultaneamente regulado por limitações físicas e fisiológicas.

A deficiência de proteína (menor que 7 a 8% PB) é outra característica dietética que pode diminuir o CMS, já que se torna limitante para que os microrganismos ruminais apresentem plena capacidade de utilização dos carboidratos fibrosos da forragem tropical (Lazzarini et al., 2009; Sampaio et al., 2009). Com uma dieta pobre em nitrogênio e rica em fibra oriunda da forragem, o fornecimento de uma suplementação com nitrogênio aumenta o CMS (Galyean e Goetsch, 1993).

Portanto, os fatores que controlam o consumo de alimentos são complexos, verdadeiramente multifatoriais e não existe um consenso de como os ruminantes regulam esta importante atividade (Forbes, 2007).

Neste sentido, todos esses fatores deveriam ser considerados, quando se deseja predizer matematicamente o real comportamento biológico do consumo de matéria seca por bovinos para produção de carne em condições tropicais. Contudo, nenhum tipo de equação será aplicável se as condições de alimentação (disponibilidade de alimento, taxa de lotação, espaço no cocho, tempo de acesso ao alimento, frequência de alimentação, etc.) estiverem limitando o consumo (Mertens, 1992).

Adaptação em sistema de confinamento

A adaptação no confinamento pode influenciar o CMS. Geralmente os animais migram de dietas com alta proporção de volumoso para altas proporções de concentrados após longas viagens com privação de água e alimentos (Loerch e Fluharty, 1999). Os animais, normalmente, saem das pastagens com nenhuma ou baixa suplementação de concentrados e iniciam o confinamento com teores de concentrado, muitas vezes chegando a 90% em menos de 14 dias (Brown et al., 2006; Pereira et al., 2020). Como consequência dessas mudanças, a acidose é apontada como o segundo maior problema de saúde nos animais enfrentado pelos nutricionistas em sistemas confinados nos últimos seis anos (Pinto e Millen, 2018; Silvestre e Millen, 2021). O manejo adequado dessa fase influencia o consumo e o desempenho durante todo o confinamento. Segundo Estevam et al. (2020), um dos fatores determinantes ao protocolo de adaptação é o teor energético das dietas de terminação. Segundo estes autores, os sistemas que usam menor teor energético na dieta podem reduzir os períodos de adaptação sem prejudicar a saúde e o desempenho dos animais.

Tradicionalmente, os bovinos são adaptados ao confinamento com aumento gradual na quantidade de alimento concentrado por períodos de 14 a 21 dias (Bierman e Pritchard, 1996). No Brasil, Silvestre e Millen (2021) indicaram que se usam em média 3 dietas,

com intervalos de 7 dias por dieta, durante o período de adaptação ao confinamento. Estes autores relataram que as dietas múltiplas, com aumento de concentrado em dias definidos, representam 61,1% das dietas de adaptação formuladas durante o confinamento, fornecidas em média por 19 dias. Além disso, eles informaram que a menor parte (39,9%) dos confinamentos utilizam outras opções durante a adaptação, como: dieta única com menos energia do que na fase de terminação por 25 dias; duas dietas por 7 a 8 dias cada; dieta de terminação com restrição alimentar por 40 dias de adaptação; e há ainda aqueles que utilizam dietas múltiplas associadas à restrição de consumo (Silvestre e Millen, 2021). Nesse estudo, a maioria dos nutricionistas sugeriu iniciar a adaptação utilizando 36,5% de volumoso na MS total da dieta.

Outros fatores a serem considerados na fase de adaptação ao confinamento é a quantidade inicial de concentrado na dieta e a quantidade diária de MS. Parra et al. (2019) avaliaram protocolos de adaptação durante 7, 14 e 21 dias. Os animais receberam 55, 65 e 75% de concentrado e foram terminados com dietas com 85% de concentrado, recebendo inicialmente 1,76% do PC para CMS da dieta, com aumentos de 200 a 206 g MS/dia. Estes autores concluíram que o aumento no tempo de adaptação não influenciou o consumo e o desempenho dos animais. Barducci et al. (2019) avaliaram animais adaptados por 9 ou 14 dias. Com 9 dias de adaptação mudavam-se as dietas a cada 3 dias, já com 14 dias, as mudanças entre as dietas ocorriam nos dias 4 e 9. Os animais iniciaram com 55% de concentrado, aumentando 10% de concentrado em cada fase da adaptação até atingir 85% na fase de terminação. A duração da adaptação não influenciou o consumo de matéria seca e o desempenho animal.

Manejo de cocho

O manejo de cocho precisa ser simples e sensível para detectar alterações no consumo da dieta (Schutz et al., 2011), evitar desempenho abaixo do esperado, desperdícios de alimentos e problemas digestivos. No Brasil, os nutricionistas utilizam quatro manejos de cocho, sendo eles: manejo do cocho limpo, com 1 a 3% de sobras, 3 a 5% de sobras e 5 a 10% de sobras da dieta fornecida (Millen et al., 2009). O manejo de cocho limpo, é baseado no conceito de saciedade e desperdício. Nesse manejo os cochos e o comportamento animal são monitorados diariamente para possibilitar o fornecimento adequado da dieta sem possibilitar sobras, evitando perdas do alimento. O manejo do cocho com 1 a 3% ou de 3 a 5% ou ainda de 5 a 10% de sobras, é normalmente traduzido em escores para facilitar a tomada de decisão sobre o aumento ou redução no fornecimento das dietas. Atualmente, no Brasil, os nutricionistas estão utilizando cada vez menos sobras nos cochos. Estudo realizado por Millen et al. (2009) demonstrou que em 2008, apenas 25,8% dos nutricionistas utilizavam manejo de cocho limpo, enquanto 48,4% utilizavam 1 a 3% de sobras. Em estudo recente, Silvestre e Millen, (2021) demonstraram que 44,44% dos nutricionistas utilizavam manejo de cocho limpo, enquanto 41,67% de 1 a 3% de sobras. Esses resultados demonstram aumento na restrição do fornecimento alimentar, reflexo do aumento no custo das dietas, que demonstram a importância do desenvolvimento de equações precisas e acuradas na predição de consumo que possibilitem máximo desempenho com menor desperdício de dieta.

PREDIÇÃO DO CONSUMO DE MATÉRIA SECA POR BOVINOS EM CONFINAMENTO

Para poder ser planejado um eficiente programa de alimentação capaz de encontrar o melhor manejo alimentar para atender as exigências nutricionais, é necessário predizer com maior precisão e acurácia o nível de consumo voluntário por bovinos em crescimento e terminação sob alimentação *ad libitum*.

Um modelo de predição de CMS é uma representação simplificada do complexo sistema de ingestão voluntária de alimentos (Keady et al., 2004). Considerando que fosse possível incluir todos os fatores fisiológicos, ambientais, dietéticos e de manejo que interferem no CMS, possivelmente o modelo obtido seria difícil de ser interpretado biologicamente.

ESTADO DA ARTE SOBRE A PREDIÇÃO DO CONSUMO DE MATÉRIA SECA

Durante muito tempo, os modelos de predição de CMS propostos pelo NRC (1984, 2000) foram os mais utilizados no Brasil. No entanto, os modelos propostos pelo NRC (1984, 2000) e o NASEM (2016) foram desenvolvidos principalmente com animais *Bos taurus taurus*. Conforme o ANUALPEC (2015), 80% do rebanho brasileiro é composto de gado Zebu, com estimativa de 150 milhões de cabeças de zebuínos. A contribuição das raças zebuínas para a produção de carne e leite no Brasil em um sistema de produção sustentável é devido às características de fertilidade, rusticidade, adaptabilidade ao ambiente tropical e aos sistemas de produção de carne brasileira, sendo a raça Nelore a predominante nos sistemas de produção de carne no Brasil.

Fox et al. (1988) observaram que o grupo genético é reconhecidamente um dos fatores que interfere no CMS. Com base nesse trabalho, o NRC (1987) e o AFRC (1993) adotaram o fator de ajuste relacionado ao grupo genético nas equações de predição de CMS, por identificar raças de bovinos com maior potencial de consumo que outras. Além disso, estimulantes anabolizantes foram usados nos bovinos do banco de dados do modelo de predição de CMS proposto pelo NRC (1984, 2000). No Brasil, a proibição do uso de anabolizantes para qualquer finalidade teve início em 1961 e atualmente vigora a Portaria Ministerial nº 51 (Brasil, 1991) que proíbe a produção, importação, comercialização e o uso de produtos para fins de crescimento e ganho de peso dos animais de abate. Para os compostos não esteroidais com atividade anabolizante, a proibição se estende, inclusive, para fins terapêuticos.

Segundo Neal et al. (1984), os modelos de predição do CMS deveriam ser testados em condições semelhantes àqueles em que se destina serem utilizados. Portanto, não há um único modelo que se aplica em todas as situações, existindo necessidade de desenvolver e validar modelos de predição do CMS em condições tropicais. Por isso, equações para predizer o CMS de bovinos de corte em condições brasileiras e com zebuínos (raça Nelore) foram desenvolvidas e validadas por Valadares Filho et al. (2006a), que aliados às exigências de energia, proteína e minerais resultou na publicação intitulada Exigências nutricionais de Zebuínos e Tabelas de Composição de Alimentos – BR-CORTE, descrito por Valadares Filho et al. (2006b).

No BR-CORTE (2006), para construir o banco de dados de animais zebuínos (principalmente da raça Nelore) foram utilizadas 15 dissertações e/ou teses. No banco de dados de animais Cruzados de corte, foram utilizadas 10 dissertações e/ou teses, gerando um total de 273 unidades experimentais. Assim, foram recomendadas as seguintes equações de predição do CMS:

- Zebuínos:

$$CMS\ (kg/dia) = -2{,}4001 + 0{,}0201 \times PC + 4{,}8195 \times GMD - 1{,}5176 \times GMD^2$$

- Cruzados de corte:

$$CMS\ (kg/dia) = -1{,}4105 + 0{,}0171 \times PC + 5{,}4125 \times GMD - 1{,}8691 \times GMD^2,$$

em que PC = peso corporal médio (kg) e GMD = ganho de peso médio diário (kg/dia).

Os modelos de CMS propostos indicaram que os valores preditos foram equivalentes aos observados em condições práticas de alimentação de bovinos de corte confinados em condições tropicais.

Ribeiro et al. (2008) avaliaram o CMS por grupos genéticos de zebuínos e compararam os valores observados com os preditos por meio dos sistemas NRC (2000), CNCPS 5.0 e BR-CORTE (Valadares et al., 2006b). Estes autores observaram que o sistema brasileiro BR-CORTE foi mais eficiente nas predições do CMS por raça e para todos zebuínos.

Valadares Filho et al. (2006a) também observaram falta de ajuste para os modelos propostos pelo NRC (1984, 2000) em predizer o CMS de bovinos de corte em condições tropicais. Nesse sentido, as equações propostas pelo NRC (1984, 2000) seriam incapazes de explicar maior porcentagem da variação observada no CMS, quando comparadas às equações adotadas pelo BR-CORTE (Valadares et al., 2006b).

Os pesquisadores coletaram os dados a partir de múltiplos estudos publicados e tentaram

estabelecer um modelo quantitativo que melhor explica as observações. Geralmente, existem diferenças entre os estudos devido aos objetivos e ignorando estas diferenças numa análise conjunta dos dados, tem-se como consequência que a estimativa dos parâmetros (intercepto e inclinação) dos modelos de regressão pode ser tendenciosa. Neste sentido, foi proposto no BR-CORTE (Azevêdo et al. 2010), o uso da meta-análise para integrar o efeito de estudo e efeitos aleatórios das interações como componentes de um modelo misto (St-Pierre, 2001) e gerar modelos de predição de CMS mais precisos e acurados. Então, na segunda edição das Tabelas Brasileiras de Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados, BR-CORTE (Azevêdo et al. 2010), o banco de dados sobre CMS foi ampliado; e os modelos mais utilizados pelo NRC foram avaliados, bem como novas equações para predizer o CMS, usando a meta-análise, foram desenvolvidas e validadas.

Os dados incluíram 561 observações a partir de 27 teses e/ou dissertações (estudos) que foram publicados na Universidade Federal de Viçosa e na Universidade de São Paulo. No BR-CORTE (Azevêdo et al. 2010), observou-se que as equações propostas pelo NRC não foram adequadas para predizer o CMS para bovinos em condições tropicais e sugeriu-se o uso das seguintes equações de predição do CMS:

- Zebuínos:

$$CMS\ (kg/dia) = -2{,}7878 + 0{,}08789 \times PC^{0,75} + 5{,}0487 \times GMD - 1{,}6835 \times GMD^2;$$

- Cruzados:

$$CMS\ (kg/dia) = -2{,}6098 + 0{,}08844 \times PC^{0,75} + 4{,}4672 \times GMD - 1{,}3579 \times GMD^2,$$

em que $PC^{0,75}$ = peso corporal médio metabólico ($kg^{0,75}$) e GMD = ganho de peso médio diário (kg/dia).

Ferreira et al. (2021) avaliaram modelos de predição do CMS pelos sistemas nutricionais BR-CORTE (Azevêdo et al., 2010 e 2016) e NRC (2000), com 47 bovinos Nelore confinados, não castrados, peso médio inicial de 413 kg e 19 meses de idade. Eles concluíram que o modelo BR-CORTE (Azevêdo et al., 2016) foi o mais adequado para estimar com maior precisão e exatidão o CMS de bovinos Nelore.

O principal grupo que atuou nas mudanças em relação à predição de CMS por bovinos para produção de carne na 8ª edição das Exigências Nutricionais de Bovinos de Corte do NASEM (2016) foi liderado pelo Professor e Pesquisador Michael L. Galyean, da *Texas Tech University, Department of Animal and Food Sciences.*

Seu grupo publicou quatro artigos sobre esse tema. O primeiro, "Avaliação das equações de predição do consumo de matéria seca e do desempenho do NRC (1996) de bovinos confinados", por McMeniman et al. (2009). Nesse artigo objetivou-se avaliar os modelos de predição do CMS do NRC (1996). Eles utilizaram um banco de dados contendo 3.363 registros de baias coletivas, representando 632.306 bovinos em 3 confinamentos comerciais coletados por um período de 4 anos (2003 a 2006), e concluíram que as equações propostas pelo NRC (1996) não foram úteis para predizer o CMS de bovinos em confinamento comercial e sugeriram a necessidade de desenvolvimento de novas equações com maior exatidão e precisão.

O segundo artigo foi sobre "Desenvolvimento e avaliação de equações de consumo de matéria seca em períodos médios de dados baseados em confinamento comercial", por McMeniman et al. (2010). Esses autores propuseram modelos de predição de CMS que consideram a classe sexual e informação prévia do CMS no início do confinamento.

No terceiro artigo, Galyean et al. (2011) publicaram "Previsibilidade do desempenho de bovinos confinados em crescimento". Esses autores validaram as equações propostas por McMeniman et al. (2010) e sugeriram equações que fossem utilizadas para predição de CMS por bovinos de corte em confinamento alimentados em dietas com alto concentrado.

No quarto artigo, "Avaliação dos modelos atuais e desenvolvimento de equação", por Anele et al. (2014), foram desenvolvidas novas equações, porém, segundo Anele et al. (2014), estas equações forneceram apenas melhorias modestas na melhor das hipóteses e, em alguns casos, não

ofereceram nenhuma vantagem real em relação às equações propostas pelo NRC (1996) para predizer o CMS de bovinos de corte em crescimento ou terminação.

Anele et al. (2014) relataram que foi decepcionante saber que sua pesquisa pouco conseguiu melhorar a capacidade preditiva do CMS, e reconheceram a dificuldade no desenvolvimento de predições precisas sobre o CMS por bovinos de corte em crescimento e terminação. Isto, sem dúvida, é a influência dos complexos fatores que controlam o CMS que dificultam explicar, adequadamente, o comportamento biológico do CMS, utilizando modelos matemáticos e algumas variáveis independentes.

Conforme os resultados apresentados por Anele et al. (2014), o NASEM (2016) recomendou a continuidade do uso da equação proposta pelo NRC (2000) para predizer o consumo de energia líquida de mantença (CELm, Mcal/dia) e posteriormente estimar o CMS, que pode ser obtido dividindo o CELm pela concentração de energia líquida de mantença da dieta (Elm):

- Para animais de sobreano (*Yearlings*):

$$CELm\ (Mcal/dia) = PC^{0,75} \times (0,2435 \times ELm - 0,0466 \times ELm^2 - 0,0869),$$

em que $PC^{0,75}$ = o peso corporal médio metabólico para o período de alimentação. Para dietas com concentração de ELm ≤ 0,95 Mcal/kg MS, o NASEM (2016) recomendou a divisão do resultado dessa equação do consumo de ELm por 0,95.

No entanto, devido aos resultados dessa equação sub ou superestimarem o CMS dependendo das condições dietéticas e do animal conforme relatado por Anele et al. (2014), o NASEM (2016) recomenda que a equação de CMS em função do peso corporal descrita por Anele et al. (2014) também seja usada para predizer o CMS de bovinos de corte em crescimento ou terminação:

$$CMS\ (\%\ PCm) = 1,2425 + 1,9218 \times ELm - 0,7259 \times ELm^2\ (R^2 = 0,6188),$$

em que PCm = peso corporal médio (kg). O NASEM sugere que não há nenhuma razão para recomendar uma única equação para estimar o CMS.

Baseado no trabalho de validação relatado por Galyean et al. (2011), o comitê do NASEM (2016) recomenda usar as equações descritas por McMeniman et al. (2010), com ajustes para classe sexual, para estimar o CMS de bovinos em confinamento alimentados com dietas de alto grão (≥ 2,06 Mcal de Elm e ≥ 1,4 Mcal/kg de Elg):

- Novilhos:

$$CMS\ (kg/dia) = 3,83 + 0,0143 \times PCJi;$$

- Novilhas:

$$CMS\ (kg/dia) = 3,184 + 0,01536 \times PCJi,$$

em que PCJi, o peso médio em jejum inicial.

No NRC (2000) já se considerou que os métodos descritos para predizer o CMS foram planejados para fornecer uma orientação geral. Não existe uma equação capaz de ser aplicada em todas as situações de produção. O correto é desenvolver modelos de predição do CMS específicos para determinada situação de produção. Assim, tais modelos conseguiriam explicar maior porcentagem da variação observada no CMS, quando comparado a um modelo generalizado.

Apesar de o Brasil possuir um rebanho de corte de tamanho praticamente estagnado, a melhoria das condições produtivas tem aumentado os índices de produtividade. Para que esses índices possam continuar aumentando para reduzir os custos produtivos e tornar o produto mais acessível ao consumidor, é necessária a constante atualização e validação dos conhecimentos gerados na pesquisa. Isso faz com que o maior número de fontes de variação possa ser conhecido e considerado. Da mesma forma, o aumento no número de dados de consumo individual de bovinos, oriundos de pesquisa em condições tropicais, faz com que os procedimentos estatísticos para estimar o CMS fiquem mais sensíveis às variações provenientes dos diversos fatores de produção.

DESCRIÇÃO DOS DADOS UTILIZADOS NA PREDIÇÃO DE NOVOS MODELOS PARA BOVINOS CONFINADOS

O Brasil é um país com dimensões continentais, que possui uma ampla diversificação climática e possibilita a criação de

bovinos predominantemente de raças zebuínas, mas também, a utilização de grupos genéticos distintos e especializados na produção de carne, em cruzamentos, visando os benefícios do vigor híbrido para aumentar a produtividade do rebanho.

Além disso, no Brasil, uma parcela significativa da carne produzida é oriunda dos machos provenientes de rebanhos leiteiros, os quais são utilizados para recria e engorda como gado de corte. Diante dessa diversidade genética existente entre os bovinos criados no Brasil e sabendo que fisiologicamente existem diferenças no potencial de crescimento e nas exigências nutricionais, separou-se o banco de dados em três grupos genéticos para predição de novos modelos para estimar o CMS por bovinos em condições tropicais: Zebuínos (animais predominantemente Nelore), Cruzados de Corte (animais oriundos de cruzamentos com raças especializadas para produção de carne, com predominância de Angus x Nelore) e Cruzados de Leite (animais oriundos de cruzamentos de zebuínos com raças especializadas para produção de leite, principalmente a raça Holandesa).

Para gerar os modelos de predição do CMS capazes de serem representativos biologicamente e explicar a maior porcentagem da variação observada no CMS principalmente em condições comerciais, Menezes et al. (2022) utilizaram a base de dados de animais Zebuínos machos do BR-CORTE (Azevedo et al., 2016) e adicionaram dados de consumo de 479 baias de Nelore de um confinamento comercial, totalizando 56.452 animais. A equação proposta foi avaliada em outros dois confinamentos comerciais com 222 e 231 baias, totalizando 23.531 e 6.384 animais. Após validação, a equação foi comparada com a equação 2.1 proposta pelo BR-CORTE (Azevedo et al., 2016) e com as equações propostas por McMeniman et al. (2010), Anele et al. (2014) e Silva et al. (2021). A equação sugerida por Menezes et al. (2022) foi mais precisa e acurada em predizer o CMS. Portanto, apesar da equação publicada na versão anterior ser precisa em predizer CMS, nesta edição utilizamos a equação publicada por Menezes et al. (2022) em que o banco de dados contém 1128 unidades experimentais (UE) de animais zebuínos.

As equações para bovinos cruzados de corte e de leite por apresentarem boa precisão não foram alteradas permanecendo com 270 e 409 UE respectivamente (Tabela 2.1). O banco de dados utilizado é robusto e possui 1.807 UE, oriundas de pesquisa e unidades de confinamento comercial com rigoroso sistema de gestão com bovinos em crescimento ou terminação, com registro de consumo individual e em grupo, sendo respeitados um período de adaptação para minimizar o impacto do crescimento compensatório sobre CMS.

Procedeu-se à análise descritiva (Triola, 1999) dos dados (Tabela 2.1), com o propósito de obter o perfil do conjunto de dados pelas medidas de tendência central e de dispersão. De forma geral, as amplitudes totais das diferentes variáveis presentes no banco de dados utilizado para desenvolvimento das equações de predição do CMS (Tabela 2.1) representam amplamente as características brasileiras dos sistemas de produção de bovinos de corte em confinamento, possibilitando variações de baixo a alto PC inicial, PC final, GMD, CMS e com variações nos consumos de FDN e PB. Dessa forma, permitem projeções representativas, face ao universo de dietas empregadas para bovinos destinados à produção de carne em condições tropicais e suas possíveis interações com grupo genético e interferência nos padrões de regulação de CMS.

Utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson para medir a intensidade da relação linear entre o CMS e as demais variáveis quantitativas. A análise de correlação revelou que, dentre os maiores coeficientes encontrados, destacam-se aqueles que explicam a relação linear entre o CMS e aqueles relacionados aos pesos dos bovinos e ao desempenho, apresentando coeficientes positivos e significativos ($P<0,05$). As variáveis relacionadas às dietas (FDN e PB, g/kg), além de apresentarem baixos coeficientes de correlação, independente do grupo genético avaliado, a FDN não apresentou coeficientes significativos ($P>0,05$) e a PB só apresentou significância para os grupos genéticos dos zebuínos e cruzados de leite. Diante dos resultados da correlação de Pearson, adotou-se como variáveis para serem utilizadas nos modelos de predição de CMS, o $PC^{0,75}$ e o GMD.

Tabela 2.1 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas para predição do consumo de matéria seca e variáveis relacionadas ao consumo de nutrientes para zebuínos, e cruzados de corte e de leite

Variável	N	Média	DP	Mínimo	Máximo
Zebuínos					
Duração, dias	1128	102	36,9	42,0	271
Peso corporal inicial, kg	1128	330	70,0	110	499
Peso corporal final, kg	1128	450	91,3	125	652
GMD, kg/dia	1128	1,23	0,49	-0,36	2,00
Consumo					
Matéria seca, kg/dia	1128	8,41	2,10	1,29	13,2
FDN, kg/dia	951	2,88	0,71	0,79	7,61
FDNi, kg/dia	388	1,24	0,55	0,13	2,43
Proteína bruta, kg/dia	951	1,03	0,19	0,29	1,74
NDT, kg/dia	949	6,03	1,14	1,00	10,2
Cruzados de corte					
Duração, dias	270	112	35,6	55,0	232
Peso corporal inicial, kg	270	352	55,3	215	580
Peso corporal final, kg	270	455	78,6	220	607
GMD, kg/dia	270	1,22	0,48	-0,19	2,37
Consumo					
Matéria seca, kg/dia	270	8,57	1,94	2,46	12,5
FDN, kg/dia	188	3,25	1,24	0,83	6,97
FDNi, kg/dia	30	0,81	0,16	0,50	1,09
Proteína bruta, kg/dia	163	1,15	0,28	0,30	1,67
NDT, kg/dia	141	5,52	1,50	1,74	9,22
Cruzados de leite					
Duração, dias	409	107	53,7	30,0	242
Peso corporal inicial, kg	409	323	77,3	139	494
Peso corporal final, kg	409	429	87,5	206	661
GMD, kg/dia	409	1,06	0,52	-0,13	2,64
Consumo					
Matéria seca, kg/dia	409	8,03	2,41	2,18	15,1
FDN, kg/dia	265	2,86	1,17	0,65	6,14
FDNi, kg/dia	30	0,98	0,26	0,42	1,44
Proteína bruta, kg/dia	264	0,99	0,35	0,18	2,01
NDT, kg/dia	138	5,64	1,63	2,53	9,45

N: número de unidades experimentais; DP: desvio padrão; GMD: ganho de peso médio diário; FDN: fibra insolúvel em detergente neutro; FDNi: FDN indigestível; NDT: nutrientes digestíveis totais.

Seguindo as recomendações de St-Pierre (2001), verificou-se inicialmente a existência do efeito de estudo no banco de dados. Observou-se efeito de estudo ($P<0,0001$) e esse foi considerado nas análises posteriores.

Foram desenvolvidas equações para predição do CMS em função dos grupos genéticos:

Zebuínos

$$CMS\ (kg/dia) = -2,1948 + 0,08338 \times PC^{0,75} + 3,9328 \times GMD - 0,9030 \times GMD^2;$$
$$(R^2 = 0,859)\ (Equação\ 2.1)$$

Cruzados de corte

$$CMS\ (kg/dia) = -0,6273 + 0,06453 \times PC^{0,75} + 3,871 \times GMD - 0,614 \times GMD^2$$
$$(R^2 = 0,626)\ (Equação\ 2.2)$$

Cruzados de leite

$$CMS\ (kg/dia) = -2,8836 + 0,08435 \times PC^{0,75} + 4,5145 \times GMD - 0,9631 \times GMD^2$$
$$(R^2 = 0,788)\ (Equação\ 2.3)$$

O coeficiente negativo para a variável GMD^2 (kg/dia) para todas as equações ajustadas indicou que as estimativas para CMS apresentam um platô. A explicação para este

fato pode estar diretamente relacionada com a concentração de energia das dietas utilizadas. Partindo do princípio de que para alcançar GMD máximo, a concentração energética da dieta deverá estar alta, inibindo o CMS, como sugere a teoria da regulação para a ingestão de energia proposta por Mertens (1994).

Considerando a importância desse efeito, o NASEM (2016) propôs equações que incluíram as variáveis ELm e ELm^2. No entanto, devido às dificuldades práticas de se determinar a ELm antes de saber quais os alimentos irão compor a dieta, Thornton et al. (1985) desenvolveram um modelo para predizer CMS, que incluiu peso corporal inicial e dias de confinamento (DC). Para esses autores, o CMS inicial aumenta gradativamente, em função dos DC, até atingir um platô e posteriormente, decresce nos últimos DC devido ao aumento do conteúdo de gordura corporal dos animais confinados. A concentração de gordura na carcaça começa em ritmo lento no início do período de alimentação, mas acumula-se em ritmo rápido no final do período de alimentação (Simpfendorfer, 1974).

VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DE CONSUMO DE MATÉRIA SECA

Os resultados de pesquisa provenientes de valores médios (experimentos independentes) publicados entre 2005 até outubro de 2014 na Revista Brasileira de Zootecnia, Boletim da Indústria Animal, Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia foram compilados e utilizados para compor o banco de dados para a validação das equações de predição do CMS por zebuínos, e cruzados de corte e de leite terminados em confinamento nas condições tropicais (Tabela 2.2).

Na Tabela 2.2 é possível observar dispersão das variáveis utilizadas no banco de dados para validação das equações de predição do CMS e os valores mínimos e máximos para os PC, GMD e CMS indicam que ampla quantidade de dietas foi utilizada. Pode-se observar que o critério de seleção empregado foi eficaz, permitindo boa representatividade, pois não interferiu nos valores médios das variáveis utilizadas para o desenvolvimento das equações de predição do CMS. É importante destacar que, neste banco de dados da validação, existem informações de diferentes estados do Brasil, possibilitando maior representatividade do rebanho nacional.

Com base nas relações observadas entre os valores observados e os preditos pelas equações em função dos grupos genéticos: zebuínos, cruzados de corte e de leite (Tabela 2.3) pode-se observar que os valores de probabilidade tanto para o intercepto, quanto para inclinação não diferiram ($P>0,05$) de zero e 1, respectivamente, isto é, os valores de CMS preditos (Tabela 2.3) pelas equações desenvolvidas são equivalentes aos CMS observados em condições práticas de alimentação de bovinos de corte, confinados em condições tropicais. Os consumos de matéria seca estimados para zebuínos, e cruzados de corte e de leite , obtidos para diferentes pesos corporais e ganhos de peso encontram-se na Tabela 2.4.

Tabela 2.2 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas para validação das equações desenvolvidas para predição do consumo de matéria seca para zebuínos, e cruzados de corte e de leite

Variável	N	Média	DP	Mínimo	Máximo
Zebuínos					
Duração, dias	78	95,4	27,5	56,0	194
Peso corporal inicial, kg	78	364	43,5	251	438
Peso corporal final, kg	78	479	37,2	404	583
GMD, kg/dia	78	1,20	0,24	0,63	1,75
Consumo de matéria seca, kg/dia	78	8,79	1,06	6,04	10,8
Cruzados de corte					
Duração, dias	111	103	29,6	21,0	199
Peso corporal inicial, kg	111	326	62,8	187	463
Peso corporal final, kg	111	464	48,2	340	579
GMD, kg/dia	111	1,38	0,25	0,76	2,15
Consumo de matéria seca, kg/dia	111	8,83	1,44	6,11	12,7
Cruzados de leite					
Duração, dias	48	81,8	12,3	56,0	102
Peso corporal inicial, kg	48	259	94,4	67,9	380
Peso corporal final, kg	48	336	116	151	499
GMD, kg/dia	48	0,95	0,38	0,14	1,72
Consumo de matéria seca, kg/dia	48	6,69	2,24	2,80	11,1

N: número de unidades experimentais; DP: desvio padrão; GMD: ganho de peso médio diário.

Tabela 2.3 - Estatística para relação entre os valores observados e os preditos pelas equações para zebuínos, e cruzados de corte e de leite

Variável	**Zebuínos**	**Cruzados de corte**	**Cruzados de leite**
Intercepto	-0,602	-1,5386	0,6697
Valor P[1] (H_0: a = 0)	0,655	0,2022	0,0710
Inclinação	1,052	1,1316	0,9449
Valor P[2] (H_0: b = 1)	0,729	0,3150	0,3112
r^2	0,426	0,4087	0,8704
Viés médio	-0,137	-0,3329	0,3189
CCC	0,544	0,5262	0,9234
QMEP	0,698	1,3306	0,7557
Decomposição do QMEP			
Quadrado do vício	0,0188 (2,70%)	0,1108 (8,33%)	0,1017 (13,46%)
Magnitude de flutuação aleatória	0,0011 (0,15%)	0,0113 (0,85%)	0,0146 (1,93%)
Modelo de flutuação aleatória	0,6777 (97,2%)	1,2085 (90,82%)	0,6395 (84,62%)

CCC: coeficiente de correlação concordante; QMEP: quadrado médio do erro de predição. [1] Valor da probabilidade para teste de hipótese onde valor do parâmetro a = 0 (Neter et al., 1996). [2] Valor da probabilidade para teste de hipótese onde valor do parâmetro b = 1 (Neter et al., 1996).

Tabela 2.4 - Consumos de matéria seca estimados para zebuínos, e cruzados de corte e de leite terminados em confinamento, obtidas para diferentes pesos corporais e ganhos de peso

Peso corporal (kg)	Ganho de peso (kg/dia)	Consumo de matéria seca (kg)		
		Zebuínos (Equação 2.1)	Cruzados de corte (Equação 2.2)	Cruzados de leite (Equação 2.3)
200	0,75	4,68	5,36	4,45
	1,00	5,27	6,06	5,15
	1,25	5,74	6,68	5,74
	1,50	6,11	7,23	6,21
	1,75	6,36	7,70	6,55
250	0,75	5,49	5,99	5,26
	1,00	6,08	6,69	5,97
	1,25	6,55	7,31	6,56
	1,50	6,91	7,85	7,02
	1,75	7,16	8,32	7,37
300	0,75	6,26	6,58	6,04
	1,00	6,85	7,28	6,75
	1,25	7,32	7,90	7,33
	1,50	7,68	8,45	7,80
	1,75	7,93	8,92	8,15
350	0,75	6,99	7,15	6,79
	1,00	7,58	7,85	7,49
	1,25	8,06	8,47	8,08
	1,50	8,42	9,02	8,55
	1,75	8,67	9,49	8,89
400	0,75	7,70	7,70	7,51
	1,00	8,29	8,40	8,21
	1,25	8,77	9,02	8,80
	1,50	9,13	9,57	9,27
	1,75	9,38	10,0	9,61
450	0,75	8,39	8,24	8,20
	1,00	8,98	8,93	8,91
	1,25	9,46	9,56	9,50
	1,50	9,82	10,10	9,96
	1,75	10,1	10,6	10,3
500	0,75	9,06	8,75	8,88
	1,00	9,65	9,45	9,59
	1,25	10,1	10,08	10,17
	1,50	10,5	10,6	10,6
	1,75	10,7	11,1	11,0

VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DE CONSUMO DE MATÉRIA SECA PARA ANIMAIS ZEBUÍNOS E CRUZADOS DE CORTE EM CONFINAMENTOS COMERCIAIS

Os dados de CMS, PC e GMD de animais Zebuínos e Cruzados de corte foram coletados em três confinamentos comerciais com consumo individual por grupo e utilizados para a validação. Os dados foram coletados em Minas Gerais (16°01'54"S 43°47'28"W), Goiás (15°25'19.61"S 51°32'17.04"W) e Mato Grosso (16°45'30"S 54°23'03"W). Foram compilados os dados de 231 e 222 baias totalizando 29.915 animais Nelore e 27, 76 e 20 baias com Cruzados de corte totalizando 11.713 animais (Tabela 2.5). O manejo alimentar nas propriedades comerciais utilizou o período de adaptação médio às dietas de terminação por 21 dias. Os valores observados foram comparados como os valores preditos pela equação 2.1 utilizando-se o modelo de regressão: Y = a + b*x. Em que: Y = representa os valores de resposta observados; X = representa os valores preditos; a = representa o

intercepto da equação; e b = representa a inclinação da equação. A regressão foi avaliada com as seguintes hipóteses estatísticas (Neter et al., 1996): $H_0 = a = 0$ e $b = 1$; H_a = Não H_0.

Pode se observar que o banco de dados utilizado para gerar a equação 2.1 e 2.2 abrange os dados de confinamentos comerciais e permitem sua utilização na predição de consumo desses. Pode-se observar que os valores para o intercepto e a inclinação não diferiram (P>0,05) de 0 e 1, respectivamente (Tabela 2.6). Portanto os valores preditos e os observados nos confinamentos comerciais e experimentais de grande porte em condições tropicais são iguais.

Tabela 2.5 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas para a validação das equações 2.1 e 2.2 de predição do consumo de matéria seca

Variável	N	N animais	Média	DP	Mínimo	Máximo
Conf. 1 **(Zebuínos)**[1]						
Duração, dias	231	6.384	103	14,8	70	127
Peso corporal inicial, kg	231	6.384	426	37,0	344	570
Peso corporal final, kg	231	6.384	593	45,6	527	763
GMD, kg/dia	231	6.384	1,62	0,21	1,08	2,24
Consumo de matéria seca, kg/dia	231	6.384	9,14	0,76	7,14	12,2
Conf. 2 **(Zebuínos)**[1]						
Duração, dias	222	23.531	129	30,8	66,0	206
Peso corporal inicial, kg	222	23.531	309	42,9	229	523
Peso corporal final, kg	222	23.531	497	35,9	386	714
GMD, kg/dia	222	23.531	1,49	0,190	1,02	2,32
Consumo de matéria seca, kg/dia	222	23.531	11,0	0,79	8,79	13,2
Conf. 3 **(Cruzados de corte)**						
Duração, dias	27	2469	116	5,51	110	126
Peso corporal inicial, kg	27	2469	397	28,79	363	453
Peso corporal final, kg	27	2469	625	29,77	572	681
GMD, kg/dia	27	2469	1,956	0,185	1,600	2,186
Consumo de matéria seca, kg/dia	27	2469	11,7	0,517	10,2	12,3
Conf. 4 **(Cruzados de corte)**						
Duração, dias	76	8707	153	38,16	66	235
Peso corporal inicial, kg	76	8707	294	70,52	221	486
Peso corporal final, kg	76	8707	517	80,08	440	829
GMD, kg/dia	76	8707	1,500	0,325	1,087	2,423
Consumo de matéria seca, kg/dia	76	8707	9,31	1,429	7,39	12,2
Conf. 5 **(Cruzados de corte)**						
Duração, dias	20	537	105	24,0	62,3	150
Peso corporal inicial, kg	20	537	412	31,1	361,1	462
Peso corporal final, kg	20	537	539	23,4	502,7	592
GMD, kg/dia	20	537	1,223	0,133	0,970	1, 506
Consumo de matéria seca, kg/dia	20	537	9,45	0,680	8,30	11,19

N: número de unidades experimentais; Conf.: Confinamento; DP: desvio padrão.
[1]Dados adaptados publicados por Menezes et al., (2022).

Tabela 2.6 - Estatística para relação entre os valores observados dos confinamentos 1, 2, 3, 4 e 5 e os preditos pelas equações 2.1 (Conf. 1 e 2) para zebuínos e 2.2 (Conf. 3, 4 e 5) para cruzados de corte

Variável	[3]Conf. 1	[3]Conf. 2	Conf. 3	Conf. 4	Conf. 5
Intercepto	-0,051	1,05	-0,721	0,400	1,317
Valor P[1] (H_0: a = 0)	0,934	0,076	0,501	0,682	0,660
Inclinação	1,04	0,886	1,051	0,936	0,905
Valor P[2] (H_0: b = 1)	0,598	0,075	0,648	0,505	0,715
r^2	0,511	0,465	0,785	0,561	0,411
Viés médio	0,327	-0,001	-0,236	-0,250	0,225
CCC	0,600	0,659	0,860	0,680	0,535
QMEP	0,414	0,317	0,482	0,286	0,198
Decomposição do QMEP					
Quadrado do vício	0,107 (25,8%)	0,000 (0,00%)	0,056 (11,6%)	0,063 (21,9 %)	0,051 (25,6 %)
Magnitude de flutuação aleatória	0,0004 (0,090%)	0,005 (1,43%)	0,004 (0,75%)	0,001 (0,471%)	0,001 (0,564 %)
Modelo de flutuação aleatória	0,3068 (74,11%)	0,312 (98,6%)	0,422 (87,7%)	0,222 (77,7 %)	0,146 (73,8 %)

Conf.: Confinamento; CCC: coeficiente de correlação concordante; QMEP: quadrado médio do erro de predição. [1] Valor da probabilidade para teste de hipótese onde valor do parâmetro a = 0 (Neter et al., 1996); [2] Valor da probabilidade para teste de hipótese onde valor do parâmetro b = 1 (Neter et al., 1996); [3]Dados publicados por Menezes et al. (2022).

Predição e validação do consumo de matéria seca em dietas com relação volumoso: concentrado definida

Dietas com alto teor de concentrado tornaram-se economicamente viáveis nos últimos anos em função da elevação no custo de produção de volumosos, redução temporária no preço dos concentrados e ao aumento da oferta de coprodutos da indústria (Cervieri et al., 2009). No Brasil, as dietas de terminação aumentaram os níveis de concentrado nos últimos anos. Estudos realizados entre 2009 e 2014 demonstraram um aumento de 11% na proporção de concentrado nas dietas de confinamento (71,2% e 79%, respectivamente) (Millen et al., 2009; Oliveira e Millen, 2014). Já no ano de 2016, estudo realizado por Pinto e Millen (2018) apontou que 87,9% dos confinamentos no país utilizavam acima de 71% de concentrado na dieta, e destes 54,6% utilizavam mais de 80%. Em estudo recente, Silvestre e Millen (2021) verificaram que a inclusão média de concentrado na dieta de confinamento está sendo de 83,2%.

Com o crescente uso de dietas de alto teor de concentrado para bovinos confinados no Brasil, torna-se necessário manejo nutricional adequado e para que isto aconteça é fundamental predizer o CMS.

Para seleção dos dados, foram considerados válidos aqueles que possuíam informações sobre: classe sexual, pesos corporais (PC) inicial e final, consumo de matéria seca (CMS), ganho médio diário (GMD) e concentração de concentrado ou volumoso na dieta total.

A estatística descritiva das variáveis utilizadas para a validação da predição do consumo de matéria seca de bovinos alimentados com teores de concentrado conhecido encontra-se na Tabela 2.7. Foram obtidas as seguintes equações para os grupos genéticos:

Zebuínos:

$$CMS\ (kg/dia) = -1{,}303 + 0{,}0029 \times NC - 0{,}00005 \times NC^2 + 0{,}0843 \times PC^{0{,}75} + 2{,}243 \times GMD - 0{,}271 \times GMD^2 \quad (R^2 = 0{,}797) \qquad \text{(Equação 2.4)}$$

Cruzados de corte:

$$CMS\ (kg/dia) = -4{,}8196 + 0{,}0081 \times NC - 0{,}00011 \times NC^2 + 0{,}1239 \times PC^{0{,}75} + 2{,}8189 \times GMD - 0{,}775 \times GMD^2$$

$$(R^2 = 0{,}717) \qquad \text{(Equação 2.5)}$$

em que NC, é o teor de concentrado na dieta (% da MS total da dieta); $PC^{0,75}$, peso corporal médio metabólico, em kg; GMD, ganho de peso médio diário, em kg/dia.

Tabela 2.7 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas para o desenvolvimento da equação de predição do consumo de matéria seca de bovinos alimentados com teores de concentrado conhecidos

Item	N	Média	DP	Mínimo	Máximo
Zebuínos					
Consumo de matéria seca, kg/dia	983	7,55	2,07	2,05	13,8
Peso corporal, kg	983	362	88,3	133	647
Peso corporal metabólico, kg	983	82,9	15,8	39,2	128,2
Ganho de peso médio diário, kg/dia	983	0,97	0,41	-0,14	2,26
Nível de concentrado, %	983	45,6	24,0	0,00	85,0
Cruzados de corte					
Consumo de matéria seca, kg/dia	432	8,22	1,73	2,75	12,9
Peso corporal, kg	432	383	61,8	231	538
Peso corporal metabólico, kg	432	86,4	10,6	59,3	112
Ganho de peso médio diário, kg/dia	432	1,32	0,34	0,48	2,44
Nível de concentrado, %	432	61,9	21,6	25,0	100

N: número de unidades experimentais; DP: desvio padrão.

Para a validação dos resultados, utilizou-se banco de dados independente com 106 unidades experimentais para zebuínos e 137 para cruzados de corte (Tabela 2.8). Os dados foram obtidos de publicações entre 2005 e 2015 na Revista Brasileira de Zootecnia, Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, Semina: Ciências Agrárias, Acta Scientiarum. Animal Sciences, Revista Ciência Agronômica, Journal of Animal Science e Boletim da Indústria Animal .

Na seleção desse banco de dados não se preocupou em estabelecer seleção para dietas com alto concentrado justamente para verificar a sensibilidade do modelo de predição em diferentes proporções de concentrado na dieta e isto pode ser observado na estatística descritiva do banco de dados da validação (Tabela 2.8).

O resultado observado na Tabela 2.9 indicou que a equação de predição do CMS com teor de concentrado conhecido pode ser utilizada com segurança.

Assim, considerando que o nutricionista saiba qual a concentração de concentrado será utilizada na dieta, ou tenha uma relação de volumoso: concentrado definida, o BR-CORTE sugere que essa equação possa ser utilizada.

Com base nas equações 2.4 e 2.5 são apresentados na Tabela 2.10, os consumos de matéria seca estimados para zebuínos e cruzados de corte terminados em confinamento obtidos para diferentes pesos corporais e ganhos de peso, considerando três teores de concentrado (30; 60 e 90%) na dieta.

Tabela 2.8 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas para a validação da predição do consumo de matéria seca de bovinos alimentados com diferentes teores de concentrado

Variável	N	Média	DP	Mínimo	Máximo
Zebuínos					
Consumo de matéria seca, kg/dia	106	8,68	1,61	2,96	12,3
Peso corporal, kg	106	416	53,5	223	494
Peso corporal metabólico, kg	106	91,9	9,18	57,7	105
Ganho de peso médio diário, kg/dia	106	1,19	0,30	0,15	1,75
Nível de concentrado, %	106	62,1	20,3	0,00	95,4
Cruzados de corte					
Consumo de matéria seca, kg/dia	137	8,98	1,47	6,11	13,60
Peso corporal, kg	137	394	48,2	265	520
Peso corporal metabólico, kg	137	88,3	8,18	65,6	109
Ganho de peso médio diário, kg/dia	137	1,40	0,27	0,76	2,17
Nível de concentrado, %	137	55,0	17,9	11,0	100

N: número de unidades experimentais; DP: desvio padrão.

Tabela 2.9 - Estatística para relação entre os valores observados e os preditos pelas equações de predição de CMS por bovinos alimentados com diferentes teores de concentrado

Item	Zebuínos	Cruzados de corte
Intercepto	-1,3568	0,9373
Valor P[1] (H_0: a = 0)	0,0623	0,2379
Inclinação	1,1577	0,9390
Valor P[2] (H_0: b = 1)	0,0582	0,5064
r^2	0,6552	0,4377
Viés médio	0,0105	0,4144
Coeficiente de correlação concordante	0,7602	0,5920
Quadrado médio do erro de predição	0,9254	1,3961
Decomposição do quadrado médio do erro de predição		
Quadrado do vício	0,0001 (0,01%)	0,1717 (12,30%)
Magnitude de flutuação aleatória	0,0315 (3,41%)	0,0040 (0,29%)
Modelo de flutuação aleatória	0,8938 (96,58%)	1,2203 (87,41%)

[1] Valor da probabilidade para teste de hipótese onde valor do parâmetro a = 0 (Neter et al., 1996). [2] Valor da probabilidade para teste de hipótese onde valor do parâmetro b = 1 (Neter et al., 1996).

Tabela 2.10 - Consumos estimados de matéria seca para zebuínos e cruzados de corte terminados em confinamento obtidos para diferentes pesos corporais e ganhos de peso, considerando três teores de concentrado (30; 60 e 90%)

Peso corporal (kg)	Ganho de peso (kg/dia)	Concentrado (%)	Consumo de matéria seca (kg)	
			Zebuínos (Equação 2.4)	Cruzados de corte (Equação 2.5)
200	0,5	30	4,28	3,13
		60	4,23	3,08
		90	4,09	2,82
	1,0	30	5,19	3,96
		60	5,15	3,90
		90	5,01	3,65
	1,5	30	5,98	4,40
		60	5,93	4,34
		90	5,79	4,09
300	0,5	30	5,87	5,47
		60	5,82	5,42
		90	5,68	5,17
	1,0	30	6,79	6,30
		60	6,74	6,25
		90	6,60	5,99
	1,5	30	7,57	6,74
		60	7,52	6,69
		90	7,38	6,43
400	0,5	30	7,33	7,62
		60	7,28	7,57
		90	7,15	7,32
	1,0	30	8,25	8,45
		60	8,20	8,40
		90	8,07	8,14
	1,5	30	9,03	8,89
		60	8,99	8,84
		90	8,85	8,58
500	0,5	30	8,71	9,64
		60	8,66	9,59
		90	8,52	9,33
	1,0	30	9,62	10,47
		60	9,58	10,42
		90	9,44	10,16
	1,5	30	10,41	10,91
		60	10,36	10,86
		90	10,22	10,60

Predição e validação do consumo de matéria seca por bovinos criados a pasto recebendo níveis moderados de suplementação

O Brasil é o quinto país em extensão territorial, com uma área de 8,5 milhões de km², sendo que 172,3 milhões de hectares são destinados à pastagem (IBGE, 2007). Além disso, apresenta uma grande diversidade de clima e vegetação, que aliado à extensão territorial possibilita que os sistemas de produção de carne bovina sejam caracterizados pelo uso de forragem como dieta basal. A maioria do sistema de produção de carne bovina brasileiro é produzido com animais sob condição de pastagem e apenas 15,62% foram

terminados em confinamento, dos 41,5 milhões de bovinos abatidos no Brasil em 2020 (ABIEC, 2021).

De acordo com Paulino et al. (2005), deve haver grande destaque quanto à utilização sustentável das pastagens para produção de bovinos de corte, uma vez que esses recursos representam a principal e mais econômica fonte de nutrientes para os animais.

Predizer o consumo por bovinos criados a pasto não é uma tarefa fácil. Em sua revisão, Coleman et al. (1999) observaram que o CMS de bovinos em pastejo é influenciado pela qualidade e pelas características físicas da forragem e, devido ao estado fisiológico do animal.

Para Lardy et al. (2004), a principal limitação em estabelecer modelos de predição de CMS para bovinos em pastejo é que as principais pesquisas foram realizadas com estimativas indiretas, utilizando indicadores externos e internos para predizer o CMS. Além disso, animais que pastejam podem avaliar a forragem disponível e selecionar uma dieta que atenda as suas necessidades nutricionais (Coleman e Sollenberger, 2007; Launchbaugh e Doherty, 2007). Então, a seletividade acaba interferindo na possibilidade de quantificar a composição química da dieta dos animais em pastejo e desta forma, predizer com exatidão quais os nutrientes ingeridos por esses animais.

Portanto, deve ser considerado que as estimativas de predição de CMS por bovinos em pastejo sejam mais complexas do que a dos animais confinados e o bom senso deve prevalecer ao utilizar as equações desenvolvidas. O pasto deve ser entendido como um componente do sistema de produção com elevada complexidade, uma vez que este fornece substratos aos animais e é passível de apresentar uma variação qualitativa e quantitativa ao longo do ano, influenciada principalmente por fatores abióticos (e.g., precipitação, temperatura e radiação solar) (Detmann et al., 2004).

A utilização das gramíneas tropicais como única fonte de proteína e energia é inviável para o atendimento das exigências nutricionais de bovinos em crescimento ou terminação (Moore, 1999). Isso ocorre porque as pastagens raramente contêm todos os nutrientes essenciais nas proporções adequadas para atender às exigências nutricionais dos animais. Portanto, sistemas de alimentação combinando forragem basal e suplemento concentrado se fazem necessários a fim de viabilizar o ajuste nutricional e melhorar a produção animal à pasto.

Moore (1980) relatou três efeitos possíveis de serem identificados entre suplementação e consumo de forragem: aditivo, associativo e substitutivo. No primeiro, o consumo de forragem permanece constante, independente do nível de suplementação, mas o consumo total aumenta na mesma proporção do nível suplementado; no efeito associativo, o consumo total também aumenta, mas há redução do consumo de forragem; já no substitutivo, o consumo total permanece constante, porém, há redução no consumo de forragem, que é substituído pelo consumo de suplemento.

O efeito substitutivo obtido com a suplementação é diretamente proporcional à qualidade da forragem, sendo maior com forragens de alta qualidade em comparação a forragens de baixa qualidade (Minson, 1990). Havendo substituição, é desejável que sejam assumidos valores inferiores a 1,0 g/g, observando-se redução do consumo de pasto, mas ampliação do consumo total (Costa et al., 2011).

Atualmente, a maioria do rebanho nacional de corte é Nelore ou oriundo de seus cruzamentos. Entretanto, o número de animais vindos de fazendas de leite está aumentando em função da alta demanda por carne e menor relação de troca da arroba desses animais na aquisição.

Diante da importância da estimativa de CMS de bovinos em condições tropicais criados a pasto e recebendo suplementação, o BR-CORTE (Azevedo et al., 2016) sugeriu o uso de um modelo de predição específico considere o CMS do suplemento (CMSs, kg/dia) para animais Nelore. Entretanto, com o aumento dos animais de cruzamento leiteiro recriados a pasto, nesta versão foi sugerida uma equação para abranger esses animais e ampliado o banco de dados de animais Zebuínos.

Nas informações referentes à estatística descritiva do banco de dados (Tabela 2.11), observou-se ampla variação das informações para que pudessem ser geradas equações de predição em mais abrangentes situações de campo.

Tabela 2.11 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas para predição do consumo de matéria seca para zebuínos e cruzados de leite criados à pasto

Variável	N	Média	DP	Mínimo	Máximo
Zebuínos					
Peso corporal médio, kg	1069	278	92,0	102	568
Peso corporal metabólico, kg	1069	67,3	16,6	32,1	116
Ganho de peso médio diário, kg/dia	1069	0,53	0,32	-0,39	1,56
Consumo					
Matéria seca, kg/dia	1069	5,18	2,01	1,34	14,1
Suplemento, kg/dia	1069	0,83	0,76	0,00	5,92
Cruzados de leite					
Peso corporal médio, kg	229	332	75,0	199	541
Peso corporal metabólico, kg	229	77,5	13,1	53	112
Ganho de peso médio diário, kg/dia	229	0,55	0,17	0,28	1,08
Consumo					
Matéria seca, kg/dia	229	7,33	1,72	4,02	11,37
Suplemento, kg/dia	299	0,69	0,41	0,16	1,75

N: número de unidades experimentais; DP: desvio padrão.

Foi possível estabelecer as seguintes equações de predição do CMS para Zebuínos e Cruzados de leite em pastejo, recebendo suplementação, em condições tropicais:

Zebuínos suplementados a pasto:

$$CMS\ (kg/dia) = -0{,}4684 + 0{,}7732 \times CMSs + 0{,}0742 \times PC^{0,75} + 0{,}7953 \times GMD - 0{,}9047 \times GMD^2 \quad (R^2 = 0{,}638) \qquad \text{(Equação 2.6)}$$

Cruzados de leite suplementados a pasto:

$$CMS\ (kg/dia) = 0{,}9951 + 0{,}7732 \times CMSs + 0{,}0742 \times PC^{0,75} + 0{,}7953 \times GMD - 0{,}9047 \times GMD^2 \quad (R^2 = 0{,}624) \qquad \text{(Equação 2.7)}$$

em que CMSs, é o consumo de suplemento em kg/dia; $PC^{0,75}$, o peso corporal metabólico, em kg e; GMD, o ganho de peso médio diário, em kg/dia.

Para a validação dessa equação, utilizou-se um banco de dados independente oriundo dos periódicos: Revista Brasileira de Zootecnia, Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, Semina: Ciências Agrárias, Asian Australasian Journal of Animal Science, Bioscience Journal, Acta Scientiarum. Animal Sciences, Enciclopédia Biosfera, Research, Society and Development, Tropical Animal Health and Production e Pesquisa Agropecuária Brasileira.

De forma geral, as amplitudes totais das variáveis presentes no banco de dados para validação da equação de predição de CMS por Zebuínos à pasto (Tabela 2.12) representam as características brasileiras dos sistemas extensivo de produção de bovinos de corte à pasto e suplementados, sendo representativas para serem utilizadas na validação da equação.

Observou-se que as respostas aos valores observados e preditos confirmam a exatidão e precisão, uma vez que as equações estimaram corretamente o CMS representado pela não significância do intercepto e inclinação e pelo baixo valor do quadrado médio do erro de predição (Tabela 2.13), indicando possibilidade de serem aplicadas para animais criados a pasto e suplementados.

Ressalta-se que as equações 2.6 e 2.7 devem ser usadas para predizer o CMS em animais na recria ou que recebem níveis moderados de concentrado (até 5,32 e 3,5 kg/dia para animais zebuínos e cruzados de leite, respectivamente), e que apresentem ganhos de peso moderados (até 1,34 e 1,35 kg/dia para animais zebuínos e cruzados de leite, respectivamente). Deve-se considerar, que grande parte dos dados usados para construir essa equação foram obtidos em períodos de seca.

Tabela 2.12 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas para validação da equação de predição do consumo de matéria seca para Zebuínos e cruzados de leite criados à pasto

Variável	N	Média	DP	Mínimo	Máximo
Zebuínos					
Peso corporal médio, kg	174	311	86,7	133	474
Peso corporal metabólico, kg	174	73,5	15,8	39,2	102
Ganho de peso médio diário, kg/dia	174	0,56	0,26	-0,18	1,34
Consumo de Matéria seca, kg/dia	174	6,65	2,18	1,98	12,3
Consumo de Suplemento, kg/dia	174	1,06	1,14	0,00	5,32
Cruzados de leite					
Peso corporal médio, kg	42	297	68,0	194	417
Peso corporal metabólico, kg	42	71,3	12,3	51,9	92,3
Ganho de peso médio diário, kg/dia	42	0,59	0,21	0,11	1,05
Consumo de Matéria seca, kg/dia	42	7,00	1,73	4,74	10,24
Consumo de Suplemento, kg/dia	42	0,87	1,00	0,00	3,50

N: número de unidades experimentais; DP: desvio padrão.

Tabela 2.13 - Estatística para relação entre os valores observados e os preditos pela equação de predição de consumo de matéria seca por bovinos criados à pasto

Item	
Zebuínos criados a pasto	
Intercepto	0,470
Valor P[1] (H_0: a = 0)	0,170
Inclinação	1,05
Valor P[2] (H_0: b = 1)	0,376
r^2	0,670
Viés médio	0,761
Coeficiente de correlação concordante	0,741
Quadrado médio do erro de predição	2,13
Decomposição do Quadrado médio do erro de predição	
Quadrado do vício	0,580 (27,19%)
Magnitude de flutuação aleatória	0,007 (0,33%)
Modelo de flutuação aleatória	0,007 (72,47%)
Cruzados de leite	
Intercepto	-0,882
Valor P[1] (H_0: a = 0)	0,153
Inclinação	1,10
Valor P[2] (H_0: b = 1)	0,237
r^2	0,771
Viés médio	-0,168
Coeficiente de correlação concordante	0,851
Quadrado médio do erro de predição	0,665
Decomposição do Quadrado médio do erro de predição	
Quadrado do vício	0,028 (4,23%)
Magnitude de flutuação aleatória	0,018 (2,72%)
Modelo de flutuação aleatória	0,018 (93,06%)

[1] Valor da probabilidade para teste de hipótese onde valor do parâmetro a = 0 (Neter et al., 1996). [2] Valor da probabilidade para teste de hipótese onde valor do parâmetro b = 1 (Neter et al., 1996).

Na terminação intensiva à pasto (TIP), em que o animal consome no pasto a mesma quantidade de concentrado que é fornecida quando está confinado, o BR-CORTE sugere usar a equação 2.1 para predição de CMS.

Os consumos estimados pelas equações 2.6 e 2.7 podem ser observados na Tabela 2.14, onde é possível observar variações de combinações entre peso corporal, ganho de peso diário e consumo de suplemento.

Tabela 2.14 - Consumos de matéria seca estimados para bovinos terminados a pasto de diferentes pesos corporais, ganhos de peso e consumos de suplemento (CMSs)

Peso corporal (kg)	Ganho de peso (kg/dia)	CMSs (kg/dia)	CMStotal (Eq. 2.6)	CMStotal (Eq. 2.7)
200	0,00	0,00	3,48	4,94
		0,80	4,10	5,56
		1,60	4,71	6,18
	0,50	0,00	3,65	5,11
		0,80	4,27	5,73
		1,60	4,89	6,35
	1,00	0,00	3,37	4,83
		0,80	3,99	5,45
		1,60	4,61	6,07
300	0,00	0,00	4,88	6,34
		1,20	5,81	7,27
		2,40	6,74	8,20
	0,50	0,00	5,05	6,52
		1,20	5,98	7,44
		2,40	6,91	8,37
	1,00	0,00	4,77	6,23
		1,20	5,70	7,16
		2,40	6,63	8,09
400	0,00	0,00	6,17	7,63
		1,60	7,41	8,87
		3,20	8,64	10,11
	0,50	0,00	6,34	7,80
		1,60	7,58	9,04
		3,20	8,81	10,28
	1,00	0,00	6,06	7,52
		1,60	7,30	8,76
		3,20	8,53	10,00
500	0,00	0,00	7,38	8,84
		2,00	8,92	10,39
		4,00	10,47	11,93
	0,50	0,00	7,55	9,01
		2,00	9,10	10,56
		4,00	10,64	12,11
	1,00	0,00	7,27	8,73
		2,00	8,81	10,28
		4,00	10,36	11,82

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As equações para predição do consumo de matéria seca para bovinos confinados em condições tropicais são:

Zebuínos: $CMS\ (kg/dia) = -2{,}1948 + 0{,}08338 \times PC^{0,75} + 3{,}9328 \times GMD - 0{,}9030 \times GMD^2$ (Equação 2.1)

Cruzados de corte: $CMS\ (kg/dia) = -0{,}6273 + 0{,}06453 \times PC^{0,75} + 3{,}871 \times GMD - 0{,}614 \times GMD^2$ (Equação 2.2)

Cruzados de leite: $CMS\ (kg/dia) = -2{,}8836 + 0{,}08435 \times PC^{0,75} + 4{,}5145 \times GMD - 0{,}9631 \times GMD^2$ (Equação 2.3)

Alternativamente, podem-se usar as equações abaixo, quando se conhece o teor de concentrado a ser usado na formulação da dieta:

Zebuínos: $CMS\ (kg/dia) = -1{,}303 + 0{,}0029 \times NC - 0{,}00005 \times NC^2 + 0{,}0843 \times PC^{0,75} + 2{,}243 \times GMD - 0{,}271 \times GMD^2$ (Equação 2.4)

Cruzados de corte: $CMS\ (kg/dia) = -4{,}8196 + 0{,}0081 \times NC - 0{,}00011 \times NC^2 + 0{,}1239 \times PC^{0,75} + 2{,}8189 \times GMD - 0{,}775 \times GMD^2$ (Equação 2.5)

Para predizer o consumo de matéria seca por **bovinos em pastejo** são indicadas as seguintes equações:

Zebuínos: $CMS\ (kg/dia) = -0{,}4684 + 0{,}7732 \times CMSs + 0{,}0742 \times PC^{0,75} + 0{,}7953 \times GMD - 0{,}9047 \times GMD^2$ (Equação 2.6)

Cruzados de leite: $CMS\ (kg/dia) = 0{,}9951 + 0{,}7732 \times CMSs + 0{,}0742 \times PC^{0,75} + 0{,}7953 \times GMD - 0{,}9047 \times GMD^2$ (Equação 2.7)

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao professor Danilo Domingues Millen da Universidade Estadual Paulista – Campus Dracena (UNESP), aos professores Telma Berchielli e Ricardo Andrade Reis da Universidade Estadual Paulista – Campus Jaboticabal (UNESP), ao professor Ivanor Nunes do Prado da Universidade Estadual de Maringá (UEM), ao professor Fabiano Alvim Barbosa da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (EV- UFMG), ao Professor Robério Rodrigues Silva da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, ao professor Ériton Egídio Lisboa Valente da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, à Nutripura Nutrição Animal LTDA, Confinamento Grande Lago, e Confinamento Cara Preta pela disponibilidade de dados de consumo individual e em grupo de bovinos provenientes de pesquisas nessas Instituições.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira das Indústrias exportadoras de Carne – ABIEC. *Exportações Brasileiras de Carne Bovina.* 2021. Disponível em:http://abiec.com.br/publicações/beef-report-2021.Acesso em 15 de setembro de 2021.

Agricultural and Food Research Council – AFRC. *Energy and protein requirements of ruminants.* CAB International, Wallingford, Oxon, UK, 159p, 1993.

Allen, D. *Rationing Beef Cattle*. Chalcombe Publications, Church Lane, Kingston, UK, 79 p, 1992.

Allen, M. S. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 83:1598-1624, 2000.

Allen, M. S. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *Journal of Animal Science*, 74:3063-3075, 1996.

Allen, M. S.; Bradford, B. J.; Harvatine, K. J. The cow as a model to study food intake regulation. *Annual Review of Nutrition*, 25:523-547, 2005.

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; De Moraes, G.; Leonardo, J.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22:711-728, 2013.

Anand, B. K.; Brobeck, J. R. Localization of a "feeding center" in the hypothalamus of the rat. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 77:323-324, 1951.

Anele, U. Y.; Domby, E. M.; Galyean, M. L. Predicting dry matter intake by growing and finishing beef cattle: Evaluation of current methods and equation development. *Journal of Animal Science*, 92:2660-2667, 2014.

ANUALPEC – *Anuário da Pecuária Brasileira*. 22 Ed. São Paulo: Instituto FNP. 280 p. 2015.

Azevêdo J. A. G.; Valadares Filho, S. C.; Pina, D. S.; Valadares, R. F. D.; Detmann, E. Predição de consumo de matéria seca por bovinos de corte em confinamento. In: Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. *Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados* – BR-CORTE. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, Suprema Gráfica Ltda, 193 p, 2010. pp 1-11.

Azevêdo, J. A. G.; Valadares Filho, S. C.; Silva, L. F. C.; Santos, A. B.; Souza, L. L.; Rotta, P. P.; Rennó, L. N.; Prado, I. N. Regulation and prediction of dry matter intake In: Valadares Filho, S. D. C.; Silva, L. F. C.; Gionbelli, M. P.; Rotta, P. P.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L. *Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados*. 3.ed. Viçosa, MG: UFV, Suprema Gráfica Ltda, 2016. pp 15-42.

Bell, C. G.; Walley, A. J.; Froguel, P. The genetics of human obesity. *Nature Reviews Genetics*, 6:221-234, 2005.

BRASIL, Ministério da Agricultura. Portaria 51, de 24 de maio de 1991. Proíbe a produção, importação, comercialização e uso de substâncias naturais ou artificiais, com atividade anabolizante, ou outras, dotadas dessa atividade para fins de crescimento e ganho de peso dos animais de abate. *Diário Oficial*, Brasília, 1991.

Barducci, R. S.; Sarti, L. M. N.; Millen, D. D.; Putarov, T. C.; Franzói, M. C. S.; Ribeiro, F. A.; Perdigão, A.; Estevam, D. D.; Carrara, T. V. B.; Rigueiro, A. L. N.; Watanabe, D. H. M.; Cursino, L. L.; Martins, C. L.; Pereira, M. C. S.; Arrigoni, M. D. B. Restricted versus step-up dietary adaptation in Nellore bulls: Effects over periods of 9 and 14 days on feedlot performance, feeding behavior and rumen morphometrics. *Animal Feed Science and Technology*, *247*:222-233, 2019.

Bierman, S. J.; Pritchard, R. H. *Effect of feed delivery management on yearling steer performance*. 1996.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F., Gionbelli, M. P., Rotta, P. P., Marcondes, M. I., Chizzotti, M. L. *Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle – BR-CORTE*, 3 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2016.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. *Nutrient Requirements of Zebu and crossbred cattle – BR-CORTE*, 2 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2010.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Magalhães, K. A. *Exigências Nutricionais de Zebuínos e Tabelas de Composição de Alimentos – BR-CORTE*. 1. ed. – Viçosa: UFV, DZO. 142p. 2006.

Brown, M. S.; Ponce, C. H.; Pulikanti, R. Adaptation of beef cattle to high-concentrate diets: Performance and ruminal metabolism. *Journal of Animal Science*, *84*, E25-E33, 2006.

Cervieri, R. C.; Carvalho, J. C. F.; Martins, C. L. Evolução do manejo nutricional nos confinamentos brasileiros: importância da utilização de subprodutos da agroindústria em dietas de maior inclusão de concentrado. In: Simpósio Internacional de Nutrição de Ruminantes – *Recentes avanços na nutrição de bovinos confinados*, Botucatu, 2009, Anais... Botucatu: Simpósio de Nutrição de Ruminantes, 2-22, 2009.

Choi, B. R.; Palmquist, D. L. High fat diets increase plasma cholecystokinin and pancreatic polypeptide, and decrease plasma insulin and feed intake in lactating cows. *The Journal of Nutrition*, 126:2913-2919, 1996.

Coleman S. W.; Sollenberger, L. E. Plant-herbivore interactions. In: Barnes, R. F.; Nelson, C. J.; Lick, C. W. (Ed.) *Forages: The Science of Grassland Agriculture*, Blackwell Publishing, Ames, I.A., 2:123-136, 2007.

Coleman, S. W.; Lippke, H.; Gill, M. Estimating the nutritive potential of forages. In: Jung, H. G., Fahey Jr., C. G. (Ed.) Nutritional ecology of herbivores: Proc. Vth Int. Symp. Nutr. Herbivores. *Am. Soc. Anim. Sci.*, Savoy, IL, 647–695, 1999.

Costa, V. A. C.; Detmann, E.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C.; Carvalho, I. P. C.; Monteiro, L. P. Consumo e digestibilidade em bovinos em pastejo durante o período das águas sob suplementação com fontes de compostos nitrogenados e de carboidratos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 8, p.1788-1798, 2011.

Crespo, C. S.; Cachero, A. P.; Jiménez, L. P.; Barrios, V.; Ferreiro, E. A. Peptides and food intake. *Front Endocrinol* (Lausanne), 5:58, 2014.

Currie, P. J.; Mirza, A.; Fuld, R.; Park, D.; Vasselli, J. R. Ghrelin is an orexigenic and metabolic signaling peptide in the arcuate and paraventricular nuclei. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 289:R353-R358, 2005.

Detmann, E. Fibra na nutrição de novilhas leiteiras. In: Pereira, E. S., Pimentel, P. G., Queiroz, A. C., Mizubuti, I. Y. (Ed.). *Novilhas leiteiras*. Gráfica: Fortaleza, 253–302, 2010.

Detmann, E.; Paulino, M. F.; Zervoudakis, J. T.; Cecon, P. R.; Valadares Filho, S. C.; Gonçalves, L. C.; Cabral, L. S.; Melo, A. J. N. Níveis de proteína bruta em suplementos múltiplos para terminação de novilhos mestiços em pastejo durante a época seca: desempenho produtivo e características de carcaça. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33:169-180, 2004.

Detmann, E.; Queiroz, A. C. D.; Cecon, P. R.; Zervoudakis, J. T.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C.; Cabral, L. S.; Lana, R. P. Consumo de fibra em detergente neutro por bovinos em confinamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32:1763-1777, 2003.

Detmann, E.; Gionbelli, M. P.; Huhtanen, P. A. meta-analytical evaluation of the regulation of voluntary intake in cattle fed tropical forage-based diets. *Journal of Animal Science*, 92:4632-4641, 2014.

Dietrich, M. O.; Horvath, T. L. Feeding signals and brain circuitry. *European Journal of Neuroscience*, 30:1688-1696, 2009.

Estevam, D. D.; Pereira, I. C.; Rigueiro, A. L. N.; Perdigão, A.; Da Costa, C. F.; Rizzieri, R. A.; Perieira, M. C. S.; Martins, D. D.; Arrigoni, M. D. B. Feedlot performance and rumen morphometrics of Nellore cattle adapted to high-concentrate diets over periods of 6, 9, 14 and 21 days. A*animal*, 14:2298-2307, 2020.

Ferreira, A. M. S.; da SILVA, S. P.; de FARIA, C. C. U.; Mendes, E. D. M.; Felipe, E. F. Comparisons between intake values observed and predicted by nutritional systems for confined Nellore cattle. *Bioscience Journal*, v. 37, n. e37093, p. 1981-3163, 2021.

Forbes, J. M. A personal view of how ruminant animals control their intake and choice of food: minimal total discomfort. *Nutrition Research Reviews*, 20:132-146, 2007.

Forbes, J. M.; Provenza, F. D. Integration of learning and metabolic signals into a theory of dietary choice and food intake. In: Cronje, P. (Ed.) *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*. CAB International, Wallingford, U.K, 3-19, 2000.

Fox, D. G.; Sniffen, C. J.; O´Conner, J. D. Adjusting nutrient requirements of beef cattle for animal and environmental variations. *Journal of Animal Science*, 66:1475-1495, 1988.

Galyean, M. L.; Dilorenzo, N.; McMeniman, J. P.; Defoor, P. J. Alpharma beef cattle nutrition symposium: Predictability of feedlot cattle growth performance. *Journal of Animal Science*, 89:1865-1872, 2011.

Galyean, M. L.; Hubbert, M. E. Predicting intake by beef cattle–Relationship of dry matter intake to initial weight. *Clayton Livest. Res. Ctr. Prog. Rep*, 80, 1992.

Galyean, M. L; Goetsch, A. L. Utilization of forage fiber by ruminants. In: Jung, H. G.; Buxton, D. R.; Hatfield, R. D.; Ralph, J. (Ed.) *Forage cell wall structure and digestibility*. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 33-71, 1993.

Grant, A. L.; Helferich, W. G. An overview of growth. In: Pearson, A. M.; Dutson, T. R. (Eds.). *Growth regulation in farm animals*. London: Elsevier Applied Science, 1-15, 1991.

Harper, K. J.; McNeill, D. M. The Role iNDF in the Regulation of Feed Intake and the Importance of Its Assessment in Subtropical Ruminant Systems (the Role of iNDF in the Regulation of Forage Intake). *Agriculture*, 5:778-790, 2015.

Hetherington, A. W.; Ranson, S. W. Hypothalamic lesions and adiposity in the rat. *The Anatomical Record*, 78:149-172, 1940.

Huhtanen, P.; Rinne, M.; Nousiainen, J. Evaluation of the factors affecting silage intake of dairy cows: A revision of the relative silage dry matter intake index. *Animal*, 1:758–770, 2007.

Huuskonen, A.; Huhtanen, P.; Joki-Tokola, E. The development of a model to predict feed intake by growing cattle. *Livestock Science*, 158:74-83, 2013.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Censo agropecuário 1920/2006*. Até 1996, dados extraídos de: Estatística do Século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=AGRO02. Acesso em 20 Junho 2015.

Ingvartsen, K. L.; Andersen, H. R.; Foldager, J. Random variation in voluntary dry matter intake and the effect of day length on feed intake capacity in growing cattle. Acta Agriculturae Scandinavica A – *Animal Sciences*, 42:121-126, 1992.

Jorge, A. M.; Fontes, C. A. A.; Soares, J. E., Freitas, J. D.; Rodrigues, L. R. R.; Queiroz, A. C.; Resende, F. D. Características quantitativas da carcaça de bovinos e bubalinos, abatidos em diferentes estádios de maturidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 26:1039-1047, 1997.

Keady, T.; Mayne, C.; Kilpatrick, D. An evaluation of five models commonly used to predict food intake of lactating dairy cattle. *Livestock Production Science*, 89:129-138, 2004.

Ketelaars, J. J.; Tolkamp, B. J. Oxygen efficiency and the control of energy flow in animals and humans. *Journal of Animal Science,* 74:3036-3051, 1996.

Konturek, P. C.; Konturek, J. W.; Czesnikiewicz-Guzik, M.; Brzozowski, T.; Sito, E.; Konturek, S. J. Neuro-hormonal control of food intake: basic mechanisms and clinical implications. Journal of Physiology and Pharmacology: *An Official Journal of the Polish Physiological Society*, 56:5-25, 2005.

Lage, I. N. K.; Paulino, P. V. R.; Pires, C. V.; Villela, S. D. J.; Duarte, M. S.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, M. F.; Maia, B. A.; Silva, L. H. P.; Teixeira, C. R. V. Intake, digestibility, performance, and carcass traits of beef cattle of different gender. *Tropical Animal Health and Production*, 44:361-367, 2012.

Lardy, G. P.; Adams, D. C.; Klopfenstein, T. J.; Patterson, H. H. Building beef cow nutritional programs with the 1996 NRC beef cattle requirements model. *Journal of Animal Science*, 82:E83-E92, 2004.

Launchbaugh, K. L.; Dougherty, C. T. Grazing animal Behavior. In: Barnes, R. F.; Nelson, C. J.; Lick, C. W. (Ed.) *Forages: The Science of Grassland Agriculture.* v. 2, n.6, Blackwell Publishing, Ames, IA, 675–686, 2007.

Lazzarini, I.; Detmann, E.; Sampaio, C. B.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C.; Souza, M. A.; Oliveira, F. A. Dinâmicas de trânsito e degradação da fibra em detergente neutro em bovinos alimentados com forragem tropical de baixa qualidade e compostos nitrogenados. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária*, 61:635-647, 2009.

Leek, B.F. Sensory receptors in the ruminant alimentary tract. In: Milligan, L. P.; Grovum, W. L.; Dobson, A. (Eds.) *Control of Digestion and Metabolism in Ruminants*. Prentice Hall, New Jersey, 3–17, 1986.

Loerch, S. C.; Fluharty, F. L. Physiological changes and digestive capabilities of newly received feedlot cattle. *Journal of animal science*, 77:1113-1119, 1999.

Marcondes, M. I.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Detmann, E.; Paulino, M. F.; Diniz, L. L.; Santos, T. R. Consumo e desempenho de animais alimentados individualmente ou em grupo e características de carcaça de animais Nelore de três classes sexuais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37:2243-2250, 2008.

Mayer, J.; Thomas, D. W. Regulation of food intake and obesity. *Science*, v. 156, n. 3773, p. 328-337, 1967.

McMeniman, J. P., Defoor, P. J.; Galyean, M. L. Evaluation of the National Research Council (1996) dry matter intake prediction equations and relationships between intake and performance by feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 87:1138, 2009.

McMeniman, J. P.; Tedeschi, L. O.; Defoor, P. J.; Galyean, M. L. Development and evaluation of feeding-period average dry matter intake prediction equations from a commercial feedlot data base. *Journal of Animal Science*, 88:3009-3017, 2010.

Menezes, G.L.; Azevêdo, J.A.G.; de Campos Valadares Filho, S.; de Oliveira, A.F.; e Silva, F.F.; de Assis Pires, F.P.A.; Pereira, M.I.B.; Gonçalves, L.C.; Borges, A.L.D.C.C.; Jayme, D.G. A new equation to predict dry matter intake by Nellore beef cattle in commercial feedlots in Brazil. *Livestock Science*, 260, 2022. p.104952.

Mertens, D. R. Análise da fibra e sua utilização na avaliação de alimentos e formulação de rações. In: Simpósio Internacional de Ruminantes, 1992, Lavras. *Anais*... Lavras: SBZ, 188-219, 1992.

Mertens, D. R. Regulation of forage intake. In: Fahey Jr., G. C.; Collins, M.; Mertens, D. R.; Moser, L. E. (Eds.) Forage Quality, Evaluation and Utilization. Madison: American Society of Agronomy, *Crop Science of America, Soil Science of America*, 450-493, 1994.

Millen, D. D.; Pacheco, R. D. L.; Arrigoni, M. D. B.; Galyean, M. L.; Vasconcelos, J. T. A snapshot of management practices and nutritional recommendations used by feedlot nutritionists in Brazil. *Journal of animal science*, 87*:*3427-3439, 2009.

Miner, J. L. Recent advances in the central control of intake in ruminants. *Journal of Animal Science*, 70:1283-1289, 1992.

Minson, D. J. *Forage in ruminant nutrition*. San Diego: Academic Press, 483 p, 1990.

Moore, J. E. Forage crops. In: Hoveland, C. S. (Ed.) *Crop quality, storage and utilization*. Madison: ASA and CSSA, 61-91, 1980.

Moore, J. E.; Brant, M. H.; Kunkle, W. E.; Hopkins, D. I. Effects of supplementation on voluntary forage intake, diet digestibility, and animal performance. *Journal of Animal Science*, 77:122-135, 1999.

National Research Council – NRC. Beef cattle. In: *Predicting Feed Intake of Food-Producing Animals.* Washington, DC, 56-74, 1987.

National Research Council – NRC. *Nutrient requirements of beef cattle.* Updated 7th ed. National Academy Press, Washington, DC, 244 p, 2000.

National Research Council – NRC. *Nutrient requirements of beef cattle*. 7th. rev. ed. Washington, DC, 244 p, 1996.

National Research Council – NRC. *Nutrient requirements of beef cattle.* 6th. ed. Washington: National Academy Press, 90 p, 1984.

National Research Council – NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th. rev. ed. Washington, D.C: National Academy Press, 381 p, 2001.

Neal, H. D. C.; Thomas, C.; Cobby, J. M. Comparison of equations for predicting voluntary intake by dairy cows. *The Journal of Agricultural Science*, 103:1-10, 1984.

Neter, J.; Kutner, M. H.; Nachtsheim, C. J.; Wasserman, W. *Applied Linear Statistical Models*, 4th Ed. New York: McGraw-Hill. 1996.

Nkrumah, J. D.; Li, C.; Yu, J.; Hansen, C.; Keisler, D. H.; Moore, S. S. Polymorphisms in the bovine leptin promoter associated with serum leptin concentration, growth, feed intake, feeding behavior, and measures of carcass merit. *Journal of Animal Science*, 83:20-28, 2005.

Oliveira, A. S. D.; Detmann, E.; Campos, J. M. D. S.; Pina, D. D. S.; Souza, S. M. D.; Costa, M. G. Meta-analysis of the impact of neutral detergent fiber on intake, digestibility and performance of lactating dairy cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:1587-1595, 2011.

Oliveira, C. A.; Millen, D. D. Survey of the nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil. *Animal Feed Science and Technology*, 197:64-75, 2014.

Parra, F. S.; Ronchesel, J. R.; Martins, C. L.; Perdigão, A.; Pereira, M. C. S.; Millen, D. D.; Arrigoni, M. D. B. Nellore bulls in Brazilian feedlots can be safely adapted to high-concentrate diets using 14-day restriction and step-up protocols. *Animal Production Science*, 59:1858-1867, 2019.

Paulino, M. F.; Moraes, E.; Zervoudakis, J. T.; Alexandrino, E.; Figueiredo, D. Fontes de energia em suplementos múltiplos de auto-regulação de consumo na recria de novilhos mestiços em pastagens de Brachiaria decumbens durante o período das águas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34:957-962, 2005.

Paulino, P. V. R.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Valadares, R. F. D.; Fonseca, M. A.; Véras, R. M. L.; Oliveira, D. M. Desempenho produtivo de bovinos Nelore de diferentes classes sexuais alimentados com dietas contendo dois níveis de oferta de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37:1079-1087, 2008.

Pereira, M. C. S.; Dellaqua, J. V. T.; Sousa, O. A.; Santi, P. F.; Felizari, L. D.; Reis, B. Q.; Pinto, A. C. J.; Bertoldi, G. P.; Silvestre, A. M.; Watanabe, D. H. M.; Estevam, D. D.; Arrigoni, M. D. B.; Millen, D. D. Feedlot performance, feeding behavior, carcass and rumen morphometrics characteristics of Nellore cattle submitted to strategic diets prior the adaptation period. *Livestock Science*, 234:103985, 2020.

Pinto, A. C.; Millen, D. D. Nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists: the 2016 Brazilian survey. *Canadian Journal of Animal Science*, 99:392-407, 2018.

Pittroff, W.; Kothmann, M. M. Quantitative prediction of feed intake in ruminants II. Conceptual and mathematical analysis of models for cattle. *Livestock Production Science*, 71:151-169, 2001.

Ribeiro, J. S.; Ladeira, M. M.; Gonçalves, T. M.; Whately, M. A.; Bassi, M. S.; Vallone, M. M. Avaliação das predições de consumo de matéria seca obtidas por meio dos sistemas de exigências nutricionais para grupos zebuínos confinados. In: 45ª Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2008, Lavras. *Anais*... 45ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Lavras, 2008.

Sampaio, C. B.; Detmann, E.; Lazzarini, I.; Souza, M. A. D.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C. Rumen dynamics of neutral detergent fiber in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:560-569, 2009.

Schutz, J. S.; Wagner, J. J.; Sharman, E. D.; Davis, N. E.; Engle, T. E. Effect of feeding frequency on feedlot steer performance. *The Professional Animal Scientist*, 27:14-18, 2011.

Silva, H. M.; Donadia, A. B.; Moreno, L. F.; de Oliveira, A. S.; Moraes, E. H. B. K.; Moraes, K. A. K. Prediction of dry matter intake by feedlot beef cattle under tropical conditions. *Animal Production Science 61*, no. 8. 2021. 800-806.

Silvestre, A. M.; Millen, D. D. The 2019 Brazilian survey on nutritional practices provided by feedlot cattle consulting nutritionists. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *50*, 2021.

Simpfendorfer, S. *Relationship of body type, size, sex and energy intake to the body composition of cattle*. Dissertation. Cornell University., Ithaca, New York, 1974.

Stanley, S.; Wynne, K.; Mcgowan, B.; Bloom, S. Hormonal regulation of food intake. *Physiological reviews*, 85:1131-1158, 2005.

St-Pierre, N. R. Invited review: Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. *Journal of Dairy Science*, 84:741-755, 2001.

Teixeira, J. C.; Hespanhol, A. N. A trajetória da pecuária bovina brasileira. *Caderno Prudentino de Geografia*, 36:26-38, 2015.

Thornton, J. H.; Owens, F. N.; Gill, D. R. Feed intake by feedlot beef steers: Influence of initial weight and time on feed. Annual report-Oklahoma *Agricultural Experiment Station* (USA), MP-117, 320, 1985.

Triola, M. F. *Introdução à estatística*. Tradução Alfredo Alves de Farias. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 133, 1999.

Valadares Filho, S. C.; Azevêdo, J. A. G.; Pina, D. S.; Detmann, E.; Valadares, R. F. D. Predição do consumo de matéria seca de bovinos de corte em condições tropicais. In: VIII Congresso Internacional de Zootecnia e X Congresso Nacional de Zootecnia, Recife, 2006a, *Anais*... Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1-26, 2006a.

Van Soest, P. J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, 476 p, 1994.

Véras, R. M. L.; Valadares Filho, S. C.; Azevêdo, J. A. G.; Detmann, E.; Paulino, P. V. R.; Barbosa, A. M.; Marcondes, M. I. Níveis de concentrado na dieta de bovinos Nelore de três condições sexuais: consumo, digestibilidade total e parcial, produção microbiana e parâmetros ruminais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37:951-960, 2008.

Waldo, D. R.; Jorgensen, N. A. Forages for high animal production: nutritional factors and effects of conservation. *Journal of Dairy Science*, 64:1207-1229, 1981.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-192-0.2023.C003.p.45-74

3

Degradação ruminal da proteína dos alimentos e síntese de proteína microbiana

Stefanie Alvarenga Santos, Polyana Pizzi Rotta, Luiz Fernando Costa e Silva, Ana Clara Baião Menezes, e Sebastião de Campos Valadares Filho

Os ruminantes representam um grupo de animais herbívoros que tem como característica principal a modificação dos nutrientes da dieta no interior do rúmen por microrganismos anaeróbicos. Esses microrganismos encontram no rúmen condições ideais para seu crescimento, utilizando as proteínas da dieta do ruminante como fonte alimentar. À medida que a digesta ruminal flui pelo trato gastrointestinal, esses microrganismos se tornam fonte de proteína para digestão no intestino delgado dos ruminantes, proporcionando o fornecimento de proteína com alto valor biológico disponível para absorção. Sendo assim, para encontrar uma recomendação adequada das exigências proteicas para bovinos de corte é necessário conhecer o tipo de modificação imposta por esses microrganismos e a quantidade de proteína de origem microbiana que chega ao intestino delgado a partir de determinada dieta.

INTRODUÇÃO

O *pool* de proteínas potencialmente fermentáveis no rúmen inclui os compostos nitrogenados da dieta, além da proteína endógena da saliva, descamação de células epiteliais e microrganismos ruminais que sofreram lise e permanecem no rúmen (NRC, 2001). Este *pool* proteico que sofre modificações significativas nesse compartimento é denominado de proteína degradável no rúmen (PDR). Assim, a nutrição proteica dos ruminantes é dependente da magnitude e perfil desse *pool*, que chega ao intestino delgado (ID) para digestão e absorção na forma de aminoácidos. Soma-se ainda a proteína da dieta que não sofre degradação microbiana e chega inalterada ao ID, também chamada de proteína não degradada no rúmen (PNDR). O conjunto de todos esses aminoácidos que estão disponíveis para digestão e posterior absorção intestinal compõe a proteína metabolizável (PM). Dessa forma, a obtenção dos valores de exigências nutricionais de PM e proteína bruta (PB) para bovinos de corte, parte da premissa de que se deve conhecer as modificações que o rúmen impõe aos compostos nitrogenados da dieta. Para isso faz-se necessário conhecer a proteína bruta microbiana (PBmic) que é produzida no rúmen ao se fornecer determinada dieta, conhecer os fatores que alteram a eficiência de produção dessa proteína, bem como entender a digestão e absorção dessa proteína no ID.

Na literatura são encontrados diferentes métodos para se estimar a partição do nitrogênio da dieta em PDR e PNDR, bem como sua digestibilidade intestinal. Esses métodos incluem avaliações *in vivo, in situ* e *in vitro*. Levando-se em consideração a exatidão dos métodos, o método *in vivo* apresenta como característica o fornecimento de estimativas fidedignas do que ocorre na digestão dos nutrientes. Contudo, na maioria das situações, os métodos *in vivo* se aplicam apenas para o estudo da digestibilidade das dietas.

Assim, a validação de protocolos que permitam o uso de técnicas *in vitro e in situ* de forma acurada e precisa, é requerida para obtenção de estimativas da degradação da proteína ruminal, da produção microbiana, e indiretamente da PM. A estimativa da síntese de PBmic pode ser realizada utilizando-se indicadores microbianos no rúmen, no ID ou mesmo na urina. Dessa forma, técnicas alternativas como o uso dos derivados de purina urinários podem ser usadas para se quantificar o fluxo de PBmic que deixa o rúmen e chega ao intestino delgado para absorção na forma de aminoácidos. Essa técnica pode reduzir o tempo de manipulação de animais em experimento e dispensar o uso de animais fistulados. Entretanto, a determinação do volume urinário deve ser acurada, para que se minimizem os erros experimentais.

Além disso, a capacidade de se estimar a produção e eficiência microbiana em função da dieta ofertada é uma ferramenta matemática essencial na estimativa das exigências de PM.

Para isso é necessário encontrar quais são as variáveis que afetam a eficiência de produção da PBmic, e ajustar equações que sejam precisas e acuradas. Neste capítulo são discutidas as principais técnicas envolvidas na estimativa dos teores de PDR e PNDR dos alimentos, incluindo os efeitos da contaminação microbiana nos resíduos da incubação ruminal; são também apresentadas as técnicas usadas para quantificar a proteína microbiana e os fatores que afetam a sua produção. Além disso são apresentadas e validadas equações para estimar a produção de proteína microbiana.

ESTIMANDO PDR E PNDR DOS ALIMENTOS

Utilizando a técnica in situ

Dentre as maiores divergências encontradas na estimação da degradação ruminal da proteína está a escolha da técnica a ser utilizada. A técnica *in situ* trata da mensuração do desaparecimento ruminal dos alimentos por intermédio da adição dos ingredientes no interior de sacos com uma porosidade conhecida por onde os microrganismos ruminais acessam o alimento e o degradam, permitindo assim a quantificação do resíduo não degradado. Os sacos por sua vez são incubados na digesta ruminal de um animal fistulado, o que caracteriza a denominação da técnica da degradabilidade *in situ* (Orskov et al., 1980). O estudo da degradabilidade ruminal é importante no conhecimento da modificação que os alimentos sofrem no interior do rúmen, a exemplo da PB, que em parte será degradada e transformada em PBmic.

De acordo com Nocek (1988), a utilização da técnica *in situ* permite o contato íntimo do alimento teste com o ambiente ruminal. Não há melhor maneira de simular o ambiente ruminal durante determinadas condições de temperatura, pH, substrato, tamponamento e populações microbianas. Porém, como limitação, o alimento estudado não é submetido a todas as etapas digestivas como a mastigação, ruminação e passagem. Assim, é necessário conhecer os pontos críticos e algumas padronizações que tornaram o método mais acurado e preciso, os quais serão discutidos a seguir.

a) Perda de material não degradado

A perda de material no interior do saco no rumen é um ponto crítico, pois partículas inferiores ao tamanho dos poros do saco podem ser perdidas mesmo sem haver degradação prévia. Esse evento pode causar superestimação da fração solúvel ou mesmo da sua degradação ruminal. Entretanto, a redução do tamanho de partículas pela moagem facilita o acesso microbiano, uma vez que o alimento não passa pelos processos de mastigação e ruminação. Para minimizar o problema, alguns autores recomendaram incubações *in situ* com partículas entre 1,5 a 3 mm de diâmetro (Huntington e Givens, 1995; Broderick e Cochran, 2000).

Utilizando forrageiras tropicais, Casali et al. (2008) recomendaram tamanhos de partícula de 2 mm para incubação *in situ* para maior precisão nas estimativas das frações degradáveis. Estes autores verificaram que o tamanho de 3 mm reduziu a precisão dos resultados provavelmente em virtude da menor superfície específica para ação microbiana. Assim nesta edição do BR-CORTE recomenda-se a moagem com peneiras de 2 mm para realização de ensaios *in situ*. Porém, mesmo com a padronização do tamanho de partícula, existem perdas de material não digerido, assim, alguns autores recomendaram a correção dos dados de degradação *in situ* pela lavagem em água dos sacos contendo amostra, e determinação da perda imediata de partículas (López et al., 1994 e France et al., 1997). Hvelplund e Weisbjerg (2000) apresentaram um protocolo para estimar a extensão da perda de partículas e correção das frações da degradação por intermédio da diferença entre a perda de material dos sacos. Assim, é possível determinar taxas de degradação corrigidas para perda de partículas caso seja de interesse do pesquisador.

Hvelplund e Weisbjerg (2000) descreveram um protocolo utilizando sacos de náilon, lavados com água, e a solubilidade verdadeira mensurada em papel de filtro. A mensuração da solubilidade em água deve ser realizada adicionando-se 500 mg de amostra em 40 ml de água, que devem permanecer por 1h à temperatura ambiente. Após esse tempo, o material deve ser transferido para papel de filtro livre de nitrogênio para quantificação do N solúvel em água. A correção para perda de

partículas pode ser realizada, utilizando equações propostas por Weisbjerg et al. (1990):

$$DEG_{cor}(ti) = DEG(ti) - P \times \left[1 - \frac{DEG(ti) - P + SOL}{1 - (P + SOL)}\right]$$

$$a_{cor} = a - P$$

$$b_{cor} = b + P \times \left[\frac{b}{1 - (P + SOL)}\right]$$

$$c_{cor} = c$$

em que: $DEG_{cor}(ti)$ = degradabilidade corrigida no tempo de incubação ti; $DEG(ti)$ = degradabilidade mensurada no tempo de incubação *ti*; *P* = perda de partículas; *SOL* = solubilidade em água; a_{cor} = fração solúvel corrigida; b_{cor} = fração insolúvel potencialmente degradável corrigida; c_{cor} = taxa de degradação corrigida; a, b, c = frações mensuradas sem correção.

b) Contaminação microbiana nos resíduos da incubação ruminal de alimentos volumosos e concentrados

Após finalização de um ensaio de degradação ruminal *in situ*, os sacos passam por um processo de lavagem para imediata paralização da degradação microbiana e também para remoção de digesta ruminal e resíduos microbianos aderidos ao alimento ou aos sacos. Porém, alguns autores (Nocek e Grant, 1987; Vanzant et al., 1998; Michalet-Doreau e Ould-Bah, 1992) relataram que é relativamente difícil alcançar a completa remoção da massa microbiana aderida às partículas, pois a adesão microbiana específica é necessária ao início de processo de colonização das partículas. Dessa forma, a contaminação microbiana nos resíduos de incubação representa importante fonte de variação, implicando na superestimação dos resíduos e frações indegradáveis, com consequente subestimação da fração potencialmente degradável. Especialmente, para a fração proteica de volumosos de baixo teor proteico, a contaminação microbiana implica em maior impacto nas estimativas das frações degradáveis.

Entretanto, os procedimentos para estimação da contaminação microbiana demandam a utilização de indicadores microbianos, como o ácido diaminopimélico, RNA, ^{35}S e ^{15}N, que são de alto custo e elevam o tempo final para análises químicas. Assim, estes fatores desencorajam a maior parte dos pesquisadores em realizar tal procedimento em suas incubações. Uma solução para minimizar os entraves na estimação da contaminação microbiana seria a elaboração de um protocolo de correção que não demande o uso de indicadores microbianos, elevando a exatidão das estimativas sem elevar o custo experimental.

Para isso, Machado et al. (2013) conduziram estudo, utilizando ^{15}N como indicador microbiano para estudar a contaminação microbiana em resíduos de incubação de alimentos volumosos. Esses autores apresentaram um protocolo matemático para correção dos resíduos de incubação ruminal *in situ* e ainda para correção das frações degradáveis, que será adotado nessa edição do BR-CORTE. Os autores relataram que a fração solúvel (A) e a potencialmente degrádavel (B) de volumosos de menor teor proteico podem ser subestimadas quando não corrigidas. Os autores recomendaram as equações a seguir:

(1) $A_{CORR} = 1{,}99286 + 0{,}98256 \times A_{PB}$

(2) $B_{CORR} = -17{,}2181 - 0{,}0344 \times B_{PB} + 0{,}65433 \times PB + 1{,}03787 \times FDN + 2{,}66010 \times PIDN - 0{,}85979 \times FDNi$

(3) $kd_{CORR} = 0{,}04667 + 0{,}35139 \times kd_{PB} + 0{,}0020 \times PB - 0{,}00055839 \times FDN - 0{,}00336 \times PIDN + 0{,}00075089 \times FDNi$

em que A_{CORR} = fração solúvel da PB corrigida para contaminação microbiana, A_{PB} = fração solúvel da PB sem correção para contaminação microbiana, B_{CORR} = fração potencialmente degradável da PB corrigida para contaminação microbiana, B_{PB} = fração potencialmente degradável da PB sem correção para contaminação microbiana, kd_{CORR} = taxa de degradação da fração B corrigida para contaminação microbiana, kd_{PB} = taxa de degradação da fração B sem correção para contaminação microbiana, PIDN = proteína insolúvel em detergente neutro, FDN = fibra insolúvel em detergente neutro e FDNi = FDN indigestível.

Machado et al. (2013) recomendaram ainda que o percentual de contaminação microbiana nos tempos de incubação para alimentos volumosos com diferentes teores de PB pode ser obtido através da seguinte equação:

$$\%C = 79{,}21 \times (1 - e^{-0{,}0555 \times t}) \times e^{-0{,}0874 \times PB}$$

em que %C = estimativa da percentagem de contaminação microbiana, t = tempo de residência do alimento no rúmen em horas, PB = percentual de proteína bruta no alimento expresso na base da MS.

Para determinar o impacto da contaminação microbiana em resíduos de incubação *in situ* de alimentos concentrados, Menezes et al. (2017) conduziram estudo, utilizando ^{15}N como indicador microbiano e avaliaram 12 alimentos concentrados, sendo 6 proteicos e 6 energéticos. Embora tenha ocorrido contaminação microbiana nos resíduos da incubação, os autores não relataram diferença entre as frações A, B e kd corrigidas ou não para contaminação microbiana após 72 horas de incubação ruminal. Observou-se que percentualmente, as maiores contaminações foram obtidas para o milho desintegrado com palha e sabugo e os farelos de girassol e de trigo, que são alimentos que possuem maiores teores de FDN. Os dados observados por esses autores evidenciaram que em alimentos concentrados a contaminação microbiana representa contribuição irrelevante aos resíduos de incubação. Desse modo, os autores não recomendaram realizar a correção de frações da degradação de PB em alimentos concentrados.

c) Delineamento experimental e tempos de incubação

Os protocolos experimentais adotados por Machado et al. (2013) e Menezes et al. (2017) representam alternativas adequadas para avaliação da degradação ruminal *in situ* em alimentos. Esses autores utilizaram repetidas incubações dos mesmos alimentos em animais distintos, utilizando o delineamento em quadrado latino (DQL) como principal instrumento para coleta de dados. De acordo com Machado et al. (2013), o DQL pode ser utilizado para organizar a coleta de dados no campo, permitindo mensurar a degradação de diferentes alimentos, eliminando o efeito de confundimento do animal. O DQL pode ser utilizado para controlar as fontes de variação e evitar erros experimentais oriundos da variabilidade entre os animais estudados em um determinado ensaio. Machado et al. (2013) ressaltaram que o DQL não precisa ser obrigatoriamente utilizado para estimar a variabilidade ou comparar os efeitos das fontes de variação, mas sim para proceder uma coleta de dados menos viesada.

Quando o objetivo da incubação ruminal for obter dados para estimar a digestibilidade intestinal da PNDR, Menezes et al. (2017), por meio de análise de agrupamento, recomendaram tempos necessários para se determinar a PDR de alimentos concentrados entre 6,8 e 15,4 horas para kp = 0,05 h^{-1}. Assim, nota-se que a recomendação da literatura para utilização de 16h (Calsamiglia et al., 1995) para obter a PDR dos alimentos, possivelmente não pode ser aplicada para todos os alimentos em conjunto. Menezes et al. (2019) estabeleceram os tempos necessários para estimativa da PDR de alimentos concentrados agrupados em: concentrados energéticos de alto amido, de baixo amido, e concentrados proteicos, obtendo os seguintes intervalos, considerando kp = 0,05 h^{-1}:

- Energéticos de alto amido – milho moído, sorgo moído e milho desintegrado com palha e sabugo: 16 horas.
- Energéticos de baixo amido – farelo de trigo, farelo de arroz e casca de soja: 7 horas.
- Concentrados proteicos – farelo de algodão, farelo de soja, feijão, farelo de amendoim e farelo de girassol: 10 horas.

No entanto, deve-se ressaltar que provavelmente esses tempos não sejam suficientes para se estudar a degradabilidade da PB de volumosos tropicais. Alguns trabalhos nacionais (Martins et al., 1999; Cabral et al., 2005; Pires et al., 2006) utilizaram os tempos de degradação *in situ* de 72 horas para volumosos. Apesar de serem encontrados trabalhos avaliando tempos necessários à determinação de frações fibrosas em incubação *in situ* (Casali et al., 2008), são escassos os trabalhos avaliando tempos necessários para determinação da PDR dos alimentos volumosos tropicais.

d) Condições internas nos sacos de incubação

De acordo com López (2005), as condições no interior do saco de incubação devem ser similares ao restante do rúmen. Dessa forma a escolha apropriada do tecido para confecção dos sacos deve ser criteriosa. Por muitos anos foi utilizado como padrão para incubação o tecido de náilon com porosidade variando entre 40 a 60 μm, conforme recomendado por Nocek (1997). Entretanto, esta porosidade vem sendo questionada em estudos nacionais e internacionais. Hvelplund e Weisbjerg (2000) recomendaram a utilização de sacos de náilon com porosidade entre 30 a 50 μm no estudo da degradação *in situ* da PB. Entretanto, estudos comparando estimativas da degradação proteica em sacos de diferentes porosidades não foram encontrados na literatura consultada. Assim, até que mais estudos sejam conduzidos para avaliar a porosidade ideal dos sacos de náilon para melhor obtenção de estimativas da PDR dos alimentos, recomenda-se o uso de náilon com porosidade de 40 a 60 μm.

A área de superfície de contato dos sacos incubados em relação à amostra também é uma variável importante levando em consideração as condições internas de degradação *in situ*. De acordo com Nocek (1988), a quantidade ótima de amostra é aquela que proporciona quantidade suficiente para análises químicas ao final do processo, sem que haja enchimento excessivo do saco ao ponto de atrasar a adesão microbiana, o que eleva a fase de latência e subestima as taxas de degradação. Após revisão de literatura, o autor recomendou para a maior parte dos alimentos uma amostra de 10 a 20 mg/cm^2 de saco, ressaltando que para alimentos concentrados o maior valor pode ser crítico devido a elevada densidade e rápida degradação, podendo haver intensa produção de gases por unidade de tempo. Assim, apesar de ter surgido na década de 80, o estudo de Nocek (1988) ainda não foi refutado, sendo até hoje utilizado como referência nos estudos de incubação *in situ*.

e) Modelos matemáticos para estimativa da degradação ruminal da proteína

Os tradicionais modelos matemáticos utilizados para descrever a degradação ruminal, em geral, calculam essa variável com base na massa de substrato que está retido no compartimento avaliado. Alguns desses modelos são de primeira ordem (Waldo et al., 1972) ao considerar apenas o substrato a ser digerido, e outros de segunda ordem, pois também consideraram o *pool* dos substratos estudados e a massa microbiana presente no sistema (France et al., 1990). O modelo de primeira ordem de Mitscherlich proposto por Ørskov e McDonald (1979) é utilizado com maior frequência para avaliação dos resíduos de PB obtidos *in situ*.

O modelo proposto por Ørskov e McDonald (1979), em cinética de primeira ordem, assume que o substrato degradado em qualquer tempo é proporcional à quantidade de resíduo potencialmente degradável em qualquer tempo, a uma taxa fracional de degradação constante. Esse modelo é amplamente utilizado devido à sua simplicidade. Entretanto o mesmo não contempla uma ampla diversidade de alterações da taxa fracional decorrida da degradação (López, 2008). Desta forma, López et al. (1999) estudaram alguns modelos que consideraram que a taxa fracional da degradação dos nutrientes não é um valor constante, mas sim variável; e que alguns modelos de degradação baseados na cinética do crescimento microbiano são de natureza sigmoidal, indicando solução alternativa aos modelos de minimização dos retornos ou exponenciais simples, como é o caso do modelo proposto por Van Milgen et al. (1991).

Assim, os modelos para ajuste de curvas de degradação da PB, tanto do tipo exponencial como o tipo sigmoide, são apresentados a seguir, considerando a taxa fracional de degradação (kd) constante. Os resíduos de incubação da PB obtidos através dos ensaios *in situ* em função do tempo podem ser avaliados, utilizando-se os modelos matemáticos propostos por (1) Ørskov e McDonald (1979) e (2) Van Milgen et al. (1991):

$$(1)\ DEG(t) = a + b \times (1 - e^{-kd \times t})$$

$$(2)\ DEG(t) = a + b \times [(1 + c \times t) \times (e^{-c \times t})]$$

em que: DEG(t) representa o desaparecimento da PB expressa em porcentagem; *a* representa a fração solúvel em água no tempo zero; *b* representa a fração insolúvel em água, mas potencialmente degradável no rúmen em determinado tempo; *c* representa a taxa

fracional conjunta de latência e degradação (h^{-1}); kd é a taxa de degradação da fração *b*; e *t* é o tempo de incubação (horas).

O modelo de primeira ordem de Mitscherlich adaptado por Ørskov e McDonald (1979) assume que a degradação ocorre a uma taxa fracional constante após uma discreta fase de latência, assim a taxa de desaparecimento decresce continuamente e não há nenhum ponto de inflexão. O modelo de Ørskov e McDonald (1979) emprega valores estáticos para taxa de degradação, havendo necessidade de menor número de parâmetros a serem estimados, o que eleva a probabilidade de uso de modelos mais simples como este. Dessa forma, recomenda-se o modelo de Ørskov e McDonald (1979), por ser simples e funcionar relativamente bem para avaliar a degradação proteica dos alimentos. Para qualquer um dos modelos utilizados, a partir das frações solúvel (a), potencialmente degradável (b) e a taxa de degradação (kd) mensuradas para PB e a partir da taxa de passagem estimada (kp), será possível calcular a degradabilidade efetiva, que corresponderá à PDR:

$$PDR = a + \left[\frac{(b \times kd)}{(kd + kp)} \right]$$

Assim, um fator importante que interfere diretamente na obtenção dos valores de PDR, é a taxa de passagem adotada nos cálculos da degradabilidade efetiva da PB.

O NRC (2001) adotou anteriormente três diferentes funções para estimação da taxa de passagem de forragens úmidas, forragens secas e concentrados. Entretanto, Seo et al. (2006) destacaram que os dados compilados para geração destas três equações foram obtidos em experimentos que utilizaram as terras raras como principais indicadores, o que limita a aplicabilidade das equações aos dados experimentais atuais. Assim, Seo et al. (2006) propuseram novas equações com base em um banco de dados de 154 trabalhos e 766 observações, dos quais foram gerados modelos matemáticos capazes de predizer a taxa de passagem de diversos alimentos e dietas com base em indicadores externos. Assim, após ajustes, os autores apresentaram as seguintes equações para estimação das taxas de passagem (kp) de forragens, concentrados e líquidos:

kp forragem = (2,365 + 0,0214 × FI + 0,0734 × CI + 0,069 × F) / 100

kp concentrado = (1,169 + 0,1375 × FI + 0,1721 × CI) / 100

kp líquidos = (4,524 + 0,0223 × FI + 0,2046 × CI + 0,344 × F) / 100

em que: kp = taxa de passagem, h^{-1}; FI = consumo de forragem em g MS/PC; CI = consumo de concentrado em g MS/PC; F = consumo de forragem em kg MS.

Utilizando análises químicas para estimativa da PDR e PNDR: solubilização proteica e fracionamento

O método mais amplamente utilizado para estimar as frações de compostos nitrogenados do alimento é o protocolo de fracionamento utilizado no CNCPS (Sniffen et al., 1992; Fox et al., 2000). Originalmente o CNCPS dividiu a PB dos alimentos em 5 frações, usando 3 solventes e um agente precipitante. As cinco frações são:

- A: solúvel em tampão borato fosfato (TBF), mas não precipitada por ácido tricloroacético (TCA), constituída pelos compostos nitrogenados não proteicos (NNP);
- B_1: proteína verdadeira rapidamente degradada no rúmen, solúvel em TBF, mas precipitada pelo TCA;
- B_2: proteína verdadeira e grandes peptídeos, moderadamente degradada no rúmen, calculada como sendo a diferença entre o total de PB do alimento menos as outras frações;
- B_3: proteína verdadeira lentamente degradada no rúmen, calculada pela diferença entre o conteúdo proteico insolúvel em detergente neutro (PIDN) e o conteúdo proteico insolúvel em detergente ácido (PIDA);
- C: proteína indegradável, equivalente ao PIDA.

A PIDN é obtida através da PB no resíduo insolúvel após o tratamento com detergente

neutro, sem a utilização de sulfito de sódio; e a PIDA estimada após a extração sequencial, no resíduo obtido após o tratamento com detergente ácido. A fração A é considerada 100% degradada no rúmen e a fração C 100% não degradada.

Um aspecto interessante dessa aproximação utilizada no CNCPS é que as análises (NNP, PIDIN, PIDA e proteína verdadeira solúvel) executadas para a estimação das frações da PB são procedimentos de rotina em laboratórios, o que facilita a adoção do método para a utilização em condições de campo (Schwab et al., 2003).

O sistema CNCPS passou por algumas atualizações nos últimos anos, sendo que Higgs et al. (2015) apresentaram nova nomenclatura para as frações da PB adotadas atualmente pelo CNCPS, embora poucas alterações tenham sido realizadas nos métodos de análises utilizados pelos autores, sendo:

P_{A1} (Fração amoniacal) = Amônia × (PS/100) × (PB/100)

P_{A2} (Proteína verdadeira solúvel) = [PS × (PB/100)] – P_{A1}

P_{B1} (Proteína verdadeira insolúvel) = PB – (P_{A1} – P_{A2} – P_{B2} – P_C)

P_{B2} (Proteína ligada à fibra) = (PIDN – PIDA) × (PB/100)

P_C (Proteína indegradável) = PIDA × (PB/100)

em que: P_{A1} = Fração amoniacal; P_{A2} = Fração proteica verdadeira solúvel; P_{B1} = Fração proteica verdadeira insolúvel; P_{B2} = Fração proteica ligada à parede celular ou ligada à FDN; P_C = Fração proteica indegradável; PB = Proteína bruta; PS = proteína solúvel em tampão borato-fosfato, incluindo azida sódica.

SÍNTESE DE PROTEÍNA MICROBIANA

Sendo os microrganismos ruminais os principais modificadores da proteína dietética, não somente a exigência de PB do animal deve ser considerada, como também a quantificação do nitrogênio exigido para síntese de proteína microbiana ruminal. De acordo com Puchala e Kulasek (1992), para obtenção do nitrogênio total exigido pelos ruminantes, os sistemas de exigências nutricionais necessitam fornecer uma estimativa da quantidade total de proteína que é digerida e absorvida no intestino delgado. Esta proteína total compreende a proteína microbiana sintetizada no rúmen e a proteína da dieta que escapa da degradação ruminal. A exigência nutricional de PNDR é calculada como o total de PM exigida menos a quantidade de proteína metabolizável microbiana que alcança o duodeno, dessa forma, existe a necessidade de se obter estimativas acuradas dessa variável para se quantificar as exigências nutricionais de PM para ruminantes (Firkins, 1996).

De acordo com Broderick e Merchen (1992), para quantificar a proteína microbiana ruminal são necessários indicadores microbianos. Esses podem ser classificados como indicadores internos e externos. Os indicadores internos são aqueles inerentes aos microrganismos, ou seja, já são componentes químicos dos próprios microrganismos como o ácido diaminopimélico. Além deste, o composto mais utilizado como indicador microbiano interno é o conjunto de ácidos nucleicos microbianos. O alto conteúdo de RNA nas células microbianas tornou esse composto de grande interesse na quantificação do *pool* de proteína microbiana (PBmic) sintetizada no rúmen.

Os indicadores externos são aqueles adicionados ao rúmen e que são capazes de se aderir aos microrganismos, como é o caso do isótopo ^{15}N. Um indicador microbiano ideal deve incluir características como: facilidade na quantificação, não estar presente ou presente em pequenas quantidades nos alimentos, presente a uma relação constante mesmo sob condição experimental e ser biologicamente estável (Broderick e Merchen, 1992). O uso de cada um desses indicadores representa uma técnica diferente para estimação da proteína microbiana, entretanto, representam alternativa invasiva, uma vez que é necessário o uso de animais fistulados para coleta de líquido ruminal marcado com indicadores.

A descoberta de que os derivados de purina na urina de ruminantes são quantitativamente importantes como produtos finais do metabolismo de nitrogênio levou ao aprofundamento da pesquisa na área e ao estabelecimento de relações entre a concentração ruminal de ácidos nucléicos e a excreção de derivados de purina na urina em ruminantes (Topps e Elliott, 1965).

Essas informações formam a base do conhecimento que deu origem ao uso de derivados de purina na urina como método não-invasivo para estimativa do aporte de nitrogênio microbiano (Nmic) no intestino em ruminantes (Chen e Gomes, 1992). Dessa forma, essas alternativas serão apresentadas e discutidas a seguir

Comparando os indicadores ^{15}N e RNA

O ^{15}N tem sido amplamente utilizado como indicador para estimar a produção microbiana, já que é um isótopo estável, de baixo risco ambiental, de menor custo em relação a outros isótopos, por marcar todos os *pools* de Nmic, por não ser encontrado naturalmente na proteína dos alimentos e por não marcar a proteína do animal até que os aminoácidos microbianos marcados sejam incorporados aos seus tecidos (Broderick e Merchen, 1992). O ^{15}N é bem distribuído na célula microbiana, logo, no caso de lise celular durante o isolamento, as perdas de protoplasma, que subestimam a quantidade de ácidos nucléicos, são menos prejudiciais na estimação da concentração de ^{15}N.

Tabela 3.1 - Estatística descritiva da relação ^{15}N:^{14}N e Nmic (% MO) obtida em amostras de bactérias associadas a partículas (BAP) e bactérias associadas à fase líquida (BAL) de diferentes estudos

Autores[1]	BAP		BAL	
	^{15}N:^{14}N	Nmic (%MO)	^{15}N:^{14}N	Nmic (%MO)
Machado et al. (2013)	341[2]	7,07	358[2]	7,20
Rotta et al. (2014a)	0,093[3]	7,80	0,092[3]	8,20
Menezes et al. (2017)	304[2]	5,89	322[2]	5,46
Mariz et al. (2018)	454[2]	7,17	463[2]	7,51
Prates et al. (2017)	0,076[3]	7,27[4]	0,068[3]	7,35[4]

[1]Médias da relação ^{15}N:^{14}N e conteúdo de N bacteriano não diferem pelo teste *F* (P>0,05), exceto N bacteriano em Mariz et al. (2018), que foram diferentes entre BAL e BAP (P<0,05). [2]Δ por mil. [3]valores obtidos em amostras omasais e considerando enriquecimento de átomos ^{15}N em percentagem [4]nitrogênio com base na MO. Autores utilizados: Machado et al. (2013); Rotta et al. (2014a); Menezes et al. (2017); Mariz et al. (2018); Prates et al. (2017).

A fração de bactérias associadas à fase de partículas é superior à das associadas à fase líquida, podendo representar mais de 90% (Faichney, 1980) das bactérias isoladas de animais recebendo dietas com predominância de volumosos. Assim, os procedimentos de isolamento bacteriano deveriam considerar as bactérias associadas às partículas (BAP) para estimação de uma relação ^{15}N:Nmic mais representativa.

A relação ^{15}N:^{14}N e conteúdo de Nmic, de forma geral, podem ser obtidos a partir da média em amostras de BAL e BAP, uma vez que em muitos casos não são encontradas diferenças entre essas duas formas de isolamento de bactérias (Machado et al., 2013, Rotta et al., 2014a, Prates et al., 2017, Menezes et al., 2017, e Mariz et al., 2018; Tabela 3.1)

Alternativamente, organismos unicelulares possuem alta concentração de ácidos nucléicos, especialmente RNA e bases purinas, o que torna interessante a utilização desses como indicadores microbianos internos. Em torno de 18 % do nitrogênio total dos microrganismos ruminais encontra-se nos ácidos nucléicos e aproximadamente 11% do N total está presente nas bases purínicas (Chen e Ørskov, 2003). Segundo Broderick e Merchen (1992), a utilização de ácidos nucléicos como indicador está bem estabelecida. O RNA pode ser quantificado segundo o método proposto por Ling e Buttery (1978), e as bases purínicas conforme Ushida et al. (1985). A maior parte dos alimentos apresenta baixa concentração de RNA e, segundo McAllan e Smith (1973), no rúmen ocorre extensiva degradação do RNA exógeno. Assim, o fluxo duodenal de RNA é predominantemente de origem microbiana.

De acordo com Rotta et al. (2014b), muitos dos trabalhos que avaliaram diferentes indicadores para estimação da proteína microbiana ruminal utilizaram amostras obtidas no abomaso ou duodeno, e que a manutenção de animais fistulados no abomaso e/ou duodeno é difícil e

de alto custo operacional, causando transtorno no manejo dos animais. Reynal et al. (2005) e Ipharraguerre et al. (2007) recomendaram que o cálculo do fluxo de proteína microbiana utilizando ^{15}N como indicador deve ser realizado utilizando amostras obtidas a partir do omaso. Porém, ao utilizar ^{15}N e bases purinas como indicadores, esses autores encontraram diferença nos valores obtidos para fluxo de proteína microbiana a partir de amostras duodenais. Já Krizsan et al. (2010) sugeriram que amostras de digesta do retículo podem substituir amostras omasais. Mariz et al. (2018) estudaram possíveis diferenças entre os indicadores microbianos ^{15}N e bases purinas (BP) para estimar a síntese e a eficiência microbiana ruminal, quando aplicados diferentes níveis de proteína às dietas de bovinos Nelore e cruzados. Os autores não encontraram diferença nas estimativas apresentadas.

Tabela 3.2 - Efeitos de diferentes locais de coleta e indicadores microbianos na produção de Nmic e sua eficiência em novilhos de corte alimentados com silagem de milho ou cana-de-açúcar

	Local de amostragem				P-valor
Indicadores	Retículo	Omaso	Abomaso	EPM[1]	L × M[2]
Nmic[3]	104	114	125	4,59	<0,01
BP[4]	114^{abA}	106^{bA}	130^{aA}	4,78	<0,01
^{15}N	$94,1^{bB}$	123^{aA}	120^{aA}	4,79	<0,01
PBmic[5]/NDT[6]	101	108	118	4,39	<0,01
BP	107^{bA}	$93,3^{bB}$	117^{aA}	4,44	<0,01
^{15}N	$95,0^{bA}$	123^{aA}	118^{aA}	4,42	<0,01
NM/MOfer[7]	24,8	31,8	36,2	2,05	<0,05
BP	$26,8^{bA}$	$29,2^{bA}$	$37,7^{aA}$	2,09	<0,05
^{15}N	$22,7^{bA}$	$34,4^{aA}$	$34,6^{aA}$	2,08	<0,05

[1]Erro padrão da média; [2]Interação entre local de amostragem e indicador microbiano; [3]Nitrogênio microbiano; [4]Bases purinas; [5]Proteína bruta microbiana; [6]Nutrientes digestíveis totais; [7]Matéria orgânica fermentada no rúmen. Adaptado de Rotta et al. (2014).

A similaridade entre os indicadores microbianos indicou que tanto ^{15}N quanto BP são adequados para estimar a síntese e eficiência de proteína microbiana, quando coletados em digestas omasais. Adicionalmente, Rotta et al. (2014b) conduziram um trabalho avaliando esses dois indicadores, obtidos em diferentes locais de amostragens (Tabela 3.2). Rotta et al. (2014b) relataram que amostras obtidas no omaso e abomaso proporcionaram resultados similares para produção de proteína microbiana assim como eficiência microbiana quando utilizaram tanto ^{15}N quanto bases purinas como indicadores. Além disso, Rotta et al. (2014b) testaram diferentes esquemas de coleta de amostras, utilizando indicadores único, duplo ou triplo, isolando diferentes tipos de perfis da digesta ruminal como fase única (sistema de indicador único), fase líquida e de partículas (sistema de indicador duplo), e fases líquida, de pequenas e de grandes partículas (sistema de indicador triplo), respectivamente.

Os autores recomendaram uma correção nas estimativas da proteína microbiana ruminal obtida a partir de ensaios com sistema de indicadores único e duplo, para estimativa dos valores compatíveis ao esquema triplo, sendo estas:

$$NMcorr\ (g/dia) = 49,71 + 0,66 \times NMúnico$$

$$NMcorr\ (g/dia) = 43,04 + 0,71 \times NMduplo$$

em que NMcorr é a produção de nitrogênio microbiano ruminal por dia corrigida para uso de indicador único ou duplo. NMúnico é o nitrogênio microbiano obtido a partir de esquema de indicador único, e NMduplo é o nitrogênio microbiano obtido a partir de esquema de indicador duplo.

Método dos derivados de purina na urina

Os ácidos nucléicos de origem bacteriana originários do rúmen, em grande maioria, são digeridos e absorvidos no intestino delgado. As bases purinas absorvidas são catabolizadas a derivados de purinas (hipoxantina, xantina, ácido úrico e alantoína) e excretadas na urina. Dessa maneira, o fluxo de nitrogênio microbiano no

intestino delgado pode ser estimado a partir da quantificação da excreção de derivados de purina na urina. Embora existam métodos para estimar a síntese microbiana com base em indicadores microbianos (RNA, ^{15}N; Broderick e Merchen, 1992, Tamminga e Chen, 2000), conforme discutido no tópico anterior, esses métodos apresentam dificuldades para uso extensivo pois são extremamente invasivos e requerem a utilização de animais fistulados para estimação do fluxo de MS pelo abomaso ou duodeno. Esses métodos baseados na estimativa do fluxo de proteína microbiana têm sido usados em grande parte para calibração de alguns fatores de cálculo no método dos derivados de purina (Tas e Susenbeth, 2007; Barbosa et al., 2011; Prates et al., 2012).

Assim como todo método indireto, o método da estimativa da produção microbiana com base nos derivados de purina na urina é susceptível a uma série de fontes de variação (Chen et al., 1990b, Chen e Gomes, 1992, Tamminga e Chen, 2000, Bowen et al., 2006, Tas e Susenbeth, 2007) e alguns dos fatores mais importantes relativos ao método têm estado em constante revisão e atualização. Os mais recentes resultados de pesquisa relacionados a esses fatores, com ênfase ao uso do método para estimar a produção de proteína microbiana de bovinos em condições tropicais, são discutidos nos itens a seguir:

a) Coleta urinária e amostragem experimental

O método para estimar o fluxo de Nmic em bovinos baseia-se na quantificação da excreção diária de derivados de purina (alantoína e ácido úrico) na urina. Portanto, o volume urinário diário, bem como uma amostra da mesma, são necessários. A quantificação direta do volume urinário pode ser realizada em animais cateterizados ou com dispositivos de recolhimento de urina acoplados. Em fêmeas, normalmente utiliza-se sondas tipo Folley, levando a urina diretamente da bexiga para um recipiente de coleta. Em machos, funis são utilizados na região do prepúcio, ligados diretamente a um recipiente de coleta. Em ambos os casos, a coleta é realizada por períodos de 3 a 5 dias, com quantificação e amostragens diárias. Entretanto, métodos de coleta total são normalmente trabalhosos, podem afetar o comportamento e bem-estar dos animais e impactam em dificuldades para uso em animais em pastejo. Em vacas lactantes, o grande volume diário de urina e o manejo do sistema de coleta durante a ordenha contribuem para tornar o uso da coleta total trabalhosa e de difícil aplicação prática.

Assim, faz-se necessário discutir uma técnica auxiliar à coleta total para determinação do volume urinário. O uso da creatinina como indicador para determinação indireta do volume urinário pode ser uma alternativa adequada na melhora do bem-estar dos animais durante os experimentos. A creatinina é formada no músculo pela remoção de água da creatina-fosfato, originada do metabolismo do tecido muscular (Harper et al., 2013). A molécula de creatina-fosfato é degradada espontaneamente a taxas relativamente constantes, formando a creatinina. A creatinina é então produto metabólico do qual o corpo já não necessita, portanto, não é utilizada para formação de novas moléculas, sendo excretada pelos rins. A produção diária de creatina e consequentemente, a excreção de creatinina, depende da massa muscular e, portanto, é proporcional ao peso do animal (Koren, 2000). Assim, uma vez estimada a excreção diária de creatinina em relação ao peso do animal e considerando essa concentração constante ao longo do dia, é possível estimar o volume urinário excretado a partir da concentração de creatinina em amostra de urina coletada de um animal de peso conhecido.

Muito se conhece hoje em dia em relação ao perfil de excreção de creatinina na urina. A creatinina apresenta uma excreção constante ao longo de 24 horas a partir de taxas constantes de degradação do tecido muscular. A excreção de creatinina é pouco afetada pelos teores de PB, carboidratos não-fibrosos ou nitrogênio não-proteico da dieta (Susmel et al., 1994; Vagnoni et al., 1997; Valadares et al., 1999; Oliveira et al., 2001; Rennó et al., 2000), assim, não são esperadas variações decorrentes da dieta.

Com objetivo de estudar a relação da excreção de creatinina em função do peso corporal de bovinos, foi realizada uma meta-análise com resultados de 25 experimentos (Figura 3.1) realizados no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (Apêndice 3.1). Do total deste banco de dados contendo 882

informações individuais, 80% dos dados (n = 702) foram aleatoriamente sorteados para compor o banco de dados para ajuste do modelo (Tabela 3.3), e 20% dos dados (n = 180) foi selecionado para o processo de validação (Tabela 3.4). Foram testados alguns efeitos como a classe sexual e os grupos genéticos (Nelore, animais taurinos e cruzados), porém estas variáveis não apresentaram efeito significativo (P>0,05). Os dados foram ajustados à uma função matemática alométrica, perfazendo um número total de 702 informações individuais.

Tabela 3.3 - Estatística descritiva dos dados utilizados para ajustar modelo alométrico para estimar a relação entre peso corporal em jejum de bovinos e excreção diária de creatinina na urina, contendo 80% do banco de dados total coletado

	Creatinina (mg/dia)	Peso corporal (kg)
Média	8373	369
Mediana	8205	342
DP	2890	110
Mínimo	1266	107
Máximo	17926	728
n	702	702
Exp	25	25

Tabela 3.4 - Estatística descritiva dos dados utilizados para validar o modelo alométrico para estimar a relação entre peso corporal em jejum de bovinos e excreção diária de creatinina na urina, contendo 20% do banco de dados total coletado

	Creatinina (mg/dia)	Peso corporal (kg)
Média	8615	355
Mediana	8254	318
DP	2887	113
Mínimo	18876	743
Máximo	2887	113
n	180	180
Exp	25	25

Após análises, obteve-se a seguinte equação para estimar a excreção diária de creatinina na urina (ECU; mg/dia) de bovinos em função do peso corporal (PC; kg):

$$ECU = 66{,}2158 \times PC^{0{,}8384}$$

As estimativas dos parâmetros do modelo foram significativas (P<0,01) e os dados se ajustaram de forma satisfatória ao modelo. Assim recomenda-se que a excreção diária de creatinina seja estimada através de modelo alométrico, de acordo com o peso do animal nas diferentes classes sexuais e grupos genéticos.

Um total de 20% dos dados foi utilizado para o procedimento de validação da equação, sendo utilizados os dados observados em 180 unidades experimentais e dados preditos através da equação estimada (Tabela 3.4). Foi utilizado o software MES – Model evaluation system (Texas A&M University).

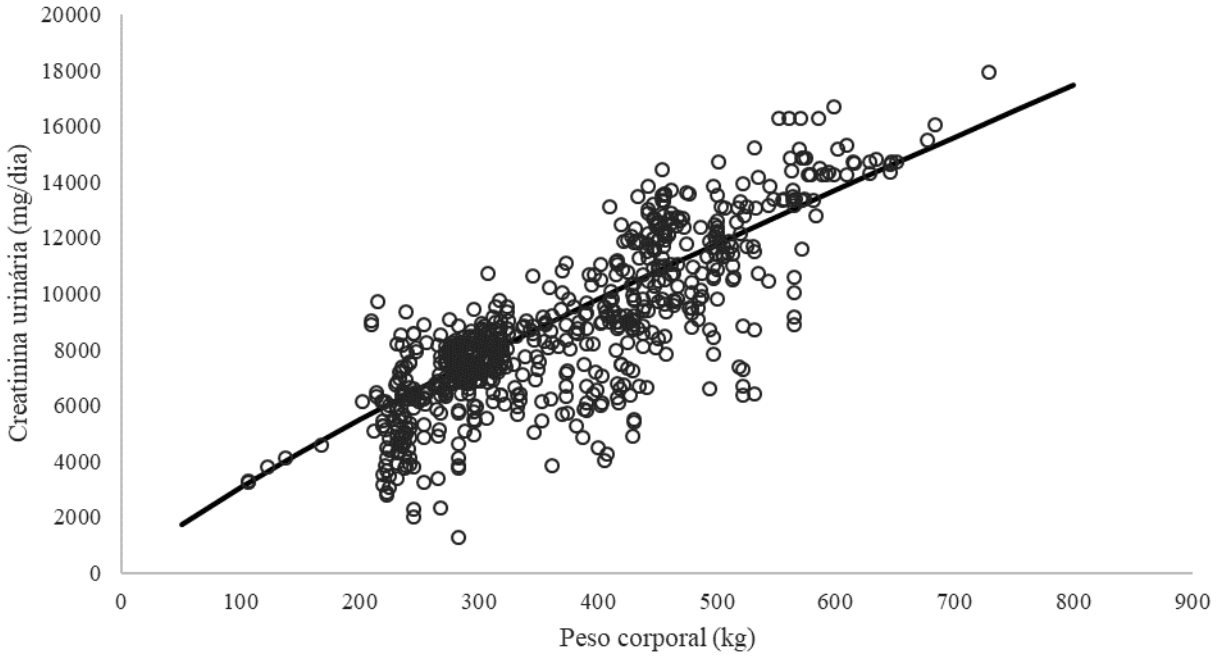


Figura 3.1 - Dados observados (o) da relação entre o peso corporal em jejum de bovinos (kg) e excreção diária de creatinina na urina (mg/dia), e ajuste (-) alométrico (ECU = 66,2158× $PC^{0,8384}$), obtido a partir de meta-análise com 25 estudos em bovinos de diferentes classes sexuais e grupos genéticos.

Observou-se que os dados preditos e observados de creatinina foram similares (P>0,05) pelo teste de Mayer (Tabela 3.5), apresentando elevado coeficiente de correlação e concordância (CCC = 0,78) e maior presença de erros de predição de origem aleatória. Esses resultados sugerem que o modelo proposto apresenta elevada precisão para estimativas de creatinina urinária em bovinos (Figura 3.2). O uso da creatinina como uma ferramenta precisa para estimativa do volume urinário nas diferentes categorias animais torna prático o processo de estimação da proteína microbiana ruminal pelo uso de DP excretados na urina. No Brasil, Pereira (2009) avaliou as excreções totais de creatinina em intervalos de 4 a 24 horas e as relações de derivados de purina, ureia e compostos nitrogenados totais com a creatinina em novilhas Nelore, obtidas de coletas *spot* de urina em intervalos de 2 horas. A relação entre derivados de purina e creatinina não variou (P>0,05) durante as 24 horas do dia, a partir da coleta *spot* de urina a intervalos de 2 horas, sugerindo que o cálculo da excreção diária de derivados de purinas pode ser efetivado em coletas obtidas em qualquer horário do dia.

Entretanto, foi observado efeito do tempo de coleta de urina sobre as relações entre ureia:creatinina e Ntotal:creatinina. Essas relações foram próximas às médias em dois pontos diários, próximos aos dois horários diários de fornecimento de alimento aos animais (8 e 16 horas).

Pereira (2009) sugeriu que a estimativa da excreção de compostos nitrogenados em animais em crescimento pode ser realizada sem a necessidade de coleta total, utilizando-se apenas duas coletas *spot* de urina, imediatamente após o fornecimento das dietas. Contudo, ressalta-se que mais pesquisas são necessárias para confirmar essa sugestão. Silva Júnior et al. (2018) estudaram as relações entre derivados de purina e compostos nitrogenados com a creatinina em bovinos de corte em pastejo, para avaliar a possibilidade de realização de coleta a cada 4 horas para mensurar a produção de proteína microbiana, balanço de nitrogênio e excreção de N uréico.

Tabela 3.5 - Validação de modelo predito para determinação da creatinina urinária (ECU mg/dia = 66,2158× $PC^{0,8384}$) em bovinos, a partir do peso corporal , utilizando 20% do banco de dados (n=180)

Item	Creatinina predita
Teste de Mayer	
Intercepto	-390
Inclinação	1,01
P-valor	0,11
RMSE	1725
CCC	0,78
QMEP	
Vício médio %	2,44
Vício sistemático %	0,03
Erros aleatórios %	97,52
Média predita	8614
Desvio médio	-269 (3,03%)
P-valor	0,04

[1]RMSE: Raiz do quadrado médio do erro de predição; CCC: Coeficiente de correlação e concordância; QMEP: Quadrado médio do erro de predição.

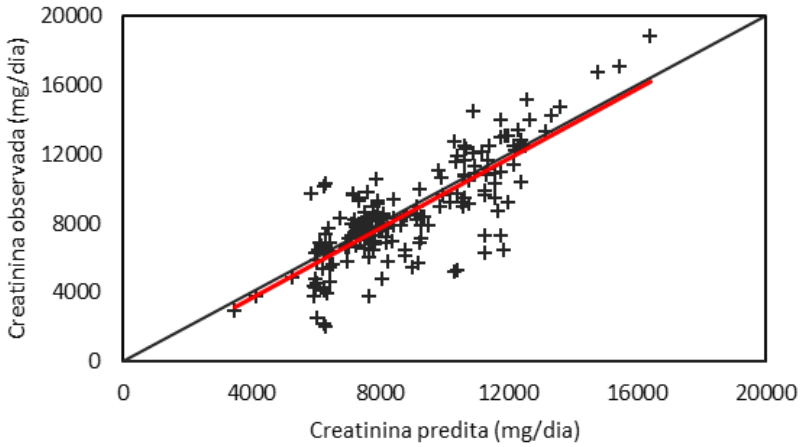


Figura 3.2 - Valores de creatinina urinária observados e preditos a partir da equação proposta ECU = 66,2158 × $PC^{0,8384}$, proposta para bovinos.

Os autores procederam coletas de 4 em 4 horas durante 5 dias e não detectaram diferença entre o dia de coleta e os horários para a relação entre derivados de purina e creatinina, o que permite inferir sobre a possibilidade de realizar apenas uma coleta de urina em qualquer horário para estimar a produção de proteína microbiana em pastejo, através da técnica dos derivados de purina urinários. Entretanto, em função das variações observadas para as relações nitrogênio uréico e nitrogênio total com a creatinina ao longo do período de 24 horas, Silva Júnior et al. (2018) não recomendaram o uso de amostra em qualquer horário para estimação da excreção urinária de compostos nitrogenados.

Outros resultados dos mesmos autores (Silva Júnior et al., 2021) demonstraram que a excreção urinária de creatinina é constante durante 24h em bovinos em pastejo. Assim, uma única amostra pontual, em condições de pastejo, é suficiente para estimar o volume de urina em bovinos. Além disso, uma vez que a relação entre creatinina e derivados de purina é constante, também os derivados de purina podem ser estimados a partir de apenas uma

amostra spot em condições de pastejo. Entretanto, duas coletas pontuais, 4h antes e 4h após o fornecimento do concentrado, são necessárias para estimar a excreção total de nitrogênio na urina, uma vez que o nitrogênio ureico urinário pode variar em função da alimentação.

b) Recuperação urinária de purinas absorvidas

A relação entre a recuperação urinária de derivados de purina e o fluxo duodenal de purinas é um importante fator de ajuste no método de estimativa da produção microbiana a partir dos derivados de purina na urina. Vários estudos tiveram como objetivo mensurar a recuperação urinária de purinas infundidas pós-rúmen a partir de extratos microbianos. A excreção urinária de derivados de purinas foi linearmente correlacionada com a infusão abomasal de ácidos nucléicos, nucleosídeos, purinas de levedura de cerveja e com a infusão duodenal de ácidos nucléicos, bases de purinas, RNA microbiano e RNA de leveduras (Tas e Susenbeth, 2007). Uma média equimolar de 0,85 foi obtida por Tas e Susenbeth (2007) para a recuperação urinária de derivados de purina infundidos no duodeno. Nesse tipo de estudo, o valor de excreção de derivados de purina é linearmente relacionado ao valor de purinas infundidas (abomaso ou duodeno). O coeficiente de inclinação da equação fornece o valor de recuperação de purinas absorvidas e o intercepto representa a contribuição endógena.

Trabalhos realizados no Brasil (Barbosa et al., 2011, Prates et al., 2012) estimaram que em zebuínos a recuperação urinária de derivados de purina varia de 0,74 a 0,92, com valor médio sugerido para uso prático de 0,80, que será adotado como padrão nesta edição do BR-CORTE tanto para animais Zebuínos quanto para cruzados. Prates et al. (2012) não observaram diferenças na taxa de recuperação de purinas absorvidas entre novilhas Nelore e Holandês, não havendo a necessidade de valores distintos para cada grupo genético.

c) Digestão e absorção intestinal de purinas microbianas

Os ácidos nucléicos de origem bacteriana, que deixam o rúmen, são extensivamente degradados no intestino delgado, e em média 85,9% dos ácidos nucléicos (Stormet al., 1983), 87-89% do RNA e 80-81% do DNA desapareceram no intestino delgado (McAllan, 1980; Storm et al., 1983). Barbosa et al. (2011) avaliaram a digestão e absorção intestinal de purinas microbianas em novilhas Nelore e estimaram o coeficiente de digestibilidade verdadeiro para o RNA de 0,93. Embora alta variabilidade possa ser observada na digestibilidade verdadeira das purinas dos microrganismos ruminais (Chen e Gomes, 1992, Orellana Boero et al., 2001, Tas e Susenbeth, 2007) o valor médio de 0,93 obtido do trabalho de Barbosa et al. (2011) parece ser o mais adequado para uso em animais zebuínos criados em condições brasileiras, sendo portanto considerado o valor padrão para esta edição do BR-CORTE.

No intestino delgado, os nucleotídeos das purinas são hidrolisados a nucleosídeos (adenosina, guanosina e inosina) e bases livres (adenina e guanina), que são quase que completamente absorvidas pela bomba dependente de sódio e potássio (McAllan, 1980). Em bovinos, a alta atividade da enzima xantina oxidase foi observada na mucosa intestinal e no plasma sanguíneo (Chen et al., 1990c), fazendo com que hipoxantina e xantina sejam praticamente degradadas de forma completa até ácido úrico, diferentemente de ovinos. No fígado, o ácido úrico é oxidado até alantoína pela enzima uricase (Tas e Susenbeth, 2007). Alantoína e ácido úrico não podem ser utilizados pelos tecidos e são excretados principalmente na urina, mas também no leite e na saliva (Tas e Susenbeth, 2007). Em bovinos, a alantoína é o principal derivado de purina (mais de 80% do total), enquanto que o restante é composto por ácido úrico e quantidades desprezíveis de xantina e hipoxantina (Chen et al., 1990c). Rennó et al. (2000), avaliando o perfil de excreção de derivados de purina em novilhas de corte, estimaram que a relação entre alantoína, ácido úrico e purinas totais é de, aproximadamente, 98%, o que indica que a concentração de xantina e hipoxantina em relação aos derivados de purinas seria em torno de 2%, e que esta contribuição seria irrisória no cálculo da produção de proteína microbiana. Dessa forma, o BR-CORTE não recomenda realizar análises de xantina e hipoxantina na urina de bovinos de corte.

d) Fração endógena de derivados de purina na urina

A fração endógena de derivados de purina na urina inclui a porção de derivados de purinas oriundos dos ácidos nucléicos originários da degradação dos tecidos animais (Chen e Gomes, 1992). A forma direta de mensuração da excreção de derivados de purinas de origem endógena é o uso de animais em jejum por longos períodos (Chen et al., 1990a; Verbic et al., 1990). Braga et al. (2012) submeteram a uma restrição alimentar novilhas Nelore para avaliar a perda endógena de derivados de purina, e encontraram contribuição endógena de 0,332 mmol/$PC^{0,75}$ e 0,384 g N/$PC^{0,75}$ para novilhas Nelore em crescimento.

Alternativamente, a fração endógena tem sido estimada como o intercepto da regressão linear entre excreção urinária de derivados de purina e bases purinas infundidas pós-rúmen. Prates et al. (2012) não observaram diferenças na fração endógena de derivados de purina na urina entre novilhas Nelore e Holandesas. Trabalhos realizados em condições tropicais (Barbosa et al., 2011 e Prates et al., 2012) com animais zebuínos sugeriram o uso de um valor médio de 0,30 mmol/$kg^{0,75}$ como valor da fração endógena de derivados de purinas na urina, que será utilizado como recomendação básica do BR-CORTE.

e) Utilização da alantoína urinária como único estimador da proteína microbiana ruminal

A proporção de alantoína excretada na urina em relação à soma total dos DPs, observada em alguns trabalhos de pesquisa nos últimos dez anos, é cerca de 85 a 92% (Rennó et al., 2000; Magalhães et al., 2005; Pina et al., 2006; Leal et al., 2007; Oliveira et al., 2007; Teixeira et al., 2007; Santos et al., 2010). Sendo assim, torna-se interessante para a comunidade científica o conhecimento da real relação entre esses metabólitos, e o ajuste de um modelo matemático capaz de predizer a concentração de ácido úrico excretado na urina. A partir de uma meta-análise envolvendo 38 experimentos (Apêndice 3.2) realizados no DZO-UFV (Tabela 3.6), verificou-se que a excreção diária de ácido úrico na urina pode ser estimada a partir da excreção diária de alantoína na urina ($P<0,05$), sendo:

$$AU\ (mmol/dia) = 0,1104 \times ALA;\ r^2 = 0,76$$

Em que AU é o total de ácido úrico excretado na urina e ALA é o total de alantoína excretada na urina (mmol/dia). Ao testar os parâmetros não se observou intercepto significativo ($P = 0,4398$), sendo assim foi apresentado o modelo linear sem intercepto.

Esses resultados sugerem que a alantoína pode ser utilizada como único preditor da produção de proteína microbiana em bovinos, sem a necessidade de análise do ácido úrico, havendo assim economia de reagentes para análise e menor tempo despendido com análises químicas para estimação da proteína microbiana ruminal.

Tabela 3.6 - Estatística descritiva dos dados utilizados para ajustar modelos de regressão linear para estimar a relação entre ácido úrico e alantoína excretados na urina de bovinos

	Alantoína (mmol/d)	Ácido úrico (mmol/d)	ALA:DP
Média	169	20,2	89,0
Mediana	129	13,5	90,4
DP	123	22,9	4,97
Mínimo	18,8	0,30	66,2
Máximo	864	322	99,8
n	1100	1100	1100
Exp	38	38	38

ALA:DP: Percentual de alantoína total em relação aos derivados de purina totais excretados na urina.

Predição do fluxo de proteína microbiana da dieta

Para conhecer as variáveis que influenciam efetivamente na produção de proteína microbiana em bovinos de corte em condições tropicais, procedeu-se uma meta-análise com o objetivo de estudar o efeito das características dos animais e das dietas sobre essa variável. Neste estudo, foram utilizados 32 trabalhos conduzidos no Brasil, usando dados de bovinos de corte e de leite (Tabela 3.7) bem como teses e dissertações concluídas no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (Apêndice 3.3), totalizando 2102 dados, em que se estudaram diferentes variáveis que poderiam interferir na produção de proteína microbiana ruminal.

Tabela 3.7 - Estatística descritiva dos dados utilizados para gerar modelos de regressão múltipla para estimação da produção da proteína microbiana em bovinos de corte em condições tropicais

Item[1]	n	Média	DP[2]	Max[3]	Min[4]
PBmic	2102	775	547	3008	66,8
CPB	2102	1,22	0,87	4,39	0,59
CMS(kg)	2102	8,52	5,31	23,8	1,76
PC (kg)	1563	368	125	737	65,3
CNDT	2102	6,22	3,74	16,8	0,83
CEM	2102	22,3	13,3	60,9	3,00
CMOd	1454	5,70	2,98	15,5	0,62

[1]Proteína microbiana em g/dia; Consumo de proteína bruta em kg/dia; Consumo de matéria seca em kg/dia; Consumo de nutrientes digestíveis totais em kg/dia; Consumo de energia metabolizável (Mcal/dia); Consumo de matéria orgânica digestível total em kg/dia; Valor médio; [2]Desvio padrão; [3]Máximo; [4]Mínimo.

Além disso, o banco de dados foi utilizado separadamente para avaliar quatro opções de atributos energéticos distintos em cada equação, todos associados ainda ao consumo de PB. Primeiramente estudou-se o efeito do consumo de nutrientes digestíveis totais (CNDT), em seguida avaliou-se o efeito do consumo de energia metabolizável (CEM), do consumo de matéria orgânica digerida total (CMOd) e por fim, o CNDT corrigido para EE (CNDTee). Assim, o banco de dados completo foi composto das variáveis acima classificadas de acordo com o experimento, grupo genético (Zebuínos, cruzados de corte, cruzados de leite e Holandês), classe sexual (macho não castrado, macho castrado, vaca e novilha) e método analítico (RNA, derivados de purina ou ^{15}N), que compuseram todos os efeitos estudados.

Os efeitos aleatórios como grupo genético, classe sexual e método analítico não foram significativos para nenhum dos modelos propostos ($P>0,05$) através de meta-análise. Uma vez estudados todos os efeitos e verificadas as variáveis que compuseram os modelos, utilizou-se o método *Cross Validation* (Duchesne & MacGregor, 2001) para estimar os parâmetros de cada regressão linear e quadrática. Optou-se pelo polinômio quadrático uma vez que a produção microbiana não se comporta de forma linear e em teoria atingirá um platô. Sendo assim, as seguintes equações foram obtidas:

$$PBmic = - 53,07 + 304,9 \times CPB + 90,8 \times CNDT – 3,13 \times CNDT^2$$

$$PBmic = - 84,87 + 328,7 \times CPB + 28,3 \times CEM – 0,25 \times CEM^2$$

$$PBmic = - 93,62 + 381,7 \times CPB + 90,7 \times CMOd – 3,13 \times CMOd^2$$

O banco de dados utilizado para estimar as equações anteriores foi formado por dados que apresentavam, em média, 2,83% (± 1,03) de EE (extrato etéreo) na dieta. No entanto, a exemplo do NASEM (2016), o BR-CORTE (2016) desenvolveu uma equação para estimar a síntese de proteína microbiana para altos valores de EE:

$$PBmic = - 43,13 + 376,8 \times CPB + 90,9 \times CNDTee – 3,22 \times CNDTee^2$$

em que: PBmic é a síntese de proteína microbiana, CPB é o consumo de proteína bruta, CNDTee é o consumo de nutrientes digestíveis totais corrigido para EE.

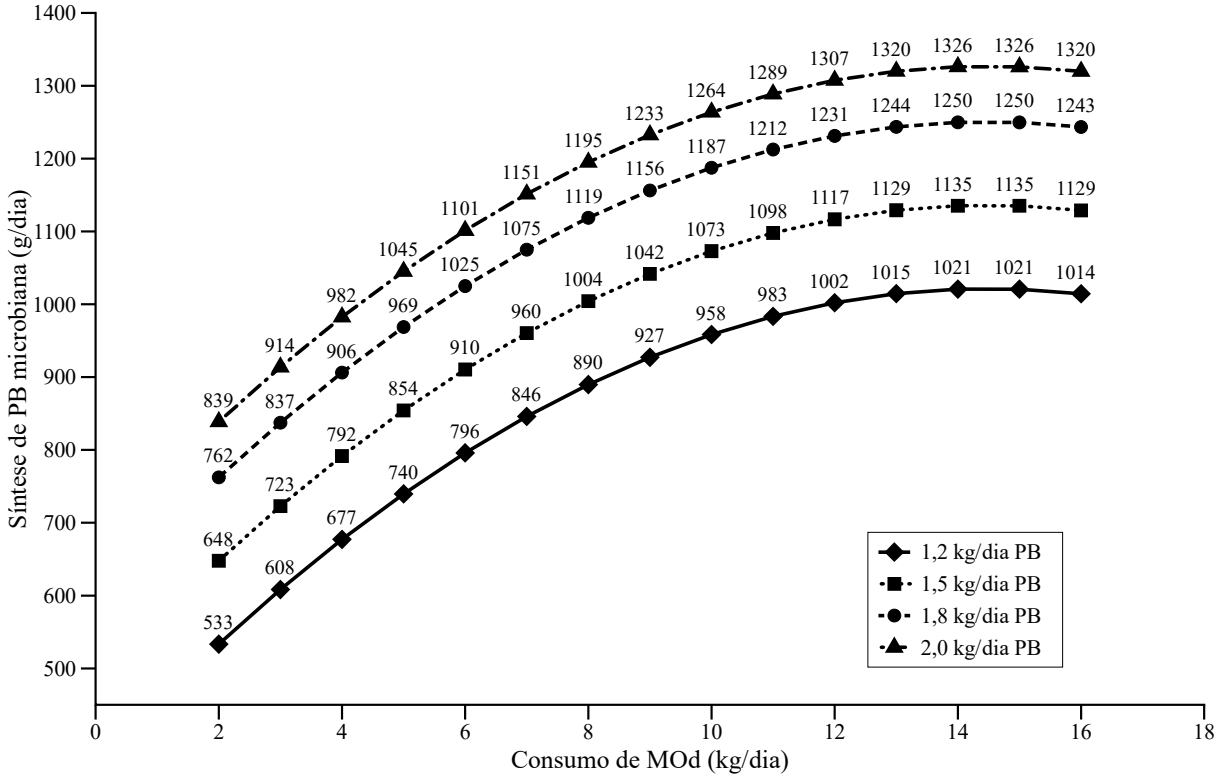


Figura 3.3 - Simulação das estimativas da síntese de PBmic ruminal (g/dia) utilizando a equação PBmic = - 93,62 + 381,7 × CPB + 90,7 × CMOd – 3,13 × $CMOd^2$, utilizando quatro valores de consumo de PB (1,2; 1,5; 1,8 e 2,0 kg/dia) em função do CMOd (kg/dia).

O NASEM (2016) também sugere uma equação para estimar a síntese de proteína microbiana corrigida para EE ao se utilizar dietas com teor de EE acima de 3,9%. No Brasil, a maioria das dietas para bovinos de corte é formulada para conter teores inferiores a esse. No entanto, caso se utilize dietas com alto teor de EE, pode-se utilizar a equação desenvolvida pelo BR-CORTE, que foi gerada a partir de um banco de dados contendo 1437 animais em condições tropicais.

Para verificar a qualidade da predição realizada pelas equações ajustadas, procedeu-se um processo de validação utilizando dados da literatura (Apêndice 3.4) referentes a experimentos já publicados em diversos periódicos (Tabela 3.8). Foram utilizados alguns critérios para utilização de artigos, sendo que foram retiradas médias de tratamentos de trabalhos que (1) foram executados no Brasil, (2) foram executadas com animais Nelore ou cruzados com Nelore, (3) foram publicados a partir de 2017 em revistas com JCR, (4) continham as variáveis descritas na equações testadas e, (5) apresentaram valores de resíduos padronizados para predito e observado entre -4 e 4.

Nota-se que não houve efeito significativo ($P > 0,05$) para o teste de Mayer para todas as variáveis estudadas no procedimento de validação (Tabela 3.9), o que indica que os dados preditos através dos modelos propostos são iguais aos observados no conjunto de dados da literatura (Figura 3.4). Os valores de CCC e RMSE também são próximos entre as equações propostas. A equação proposta para CEM foi a que apresentou maior QMEP, com menor percentual de erros aleatórios, isso indicada que a qualidade da predição desse modelo é ligeiramente inferior aos demais. O mesmo pode ser dito ao analisar o desvio médio de -25,7 g ($P = 0,09$), que foi maior ao desvio calculado para os demais modelos. Sendo assim, recomenda-se que a estimativa da PBmic ruminal deve ser realizada a partir do CEM apenas quando não houver a disponibilidade dos valores de CNDT e CMOd, que se mostraram mais acurados e precisos para predição, quando comparados àqueles obtidos a partir do CEM.

Tabela 3.8 - Estatística descritiva dos dados coletados na literatura para validação de modelos de regressão múltipla para estimação da produção da proteína microbiana em bovinos de corte em condições tropicais

Item[1]	Min	Max	Média	DP	N
PBmic	225,6	1025,0	533,4	182,1	66
CNDT	2,3	7,7	4,3	1,2	66
CMOd	2,1	7,4	4,1	1,1	66
CPB	0,4	1,4	0,8	0,2	66
CEM	9,9	34,0	18,9	5,2	66

[1]Proteína microbiana em g/dia; Consumo de nutrientes digestíveis totais em kg/dia; Consumo de matéria orgânica digestível total em kg/dia; Consumo de proteína bruta (kg/dia); Consumo de energia metabolizável (Mcal/dia);Valor médio; [2]Desvio padrão; [3]Máximo; [4]Mínimo.

As equações propostas para determinação da proteína microbiana podem ser utilizadas para cálculo desta fração considerando diferentes cenários (Figura 3.3) em que há variação tanto do consumo de PB quanto da energia, e tais equações são utilizadas neste sistema para empregar a transformação das exigências de proteína líquida e metabolizável em exigências de PDR e PNDR, bem como na estimativa das exigências de proteína bruta em diferentes grupos de bovinos de corte.

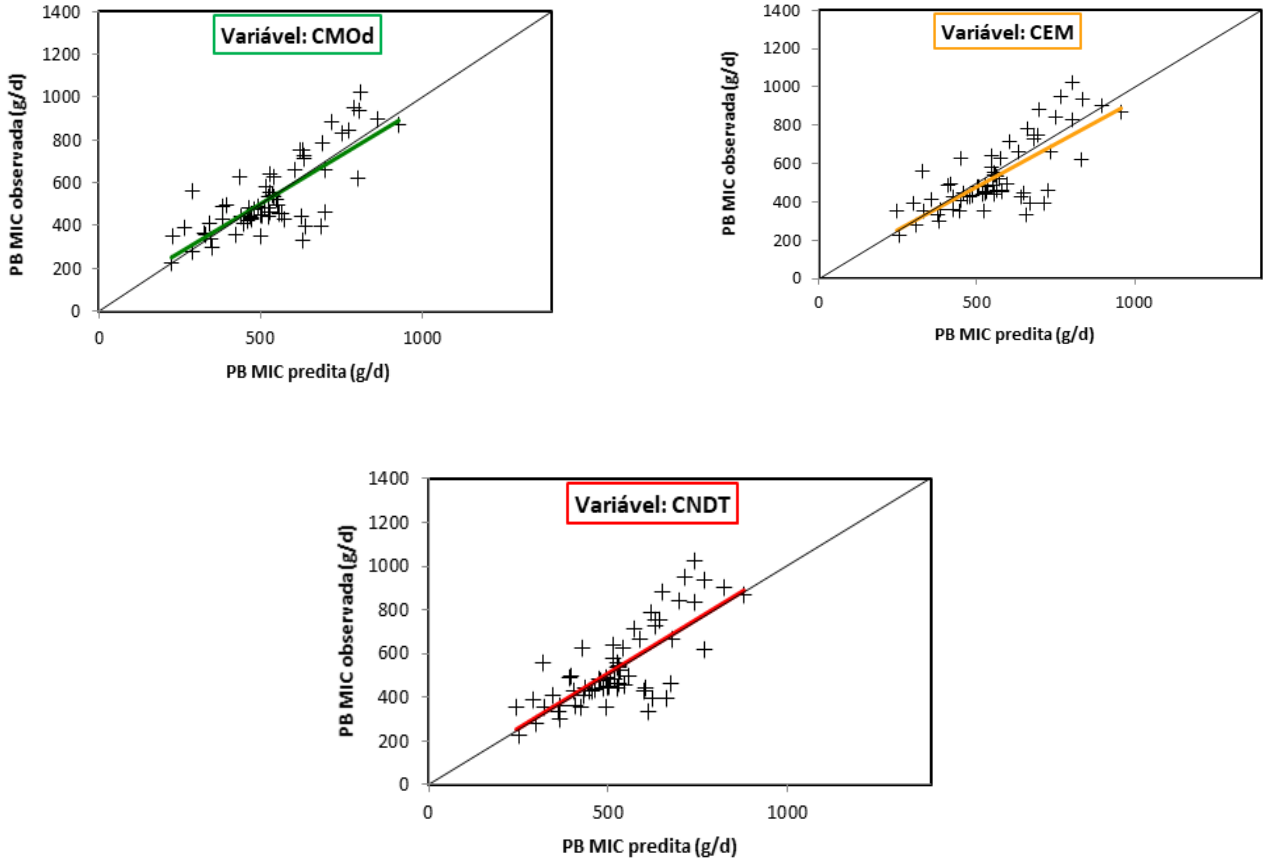


Figura 3.4 - Valores de PBmic observados e preditos a partir das equações propostas a partir do CMOd, CEM e CNDT em bovinos de corte

Tabela 3.9 - Validação de modelos preditos para determinação da PBmic (g/dia) em bovinos de corte, a partir do consumo de PB e consumo de energia em três diferentes apresentações (NDT, MOd e EM), utilizando médias de tratamento de 16 trabalhos publicados (n= 66) coletados da literatura

Item1	CNDT	CMOd	CEM
Teste de Mayer			
Intercepto	5,39	46,5	31,89
Inclinação	1,01	0,91	0,89
P-valor	0,85	0,61	0,13
RMSE	117,9	113,6	121,4
CCC	0,73	0,77	0,74
QMEP	13909	12914	22704
Vício médio %	0,50	0,02	4,5
Vício sistemático %	0,01	1,52	1,7
Erros aleatórios %	99,5	98,5	93,81
Média predita			
Desvio médio	-8,06	1,79	-25,7

RESUMO DE EQUAÇÕES

- **Estimação da contaminação microbiana de volumosos incubados *in situ:***
  - $A_{PB}CC = 1{,}99286 + 0{,}98256 \times A_{PB}SC$
  - $B_{PB}CC = -17{,}2181 - 0{,}0344 \times B_{PB}SC + 0{,}65433 \times PB + 1{,}03787 \times FDN + 2{,}66010 \times PIDN - 0{,}85979 \times FDNi$
  - $kd_{PB}CC = 0{,}04667 + 0{,}35139 \times B_{PB}SC + 0{,}0020 \times PB - 0{,}00055839 \times FDN - 0{,}00336 \times PIDN + 0{,}00075089 \times FDNi$
  - $\%C = 79{,}21 \times (1 - e^{-0{,}0555t}) \times e^{-0{,}0874PB}$
- **Correção nas estimativas da PBMic estimadas a partir de ensaios com sistema de indicador único e duplo:**
  - $NMcorrigido\ (g/dia) = 49{,}71 + 0{,}66\ NMúnico$
  - $NMcorrigido\ (g/dia) = 43{,}04 + 0{,}71\ NMdúplo$
- **Fração endógena de derivados de purinas na urina em zebuínos: 0,30 mmol/kg^{0,75}**
- **Excreção diária de ácido úrico na urina a partir da excreção diária de alantoína na urina**
  - $AU\ (mmol/dia) = 0.1104 \times ALA$
- **Estimação da excreção diária de creatinina na urina em bovinos:**
  - $ECU\ (mg/dia) = 66{,}2158 \times PC^{0{,}8384}$;
- **Predição do fluxo de PBmic para o intestino delgado:**
  - $PBmic = -53{,}07 + 304{,}9 \times CPB + 90{,}8 \times CNDT - 3{,}13 \times CNDT^2$
  - $PBmic = -84{,}87 + 328{,}7 \times CPB + 28{,}3 \times CEM - 0{,}25 \times CEM^2$

$PBmic = -93{,}62 + 381{,}7 \times CPB + 90{,}7 \times CMOd - 3{,}13 \times CMOd^2$

REFERÊNCIAS

Barbosa, A. M.; Valadares, R. F.; ValadareS Filho, S. C.; Pina, D. S.; Detmann, E.; and Leao, M. I. 2011. Endogenous fraction and urinary recovery of purine derivatives obtained by different methods in Nellore cattle. *Journal of Animal Science 89*:510-519.

Bowen, M. K.; Poppi, D. P.; MClennan, S. R.; and Doogan, V. J. 2006. A comparison of the excretion rate of endogenous purine derivatives in the urine of Bos indicus and Bos taurus steers. *Australian Journal of Agricultural Research 57*:173-177.

Braga, J.M.D.S., Valadares, R.F.D., Pellizzoni, S.G., Valadares Filho, S.D.C., Prates, L.L. and Costa e Silva, L.F., 2012. Estimation of endogenous contribution and urinary excretion of purine derivatives from the total digestible nutrient intake in Nellore heifers. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:1899-1906.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F., Gionbelli, M. P., Rotta, P. P., Marcondes, M. I., Chizzotti, M. L. *Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle – BR-CORTE*, 3 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2016.

Broderick, G. A.; and Cochran, R. C. 2000. In vitro and in situ methods for estimating digestibility with reference to protein degradability. In: Theodorou, M.K. and France, J. (eds) *Feeding Systems and Feed Evaluation models.* CAB International, Wallingford, UK, pp. 53–85.

Broderick, G. A.; and Merchen, N. R. 1992. Markers for Quantifying Microbial Protein Synthesis in the Rumen1. *Journal of Dairy Science 75*:2618-2632.

Cabral, L.S., de Campos Valadares Filho, S., Zervoudakis, J.T., de Souza, A.L. and Detmann, E., 2005. Degradabilidade in situ da matéria seca, da proteína bruta e da fibra de alguns alimentos. *Pesquisa agropecuária brasileira,* Brasília, 40(8), pp.777-781.

Casali, A. O. et al. 2008. Influência do tempo de incubação e do tamanho de partículas sobre os teores de compostos indigestíveis em alimentos e fezes bovinas obtidos por procedimentos in situ. *Revista Brasileira de Zootecnia* 37: 335-342.

Casalmiglia, S., e M. D. J. Stern. 1995. A three-step in vitro procedure for estimating intestinal digestion of protein in ruminants. *Journal Animal Science*. 73:1459-1465.

Chen, X. B.; and Gomes, M. J. 1992. *Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives* - an overview of the technical details. Bucksburnd Aberdeen:Rowett Research Institute, 21p.

Chen, X. B.; and Ørskov, E. R. 2003. *Research on urinary excretion of purine derivatives on ruminants: past, present and future.* International Feed Research Unit, United Kingdom. p. 1 – 34.

Chen, X. B.; Hovell, F. D. D.; Orskov, E. R.; and Brown, D. S. 1990 a. Excretion of purine derivatives by ruminants: effect of exogenous nucleic acid supply on purine derivative excretion by sheep. *British Journal of Nutrition* 63:131-142

Chen, X. B.; Mathieson, J.; Hovell, F. D. D.; and Reeds, P. J. 1990 b. Measurement of purine derivatives in urine of ruminants using automated methods. *Journal of Scientific Food Agriculture 53*:23-33.

Chen, X. B.; Orskov, E. R.; and Hovell, F. D. D. 1990 c. Excretion of purine derivatives by ruminants: endogenous excretion, differences between cattle and sheep. *British Journal of Nutrition 63*:121-129.

Duchesne, C., MacGregor, J.F. 2001. Jackknife and bootstrap methods in the identification of dynamic models. *Journal Process Control 11*: 553–564.

Faichney, G. J. 1980. Measurements in sheep of the quantity and composition of rumen digesta and the fractional outflow rates of digesta constituents. *Australian Journal of Agricultural Research 31*:1129-1137.

Firkins, J. L. 1996. Maximizing microbial protein synthesis in the rumen. *The Journal of nutrition* 126:1347S-1354S.

Fox, D. G.; Tylutki, T. P.; Van Amburgh, M. E.; Chase, L. E.; Pell, A. N.; Overton, T. R.; Tedeschi, L. O.; Rasmussen, C. N.; Durbal, V. M. The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion (*AnSci Mimeo* 213 Ed.). Animal Science Department, Cornell University, Ithaca, NY, 2000.

France, J.; López, S.; Dijkstra, J.; and Dhanoa, M. S. 1997. Particulate matter loss and the polyester-bag method. *British Journal of Nutrition 78*, 1033–1037.

France, J.; Thornley, J. H. M.; López, S., Siddons, R. C.; Dhanoa, M. S.; Van Soest, P. J.; and Gill, M. 1990. On the two-compartment model for estimating the rate and extent of feed degradation in the rumen. *Journal of Theoretical Biology 146*, 269–287.

Harper, H. A.; Rodwell, V. W.; Mayes, P. A. *Manual de Química Fisiológica*. 28° ed. São Paulo: Atheneu. 2013. 736p.

Higgs, R. J.; Chase, L. E.; Ross, D. A.; Van Amburgh, M. E. Updating the Cornell Net Carbohydrate and Protein System feed library and analyzing model sensitivity to feed inputs. *Journal of Dairy Science*, 98:6340-6360, 2015.

Huntington, J. A.; and Givens, D. I. 1995. The in situ technique for studying the rumen degradation of feeds: a review of the procedure. Nutrition Abstracts and Reviews Series B. *Livestock Feeds and Feeding* 65, 63–93.

Hvelplund, T. and Weisbjerg, M.R., 2000. In Situ Techniques for the Estimation of Protein Degradability and Postrumen. *Forage evaluation in ruminant nutrition*, p.233.

Ipharraguerre, I. R.; Reynal, S. M.; Lineiro, M.; Broderick, G. A. A comparison of sampling sites, digesta and microbial markers, and microbial references for assessing the post ruminal supple of nutrients in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 90:1904–1919, 2007.

Koren, A. Creatinine urine. *Medical encyclopedia*, 2000.

Krizsan, S. J.; Ahvenjärvi, S.; Volden, H.; Broderick, G. A. Estimation of rumen outflow in dairy cows fed grass silage-based diets by use of reticular sampling as an alternative to sampling from the omasal canal. *Journal of Dairy Science*, 93:1138–1147, 2010.

Leal, T. L.; Valadares, R. F. D.; Valadares Filho, S. C.; Leão, M. I.; Detmann, E.; Barbosa, A. M.; Chizzotti, M. L.; Paixão, M. L. 2007. Daily variation in the excretion of creatinine and purine derivatives in steers. *Revista Brasileira de Zootecnia 36*:896-904.

Ling, J. R.; Buttery, P. J. 1978. The simultaneous use of ribonucleic acid, 35S, 2,6-diaminopimelic acids and 2-aminoethylphosphonic acid as markers for microbial nitrogen entering the duodenum of sheep. *British Journal of Nutrition 39*:165.

López, S. 2005. In vitro and in situ techniques for estimating digestibility. In: Djistra, J.; Forbes, J. M.; and France, J. (eds) *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism,* 2nd edn. CAB International, Wallingford, UK, pp.87-121.

López, S. 2008. Non-linear functions in animal nutrition. *Mathematical Modelling in Animal Nutrition* 47-88.

López, S.; France, J.; and Dhanoa, M.S. 1994. A correction for particulate matter loss when applying the polyester-bag method. *British Journal of Nutrition* 71:135–137

López, S.; France, J.; Dhanoa, M.; Mould, F.; and Dijkstra J. 1999. Comparison of mathematical models to describe disappearance curves obtained using the polyester bag technique for incubating feeds in the rumen. *Journal of Animal Science* 77:1875-1888

Machado, P. A. S.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Santos, S. A.; Valadares, R. F.. D.; Ducatti, C.; Rotta, P. P.; and Silva, L. F. C. 2013. Development of equations to estimate microbial contamination in ruminal incubation residues of forage produced under tropical conditions using n as a label. *Journal of Animal Science* 91: 3836-3846.

Magalhães, K. A. et al. 2005. Produção de proteína microbiana, concentração plasmática de uréia e excreções de uréia em novilhos alimentados com diferentes níveis de uréia ou casca de algodão. *Revista Brasileira de Zootecnia* 34: 1400-1407.

Mariz, L. D. S., Amaral, P. D. M., Valadares Filho, S. D. C., Santos, S. A., Marcondes, M. I., Prados, L. F., and Faciola, A. P. (2018). Dietary protein reduction on microbial protein, amino acids digestibility, and body retention in beef cattle. I. Digestibility sites and ruminal synthesis estimated by purine bases and 15N as markers. *Journal of Animal Science*, 96, 2453-2467.

Martins, A.S., Zeoula, L.M., do Prado, I.N. and Nunes, E., 1999. Degradabilidade ruminal in situ da matéria seca e proteína bruta das silagens de milho e sorgo e de alguns alimentos concentrados. *Revista Brasileira de Zootecnia* 28(5), pp.1109-1117.

Mayer, D.; Stuarte, M.; Swain, A. 1994. Regression of real-world data on model output: An appropriate overall test of validity. *Agricultural Systems* 45: 93-104.

Menezes, A. C. B., Filho, S. V., Rotta, P. P., Santos, S. A., Pacheco, M. V. C., Silva, B. C., ... & Caton, J. S. (2017). Does microbial nitrogen contamination affect the estimation of crude protein degradability of concentrate feeds?. *Journal of Animal Science*, 95(9), 4164-4171.

Menezes, A. C. B., Valadares Filho, S.C., Pucetti, P., C. Pacheco, M. V, Godoi, L. A., Zanetti, D., Alhadas, H. M; Paulino, M. F, Caton, J. S. Oscillating and static dietary crude protein supply: II. Energy and protein requirements of young Nellore bulls. *Translational Animal Science*, v. 3, p. 1216-1226, 2019.

Mcalian, A. B.; Smith, R. H. 1973. Degradation of nucleic acids in the rumen. *British Journal of Nutrition* 29:331-345.

Mcallan, A. B. 1980. The degradation of nucleic acids in, and the removal of breakdown products from the small intestines of steers. *British Journal of Nutrition* 44:99-112.

Michalet-Doreau, B.; and Ould-Bah, M.Y. 1992. In vitro and in sacco methods for the estimation of dietary nitrogen degradability in the rumen: a review. *Animal Feed Science and Technology* 40, 57–86.

NASEM. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016. *Nutrient requirements of beef cattle*. 8th revised edition. National Academy Press, Washington DC, USA.

National Research Council. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC

Nocek, J. E. 1988. In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: A review. *Journal of dairy science* 71: 2051-2069.

Nocek, J. E. 1997. *In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review*. In: Teixeira, J. C. (Ed.) Digestibilidade em ruminantes. Lavras: FAEPE, p.197-240.

Nocek, J. E.; and Grant. A. L. 1987. Characterization of in situ nitrogen and fiber digestion and bacterial nitrogen contamination of hay crop forages preserved at different dry matter percentages. *Journal of Animal Science* 64: 552-564.

Oliveira, A. S.; Campos, J. M. S.; Valadares Filho, S. C.; Assis, A. J.; Teixeira, R. M. T.; Rennó, L. N.; Pina, D. S.; and Oliveira, G. S. 2007. Substituição do milho pela casca de café ou de soja em dietas para vacas leiteiras: Comportamento ingestivo, concentração de nitrogênio uréico no plasma e no leite, balanço de compostos nitrogenados e produção de proteína microbiana. *Revista Brasileira Zootecnia* 36: 205-215.

Oliveira, A. S.; Valadares, R. F. D.; Valadares Filho S. C.; Cecon, P. R.; Rennó, L. N.; Queiroz, A. C.; and Chizzotti, M. L. 2001. Produção de proteína microbiana e estimativas das excreções de derivados de purinas e de uréia em vacas lactantes alimentadas com rações isoprotéicas contendo diferentes níveis de compostos nitrogenados não-protéicos. *Revista Brasileira de Zootecnia* 30:1145-1152.

Orellana Boero, P.; Balcells, J.; Martín-Orúe, S. M.; Liang, J. B.; and Guada, J. A. 2001. Excretion of purine derivatives in cows: endogenous contribution and recovery of exogenous purine bases. *Livestock Production Science* 68:243-250.

Ørskov, E. R.; McDonald, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science*, 92:499-503, 1979.

Ørskov, E. R.; Hovell, F. D.; De, B.; and Mould, F. 1980. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Tropical Animal Production* 5:195–213.

Pereira, V. S. A. 2009. *Influência do peso corporal e das características de carcaça sobre a excreção de creatinina e utilização de coleta spot de urina para estimar a excreção de derivados de purinas e de compostos nitrogenados em novilhas Nelore.* Dissertação – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

Pina, D. S.; Valadares Filho, S. C.; Valadares, R. F. D.; Detmann, E.; Campos, J. M. S.; Fonseca, M. A.; Teixeira, R. M. A.; and Oliveira, A. S. 2006. Estimation of microbial protein synthesis and urea nitrogen metabolism in lactating dairy cows fed diets supplemented with different protein sources. *Revista Brasileira de Zootecnia* 35:1552-1559.

Pires, A. J. V.; Reis, R. A.; Carvalho, G. G. P. D.; Siqueira, G. R.; Bernardes, T. F.; Ruggieri, A. C.; Almeida, E. D. O.; Roth, M. D. T. P. Degradabilidade ruminal da matéria seca, da fração fibrosa e da proteína bruta de forrageiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41:643-648, 2006.

Prates, L. L., Valadares, R. F. D., Valadares Filho, S. C., Detmann, E., Ouellet, D. R., Batista, E. D., ... & Silva, B. C. (2017). Investigating the effects of sex of growing Nellore cattle and crude protein intake on the utilization of recycled N for microbial protein synthesis in the rumen by using intravenous 15N15N-urea infusion. *Animal Feed Science and Technology*, 231, 119-130.

Prates, L. L.; Valadares, R. F. D.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Santos, S. A.; Braga, J. M. S.; Pellizzoni, S. G.; and Barbosa, K. S. 2012. Endogenous fraction and urinary recovery of purine derivatives in Nellore and Holstein heifers with abomasal purine infusion. *Livestock Science* 150:179-186.

Puchala, R., and Kulasek, G. 1992. Estimation of microbial protein flow from the rumen of sheep using microbial nucleic acid and urinary excretion of purine derivatives. *Canadian Journal of Animal Science* 72: 821-830.

Rennó, L. N., Valadares, R. F. D.; and Leão, M. I. 2000. Estimativa da produção de proteína microbiana pelos derivados de purinas na urina em novilhos. *Revista Brasileira de Zootecnia* 29: 1223-1234.

Reynal, S. M.; Broderick, G. A.; Bearzi, C. Comparison of four markers for quantifying microbial protein flow from the rumen of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88:4065–4082, 2005.

Rotta, P. P.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Costa e Silva, L. F.; Paulino, M. F.; Marcondes, M. I.; Lobo, A. A.; and Villadiego, F. A. 2014a. Digesta sampling sites and marker methods for estimation of ruminal outflow in bulls fed different proportions of corn silage or sugarcane. *Journal of Animal Science* 92: 2996-3006.

Rotta, P. P.; Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F.; Detmann, E.; Villadiego, F. A.; Engle, T. E.; Valadares, R. F. D.; Silva, B. C.; M. V. C. Pacheco.; and Zanetti, D. 2014b. Comparison of purine bases and 15 n for quantifying microbial nitrogen yield using three marker systems and different sampling sites in zebu cross breed bulls. *Livestock Science* 167: 144-153.

Santos, S. A.; Campos, J. M.; Valadares Filho, S. C.; Oliveira, A. S.; Souza, S. M.; and Santiago, A. M. F. 2010. Balanço de nitrogênio em fêmeas leiteiras em confinamento alimentadas com concentrado à base de farelo de soja ou farelo de algodão. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39: 1135-1140.

Schwab, C. G.; Tylutki, T. P.; and Ordway, R. S. 2003. Characterization of proteins in feeds. *Journal of Dairy Science* 86:88–103.

Seo, S.; Tedeschi, L. O.; Lanzas, C.; Schwab, C. G.; Fox, D. G. Development and evaluation of empirical equations to predict feed passage rate in cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 128:67-83, 2006.

Silva Júnior, J. M., Rennó, L. N., Valadares Filho, S. C., Paulino, M. F., Detmann, E., Menezes, G. C. C., Martins, T. S., Paula, R. M., Rodrigues, J. P. P., & Marcondes, M. I. (2018). Evaluation of col-lection days and times to estimate urinary excretion of purine derivatives and nitrogen compounds in grazing Nellore cattle. *Livestock Science*, 217, 85– 91.

Silva Júnior, J. M., Rodrigues, J. P. P., Valadares Filho, S. D. C., Detmann, E., Paulino, M. F., & Rennó, L. N. (2021). Estimating purine derivatives and nitrogen compound excretion using total urine collection or spot urine samples in grazing heifers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 105(5), 861-873.

Sniffen, C. J.; O'Connor, J. D.; Van Soest, P. J.; Fox, D. G.; Russell, J. B. A net carbohydrate and protein system for evaluating diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, 70:3562-3577, 1992.

Storm, E., Brown, D. S., & Ørskov, E. R. (1983). The nutritive value of rumen micro-organisms in ruminants: 3. The digestion of microbial amino and nucleic acids in, and losses of endogenous nitrogen from, the small intestine of sheep. *British Journal of Nutrition*, 50(2), 479-485.

Susmel, P.; Stefanon, B.; Plazzotta, E.; Spanghero, M.; and Mills, C. R. 1994. The effect of energy and protein intake on the excretion of purine derivatives. *The Journal of Agricultural Science* 123:257-265.

Tamminga, S.; and Chen, X. B. 2000 Animal based techniques for the estimation of protein value of forages. In: Givens, D. I.; Owen, E.; Axford, R. F. E., et al. (Ed). *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*, Wallingford: CABI Publishing, p. 215-232.

Tas, B. M.; and Susenbeth, A. 2007. Urinary purine derivates excretion as an indicator of in vivo microbial N flow in cattle: A review. *Livestock Science* 111:181-192.

Teixeira, R. M. A.; Campos, J. M. S.; Valadares Filho, S. C.; Valadares, R. F. D.; Oliveira, A. S.; Pina, D. S. 2007. Balanço de compostos nitrogenados e produção de proteína microbiana em novilhas leiteiras alimentadas com casca de café em substituição à silagem de milho. *Revista Brasileira de Zootecnia* 36:1691-1698.

Topps, J. H.; Elliott, R. C. 1965. Relationship between Concentrations of Ruminal Nucleic Acids and Excretion of Purine Derivatives by Sheep. *Nature* 205:498-499.

Ushida, K.; Lassalas, B.; Jouany, J. P. 1985. Determination of assay parameters for RNA analysis in bacterial and duodenal samples by spectrophotometry: Influence of sample treatment and preservation. *Reproduction, Nutrition and Development* 25:1037- 1046.

Vagnoni, D. B., Broderick, G. A., Clayton, M. K., & Hatfield, R. D. (1997). Excretion of purine derivatives by Holstein cows abomasally infused with incremental amounts of purines. Journal of Dairy Science, 80(8), 1695-1702.

Valadares, R. F.; Broderick, G. A.; Valadares Filho, S. C.; and Clayton, M. K. 1999. Effect of replacing alfalfa silage with high moisture corn on ruminal protein synthesis estimated from excretion of total purine derivatives. *Journal of Dairy Science* 82:2686-2696.

Van Milgen, J.; Murphy, M.; and Berger, L. 1991. A compartmental model to analyze ruminal digestion. Journal of Dairy Science 74:2515-2529.

Vanzant, E. S.; Cochran, R. C.; and Titgemeyer, E. C. 1998. Standardization of in situ techniques for ruminant feedstuff evaluation. *Journal of Animal Science* 76:2717-2729.

Verbic, J.; Chen, X. B.; Macleod, N. A.; and Ørskov, E. R. 1990. Excretion of purine derivatives by ruminants. Effect of microbial nucleic acid infusion on purine derivative excretion by steers. *The Journal of Agricultural Science* 114:243-248.

Waldo, D. R.; Smith, L. W.; and Cox, E. L. 1972. Model of cellulose disappearance from the rumen. *Journal of Dairy Science* 55:125–129.

Weisbjerg, M.R., Bhargava, P.K., Hvelplund, T. and Madsen, J. (1990) Anvendelse af Nedbrydningsprofiler i Fodermiddelvurderingen. Beretning, 679, Statens Husdyrbrugsforsøg, Foulum, Denmark, 33 pp.

APÊNDICES

Apêndice 3.1

Azevêdo, J.A.G., Valadares Filho, S.C., Pina, D.S., Detmann, E., Valadares, R.F.D., Pereira, L.G.R., Souza, N.K.P., and Costa e Silva, L.F., 2011. Intake, total digestibility, microbial protein production and the nitrogen balance in diets with fruit by-products for ruminants, Revista Brasileira de Zootecnia, 40, 1052-1060.

Barbosa, A.M.; Valadares, R.F.D.; Valadares Filho, S.C., Véras, R.M.L., Leão, M.I., Detmann, E., Paulino, M.F., Marcondes, M.I., and Souza, M.A., 2006. Effect of urinary collection days, concentrate levels and protein sources on creatinine, urea and purine derivatives excretions and microbial protein synthesis in Nellore cattle, Revista Brasileira de Zootecnia, 35, 870-877.

Barbosa, A.M., Valadares, R.F.D., Valadares Filho, S.C., Pina, D.S., Detmann, E., and Leão, M.I., 2011. Endogenous fraction and urinary recovery of purine derivatives obtained by different methods in Nellore cattle, *Journal of Animal Science*, 89, 510-519.

Chizzoti, M.L., Valadares Filho, S.C., Leão, M.I., Valadares, R.F.D., Chizzotti, F.H.M., Magalhães, K.A., and Marcondes, M.I., 2005. Partial replacement of elephant grass silage with cottonseed hulls. 2. Ruminal and serum metabolites, microbial protein synthesis, and urinary excretion of nitrogenous compounds in steers, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34, 2103-2111.

Chizzotti, M.L., Valadares Filho, S.C., Valadares, R.F.D., Chizzotti, F.H.M., Marcondes, M.I., and Fonseca, M.A., 2007. Intake, digestibility and nitrogen metabolism in Holstein cows with different milk production levels, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 138-146.

Chizzotti, M.L., Valadares Filho, S.C., Valadares, R.F.D., Chizzotti, F.H.M., Campos, J.M.S., Marcondes, M.I., and Fonseca, M.A., 2006. Intake, digestibility and urinary excretion of urea and purine derivatives in heifers with different body weights, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35, 1813-1821.

Diniz, L.L., Valadares Filho, S.C., Oliveira, A.S., Pina, D.S., Silva, L.D., Benedeti, P.B, Baião, G.F., Campos, J.M.S., and Valadares, R.F.D., 2011. Castor bean meal for cattle finishing: nutritional parameters, *Livestock Science*, 135, 153-167.

Gionbelli, M.P., Valadares Filho, S.C., Detmann, E., Paulin, P.V.R., Valadares, R.F.D., Santos, T.R., Costa e Silva, L.F., and Magalhães, F.A., 2012. Intake, performance, digestibility, microbial efficiency and carcass characteristics of growing Nellore heifers fed two concentrate levels, Revista Brasileira de Zootecnia, 41, 1243-1252.

Leal, T.L., Valadares, R.F.D., Valadares Filho, S.C., Campos, J.M.S., Detmann, E., Barbosa, A.M., Teixeira, R.M.A., and Marcondes, M.I., 2007a. Daily variation in the urinary excretion of creatinine and purine derivatives in heifers, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 905-911.

Leal, T.L., Valadares, R.F.D., Valadares Filho, S.C., Leão MI, Detmann E, Barbosa AM, Chizzotti ML, and Paixão ML., 2007b. Daily variation in the excretion of creatinine and purine derivatives in steers, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 896-904.

Oliveira, A.S., Valadares, R.F.D., Valadares Filho, S.C., Cecon, P.R., Rennó, L.N., Queiroz, A.C., Chizzotti, M.L., 2001a. Microbial Protein Production, Purine Derivatives and Urea Excretion Estimate in Lactating Dairy Cows Fed Isoprotein Diets with Different Non Protein Nitrogen Compounds Levels, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30, 1621-1629.

Oliveira, A.S., Valadares, R.F.D., Valadares Filho, S.C., Cecon, P.R., Oliveira, G.A., Silva, R.M.N., and Costa, M.A.L., 2001b. Intake, apparent digestibility, milk composition and production of lactating cows fed four non-protein nitrogen compounds levels, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30, 1358-1366.

Pellizzoni, S.G., 2011. *Estimativa da excreção urinária de derivados de purinas a partir do consumo de NDT e determinação da contribuição endógena em vacas de leite*, (unpublished Master Dissertation, Federal University of Viçosa, Brazil.

Pereira, M.L.A., Valadares Filho, S.C., Valadares, R.F.D., Campos, J.M.S., Leão, M.I., Pereira, C.A.R., Pina, D.S., and Mendonça, S.S., 2005. Intake, Total Apparent Digestibility, Milk Production and Composition in Early Lactation Cows Fed with Increasing Levels of Crude Protein in the Concentrate, *Revista Brasileira de Zootecnia,* 34, 1029-1039.

Pereira, V.S.A., 2009. *Influência do peso corporal e das características de carcaça sobre a excreção de creatinina e utilização de coleta spot de urina para estimar a excreção de derivados de purinas e de compostos nitrogenados em novilhas nelore*, (unpublished Master Dissertation, Federal University of Viçosa, Brazil).

Prates, L. L., Valadares, R. F. D., Valadares Filho, S. C., Detmann, E., Ouellet, D. R., Batista, E. D., Silva, B. C., 2017. Investigating the effects of sex of growing Nellore cattle and crude protein intake on the utilization of recycled N for microbial protein synthesis in the rumen by using intravenous 15N15N-urea infusion. *Animal Feed Science and Technology*, 231, 119-130.

Silva, F. A. S., Valadares Filho, S. C., Detmann, E., Santos, S. A., Godoi, L. A., Silva, B. C., ... & Rotta, P. P., 2016. Effect of different forage types and concentrate levels on energy conversion, enteric methane production, and animal performance of Holstein× Zebu heifers. *Animal Production Science*, 57, 2042-2050.

Silva, F. A. S., Valadares Filho, S. C., Godoi, L. A., Silva, B. C., Pacheco, M. V. C., Zanetti, D., Felix, T. L., 2020. Effect of duration of restricted-feeding on nutrient excretion, animal performance, and carcass characteristics of Holstein× Zebu finishing steers. *Animal Production Science*, 60, 535-544.

Sales Silva FA, Valadares Filho SD, Rennó LN, Trópia NV, Souza CW, Alhadas HM, Mafort EG, Felix TL., 2020. Effect of restricted-feeding strategies on blood concentrations of hormones, metabolites, and minerals in Holstein× Zebu finishing steers. *Ciência Animal Brasileira*. 19, 21.

Silva Júnior, J. M., Rodrigues, J. P. P., Valadares Filho, S. D. C., Detmann, E., Paulino, M. F., & Rennó, L. N. 2021. Estimating purine derivatives and nitrogen compound excretion using total urine collection or spot urine samples in grazing heifers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 105, 861-873.

Silva Júnior, J. M. D., Rennó, L. N., Detmann, E., Valadares Filho, S. D. C., & Rodrigues, J. P. P., 2023. Creatinine recovery from bovine urine under the effect of different times and temperatures of storage. *Plos one*, 18, e0282145.

Silva, R.M.N., Valadares, R.F.D., Valadares Filho, S.C., Cecon, P.R., Rennó, L.N., Queiroz, A.C., and Chizzotti, M.L., 2001. Urea for Dairy Cows. 2. Estimates of Urinary Volume, Microbial Production and Urea Excretion, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30, 1948-1957.

Zanetti, D., Godoi, L. A., Estrada, M. M., Engle, T. E., Silva, B. C., Alhadas, H. M., Valadares Filho, S. C., 2017. Estimating mineral requirements of Nellore beef bulls fed with or without inorganic mineral supplementation and the influence on mineral balance. *Journal of Animal Science*, 95, 1696-1706.

Apêndice 3.2

Azevêdo, J.A.G., Valadares Filho, S.C., Pina, D.S., Detmann, E., Valadares, R.F.D., Pereira, L.G.R., Souza, N.K.P., and Costa e Silva, L.F., 2011. Intake, total digestibility, microbial protein production and the nitrogen balance in diets with fruit by-products for ruminants, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 1052-1060.

Barbosa, A.M., Valadares, R.F.D., Valadares Filho, S.C., Pina, D.S., Detmann, E., and Leão, M.I., 2011. Endogenous fraction and urinary recovery of purine derivatives obtained by different methods in Nellore cattle, *Journal of Animal Science,* 89, 510-519.

Barbosa, A.M.; Valadares, R.F.D.; Valadares Filho, S.C., Véras, R.M.L., Leão, M.I., Detmann, E., Paulino, M.F., Marcondes, M.I., and Souza, M.A., 2006. Effect of urinary collection days, concentrate levels and protein sources on creatinine, urea and purine derivatives excretions and microbial protein synthesis in Nellore cattle, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35, 870-877.

Chizzoti, M.L., Valadares Filho, S.C., Leão, M.I., Valadares, R.F.D., Chizzotti, F.H.M., Magalhães, K.A., and Marcondes, M.I., 2005. Partial replacement of elephant grass silage with cottonseed hulls. 2. Ruminal and serum metabolites, microbial protein synthesis, and urinary excretion of nitrogenous compounds in steers, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34, 2103-2111.

Chizzotti, M.L., Valadares Filho, S.C., Valadares, R.F.D., Chizzotti, F.H.M., Marcondes, M.I., and Fonseca, M.A., 2007. Intake, digestibility and nitrogen metabolism in Holstein cows with different milk production levels, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 138-146.

Chizzotti, M.L., Valadares Filho, S.C., Valadares, R.F.D., Chizzotti, F.H.M., Campos, J.M.S., Marcondes, M.I., and Fonseca, M.A., 2006. Intake, digestibility and urinary excretion of urea and purine derivatives in heifers with different body weights, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35, 1813-1821.

Diniz, L.L., Valadares Filho, S.C., Oliveira, A.S., Pina, D.S., Silva, L.D., Benedeti, P.B, Baião, G.F., Campos, J.M.S., and Valadares, R.F.D., 2011. Castor bean meal for cattle finishing: nutritional parameters, *Livestock Science*, 135, 153-167.

Gionbelli, M.P., Valadares Filho, S.C., Detmann, E., Paulin, P.V.R., Valadares, R.F.D., Santos, T.R., Costa e Silva, L.F., and Magalhães, F.A., 2012. Intake, performance, digestibility, microbial efficiency and carcass characteristics of growing Nellore heifers fed two concentrate levels, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41, 1243-1252.

Leal, T.L., Valadares, R.F.D., Valadares Filho, S.C., Campos, J.M.S., Detmann, E., Barbosa, A.M., Teixeira, R.M.A., and Marcondes, M.I., 2007a. Daily variation in the urinary excretion of creatinine and purine derivatives in heifers, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 905-911.

Leal, T.L., Valadares, R.F.D., Valadares Filho, S.C., Leão MI, Detmann E, Barbosa AM, Chizzotti ML, and Paixão ML., 2007b. Daily variation in the excretion of creatinine and purine derivatives in steers, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 896-904.

Machado, P.A.S., Valadares Filho, S.C., Valadares, R.F.D., Detmann, E., Paixão, M.L., Pina, D.S., 2008. Nutritional evaluation of elephantgrass at different regrowth ages, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 1121-1128.

Magalhães, K.A., Valadares Filho, S.C., Valadares, R.F.D., Paixão, M.L., Pina, D.S., Paulino, P.V.R., Chizzotti, M.L., Marcondes, M.I., Araújo, A.M., and Porto, M.O., 2005. Effects of Feeding Different Levels of Urea or Cottonseed Hulls on Microbial Protein Synthesis, Plasma Urea Concentration and Urea Excretion in Steers, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34, 1400-1407.

Marcondes, M.I., Valadares Filho, S.C., Oliveira, I.M., Paulino, P.V.R., Valadares, R.F.D., and Detmann, E., 2011. Feed efficiency of pure and crossbred cattle fed high or low concentrate level, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 1313-1324.

Marcondes, M.I., Valadares Filho, S.C., Paulino, P.V.R., Valadares, R.F.D., Paulino, M.F., Nascimento, F.B., and Fonseca, M.A., 2009. Nutrient requirements of protein, energy and macro minerals of Nellore cattle of three genders, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38, 1587-1596.

Oliveira, A.S., Valadares, R.F.D., Valadares Filho, S.C., Cecon, P.R., Rennó, L.N., Queiroz, A.C., Chizzotti, M.L., 2001a. Microbial Protein Production, Purine Derivatives and Urea Excretion Estimate in Lactating Dairy Cows Fed Isoprotein Diets with Different Non Protein Nitrogen Compounds Levels, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30, 1621-1629.

Oliveira, A.S., Valadares, R.F.D., Valadares Filho, S.C., Cecon, P.R., Oliveira, G.A., Silva, R.M.N., and Costa, M.A.L., 2001b. Intake, apparent digestibility, milk composition and production of lactating cows fed four non-protein nitrogen compounds levels, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30, 1358-1366.

Pellizzoni, S.G., 2011. *Estimativa da excreção urinária de derivados de purinas a partir do consumo de NDT e determinação da contribuição endógena em vacas de leite,* (unpublished Master Dissertation, Federal University of Viçosa, Brazil).

Pereira, M.L.A., Valadares Filho, S.C., Valadares, R.F.D., Campos, J.M.S., Leão, M.I., Pereira, C.A.R., Pina, D.S., and Mendonça, S.S., 2005. Intake, Total Apparent Digestibility, Milk Production and Composition in Early Lactation Cows Fed with Increasing Levels of Crude Protein in the Concentrate, *Revista Brasileira de Zootecnia,* 34, 1029-1039.

Pereira, V.S.A., 2009. *Influência do peso corporal e das características de carcaça sobre a excreção de creatinina e utilização de coleta spot de urina para estimar a excreção de derivados de purinas e de compostos nitrogenados em novilhas nelore*, (unpublished Master Dissertation, Federal University of Viçosa, Brazil).

Pina, D.S., Valadares Filho, S.C., Azevêdo, J.A.G., Barbosa, A.M., Valadares, R.F.D., and Detmann, E., 2010. Effects of inclustion and exposition times of sugar cane to calcium oxide on the physiologic and digestive parameters of Nellore heifers, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 1579-1586.

Pina, D.S., Valadares Filho, S.C., Tedeschi, L.O., Barbosa, A.M., Azevêdo, J.A.G., Valadares, R.F.D., Souza, N.K.P., and Fonseca, M.A., 2011. Levels of inclusion and exposure time of sugar cane to calcium oxide on digestive parameters and performance of Nellore heifers, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 648-656.

Silva, R.M.N., Valadares, R.F.D., Valadares Filho, S.C., Cecon, P.R., Rennó, L.N., Queiroz, A.C., and Chizzotti, M.L., 2001. Urea for Dairy Cows. 2. Estimates of Urinary Volume, Microbial Production and Urea Excretion, *Revista Brasileira de Zootecnia,* 30, 1948-1957.

Souza, S. M., Lopes, F. C. F., de Campos, S., Filho, V., da Gama, M. A. S., Rennó, L. N., & Rodrigues, J. P. P., 2019. Milk fatty acid composition of Holstein x Gyr dairy cows fed sugarcane-based diets containing citrus pulp supplemented with sunflower oil. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, 40, 1663-1680.

Souza, S.M., 2007. *Farelo de glúten de milho na alimentação de vacas em lactação*, (unpublished Master Dissertation, Federal University of Viçosa, Brazil).

Apêndice 3.3

Campos, A. F., Pereira, O. G., Ribeiro, K. G., Santos, S. A., & de Campos Valadares Filho, S., 2014. Impact of replacing soybean meal in beef cattle diets with inactive dry yeast, a sugarcane by-product of ethanol distilleries and sugar mills. *Animal Feed Science and Technology*, 190, 38-46.

Cardoso, R. C., Valadares Filho, S. D. C., Silva, J. F. C. D., Paulino, M. F., Valadares, R. F. D., Cecon, P. R., & Oliveira, R. V. D., 2000. Consumo e digestibilidades aparentes totais e parciais de rações contendo diferentes níveis de concentrado, em novilhos F1 Limousin x Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29, 1832-1843.

Cezário, A. S., Ribeiro, K. G., Santos, S. A., de Campos Valadares Filho, S., & Pereira, O. G., 2015. Silages of Brachiaria brizantha cv. Marandu harvested at two regrowth ages: Microbial inoculant responses in silage fermentation, ruminant digestion, and beef cattle performance. *Animal Feed Science and Technology*, 208, 33-43.

Chizzotti, F. H. M., Pereira, O. G., Tedeschi, L. O., Valadares Filho, S. C., Chizzotti, M. L., Leão, M. I., & Pereira, D. H., 2008. Effects of dietary nonprotein nitrogen on performance, digestibility, ruminal characteristics, and microbial efficiency in crossbred steers. *Journal of Animal Science,* 86, 1173-1181.

Chizzotti, M. L., Valadares Filho, S. D. C., Leão, M. I., Valadares, R. F. D., Chizzotti, F. H. M., Magalhães, K. A., & Marcondes, M. I., 2005. Partial replacement of elephantgrass silage with cottonseed hulls. 2. Ruminal and serum metabolites, microbial protein synthesis, and urinary excretion of nitrogenous compounds in steers. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34, 2103-2111.

Corrêa, A. M. V. 2007. *Utilização da soja em diferentes formas na alimentação de vacas leiteiras.* Tese Doutorado. UFV. 128p.

Costa e Silva, L. C., Valadares Filho, S. C., Chizzotti, M. L., Rotta, P. P., Zanetti, D., Valadares, R. D. F., & Detmann, E., 2014. Models to predict muscle tissue and crude protein in beef cattle. *Livestock Science*, 160, 186-193.

Costa e Silva, L. F., de Campos Valadares Filho, S., Engle, T. E., Rotta, P. P., Marcondes, M. I., Silva, F. A. S., & Tokunaga, A. T., 2015. Macrominerals and trace element requirements for beef cattle. *PloS One*, 10, e0144464.

Dias, H. L. C., Valadares Filho, S. D. C., Coelho da Silva, J. F., Paulino, M. F., Cecon, P. R., Leão, M. I., & Oliveira, R. V. D., 2000. Consumo e digestões totais e parciais em novilhos F1 Limousin x Nelore alimentados com dietas contendo cinco níveis de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29, 545-554.

Dias, M., Detmann, E., Leão, M. I., Souza, S. M. D., Valadares Filho, S. D. C., Vasconcelos, A. M. D., & Valadares, R. F. D., 2007. Indicadores para estimativa da digestibilidade parcial em bovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 689-697.

Figueiredo, D. M. D., Paulino, M. F., Detmann, E., Moraes, E. H. B. K. D., Valadares Filho, S. D. C., & Souza, M. G. D., 2008. Fontes de proteína em suplementos múltiplos para bovinos em pastejo no período das águas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 2222-2232.

Ladeira, M. M., Valadares Filho, S. D. C., Silva, J. F. C. D., Leão, M. I., & Sampaio, R. L., 1999. Consumo e digestiblidades aparentes totais e parciais de dietas contendo diferentes níveis de concentrado, em novilhos Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 28, 395-403.

Machado, P. A. S., Valadares Filho, S. C., Valadares, R. F. D., Paulino, M. F., Paulino, P. V. R., & Marcondes, M. I., 2012. Desempenho e exigências de energia e proteína de bovinos de corte em pasto suplementados. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 64, 683-692.

Malafaia, P. A., Valadares Filho, S. D. C., & Coelho Da Silva, J. F., 1996. Sebo bovino em rações para vacas em lactação. 1. Consumo dos nutrientes, produção e composição do leite. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 25, 153-163.

Marcondes, M. I., Valadares Filho, S. D. C., Oliveira, I. M. D., Paulino, M. F., Paulino, P. V. R., Detmann, E., & Silva, L. F. C., 2011. Exigências de energia de animais Nelore puros e mestiços com as raças Angus e Simental. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 872-881.

Marcondes, M. I., Valadares Filho, S. D. C., Paulino, P. V. R., Detmann, E., Paulino, M. F., Diniz, L. L., & Santos, T. R., 2008. Consumo e desempenho de animais alimentados individualmente ou em grupo e características de carcaça de animais Nelore de três classes sexuais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 2243-2250.

Oliveira, A. S. D., Campos, J. M. D. S., Valadares Filho, S. D. C., Assis, A. J. D., Teixeira, R. M. A., Valadares, R. F. D., & Oliveira, G. S. D., 2007. Substituição do milho por casca de café ou de soja em dietas para vacas leiteiras: consumo, digestibilidade dos nutrientes, produção e composição do leite. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 1172-1182.

Oliveira, A. S., Valadares, R. F. D., Valadares Filho, S. D. C., Cecon, P. R., Rennó, L. N., Queiroz, A. C. D., & Chizzotti, M. L., 2001. Produção de proteína microbiana e estimativas das excreções de derivados de purinas e de uréia em vacas lactantes alimentadas com rações isoprotéicas contendo diferentes níveis de compostos nitrogenados não-protéicos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30, 1621-1629.

Paiva, V. A., Lana, R. P., Oliveira, A. S., Leão, M. I., & Teixeira, R. M. A., 2013. Teores proteicos em dietas para vacas Holandesas leiteiras em confinamento. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 65, 1183-1191.

Pereira, M. L. A., Valadares Filho, S. D. C., Valadares, R. F. D., Campos, J. M. D. S., Leão, M. I., Pereira, C. A. R., & Mendonça, S. D. S., 2005. Consumo, digestibilidade aparente total, produção e composição do leite em vacas no terço inicial da lactação alimentadas com níveis crescentes de proteína bruta no concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34, 1029-1039.

Pina, D. D. S., Valadares Filho, S. D. C., Azevêdo, J. A. G., Barbosa, A. M., Valadares, R. F. D., & Detmann, E., 2010. Effects of inclusion and exposition times of sugar cane to calcium oxide on the physiologic and digestive parameters of Nellore heifers. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 1579-1586.

Pina, D. S., Tedeschi, L. O., Valadares Filho, S. C., Azevedo, J. A. G., Detmann, E., & Anderson, R., 2009. Influence of calcium oxide level and time of exposure to sugarcane on in vitro and in situ digestive kinetics. *Animal Feed Science and Technology*, 153, 101-112.

Prates, L. L., Valadares, R. F. D., Valadares Filho, S. C., Detmann, E., Santos, S. A., Braga, J. M. S., & Barbosa, K. S., 2012. Endogenous fraction and urinary recovery of purine derivatives in Nellore and Holstein heifers with abomasal purine infusion. *Livestock Science*, 150, 179-186.

Rabello, T. G., Valadares Filho, S. D. C., & Coelho da Silva, J. F. (1996). Grão de soja moído na alimentação de vacas em lactação III. Eficiência microbiana, amônia e pH. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 25, 270-281.

Rennó, L. N., Valadares Filho, S. D. C., Valadares, R. F. D., Paulino, M. F., Rennó, F. P., & Silva, P. A., 2008. Níveis de ureia na ração de novilhos de quatro grupos genéticos: estimativa da produção de proteína microbiana por meio dos derivados de purinas na urina utilizando duas metodologias de coleta. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 546-555.

Rotta, P. P., Valadares Filho, S. C., Detmann, E., Costa e Silva, L. F., Paulino, M. F., Marcondes, M. I., & Villadiego, F. A. C., 2014. Digesta sampling sites and marker methods for estimation of ruminal outflow in bulls fed different proportions of corn silage or sugarcane. *Journal of Animal Science*, 92, 2996-3006.

Silva, R. M. N. D., Valadares, R. F. D., Valadares Filho, S. D. C., Cecon, P. R., Rennó, L. N., & Silva, J. M. D., 2001. Ureia para vacas em lactação: 2. Estimativas do volume urinário, da produção microbiana e da excreção de ureia. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30, 1948-1957.

Souza, S. M., Lopes, F. C. F., de Campos, S., Filho, V., da Gama, M. A. S., Rennó, L. N., & Rodrigues, J. P. P., 2019. Milk fatty acid composition of Holstein x Gyr dairy cows fed sugarcane-based diets containing citrus pulp supplemented with sunflower oil. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, 40, 1663-1680.

Tibo, G. C., Valadares Filho, S. D. C., Silva, J. F. C. D., Valadares, R. F. D., Leão, M. I., Cecon, P. R., & Sampaio, R. L., 2000. Níveis de concentrado em dietas de novilhos mestiços F1 Simental x Nelore: 2. Balanço nitrogenado, eficiência microbiana e parâmetros ruminais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29, 921-929.

Véras, R. M. L., Valadares Filho, S. D. C., Azevêdo, J. A. G., Detmann, E., Paulino, P. V. R., Barbosa, A. M., & Marcondes, M. I., 2008. Níveis de concentrado na dieta de bovinos Nelore de três condições sexuais: consumo, digestibilidades total e parcial, produção microbiana e parâmetros ruminais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 951-960.

Villela, S. D. J., Paulino, M. F., de Campos Valadares Filho, S., Leão, M. I., & de Figueiredo, D. M., 2008. Fontes de proteína em suplementos para abate de bovinos em pastejo: período de transição águas-seca. *Revista Ciência Agronômica*, 39, 317-326.

Vilela, S. D. J. (1995). *Utilização de caroço de algodão na alimentação de vacas em lactação.* Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 82p.

Apêndice 3.4

Barbizan, M., Valente, E. E. L., Damasceno, M. L., Lopes, S. A., de Souza Tanaka, E., Junior, C. P. B., & Melo, B. V. R., 2020. Balanced protein/energy supplementation plan for beef cattle on tropical pasture. *Livestock Science*, 241, 104211.

Hoffmann, A., Cardoso, A. S., Fonseca, N. V. B., Romanzini, E. P., Siniscalchi, D., Berndt, A., & Reis, R. A., 2021. Effects of supplementation with corn distillers' dried grains on animal performance, nitrogen balance, and enteric CH4 emissions of young Nellore bulls fed a high-tropical forage diet. *Animal*, 15, 100155.

Carvalho, V. V., Paulino, M. F., Detmann, E., Chizzotti, M. L., Martins, L. S., Silva, A. G., & Moura, F. H., 2017. Effects of supplements containing different additives on nutritional and productive performance of beef cattle grazing tropical grass. *Tropical Animal Health and Production*, 49, 983-988.

Conceição, M. G., de Andrade Ferreira, M., de Lima Silva, J., Costa, C. T. F., Chagas, J. C. C., & de Figueiredo Monteiro, C. C. (2018). Can cactus (Opuntia stricta [Haw.] Haw) cladodes plus urea replace wheat bran in steers' diet? *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31, 1627.

Corte, R. R., Brito, F. O., Leme, P. R., Pereira, A. S. C., Freitas, J. E., Rennó, F. P., & Nogueira Filho, J. C. M., 2018. The effects of partial substitution of soybean with urea or slow-release urea on finishing performance, meat quality, and digestion parameters of Nellore steers. *Animal Production Science*, 58, 2242-2248.

Dórea, J. R., Gouvêa, V. N., Agostinho Neto, L. R. D., Da Silva, S. C., Brink, G. E., Pires, A. V., & Santos, F. A., 2020. Beef cattle responses to pre-grazing sward height and low level of energy supplementation on tropical pastures. *Journal of Animal Science*, 98, skaa163.

Ferreira Costa, C. T., de Andrade Ferreira, M., de Souza Campos, J. M., de Lima Silva, J., Xavier de Andrade, R. D. P., & Gabriela da Conceição, M., 2017. Multiple supplements containing spineless cactus enriched with urea for cattle. *Acta Scientiarum: Animal Sciences*, 39, 363-369.

Granja-Salcedo, Y. T., Ribeiro Junior, C. S., de Jesus, R. B., Gomez-Insuasti, A. S., Rivera, A. R., Messana, J. D., & Berchielli, T. T., 2016. Effect of different levels of concentrate on ruminal microorganisms and rumen fermentation in Nellore steers. *Archives of Animal Nutrition*, 70, 17-32.

Jose Neto, A., Granja-Salcedo, Y. T., Messana, J. D., Malheiros, E. B., Reis, R. A., Pires, A. V., & Berchielli, T. T., 2019. Soybean hulls as feed substitute of ground corn can increase the fiber digestibility and bacterial fibrolytic profile of grazing Nellore steers during the rainy season. *Semina: Ciências Agrárias*, 40, 3577-3594.

Mariz, L. D. S., Amaral, P. M., Valadares Filho, S. C., Santos, S. A., Detmann, E., Marcondes, M. I., & Faciola, A. P., 2018. Dietary protein reduction on microbial protein, amino acid digestibility, and body retention in beef cattle: 2. Amino acid intestinal absorption and their efficiency for whole-body deposition. *Journal of Animal Science*, 96, 670-683.

Meschiatti, M. A., Gouvêa, V. N., Pellarin, L. A., Batalha, C. D., Biehl, M. V., Acedo, T. S., & Santos, F. A., 2019. Feeding the combination of essential oils and exogenous α-amylase increases performance and carcass production of finishing beef cattle. *Journal of Animal Science,* 97, 456-471.

Lana Ferreira, M. F., Rennó, L. N., Detmann, E., Paulino, M. F., de Campos Valadares Filho, S., Moreira, S. S., & de Paula Cidrine, I., 2020. Performance, metabolic and hormonal responses of grazing Nellore cows to an energy-protein supplementation during the pre-partum phase. *BMC Veterinary Research,* 16, 1-13.

Sathler, D. F. T., Prados, L. F., Zanetti, D., Silva, B. C., Filho, S. V., Pacheco, M. V. C., & Paulino, M. F., 2017. Reducing mineral usage in feedlot diets for Nellore cattle: I. Impacts of calcium, phosphorus, copper, manganese, and zinc contents on microbial efficiency and ruminal, intestinal, and total digestibility of dietary constituents. *Journal of Animal Science*, 95, 1715-1726.

Batalha, C. D. A., Morelli, M., Branco, R. H., dos Santos Goncalves Cyrillo, J. N., Carrilho Canesin, R., Zerlotti Mercadante, M. E., & Figueiredo Martins Bonilha, S., 2020. Association between residual feed intake, digestion, ingestive behavior, enteric methane emission and nitrogen metabolism in Nellore beef cattle. *Animal Science Journal*, 91, e13455.

da Silva, A. G., Paulino, M. F., Detmann, E., Fernandes, H. J., da Silva Amorim, L., Ortega, R. E. M., & Bitencourt, J. A., 2017. Energetic-protein supplementation in the last 60 days of gestation improves performance of beef cows grazing tropical pastures. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8, 1-9.

Toseti, L. B., Goulart, R. S., Gouvêa, V. N., Acedo, T. S., Vasconcellos, G. S., Pires, A. V., & Silva, S. L., 2020. Effects of a blend of essential oils and exogenous α-amylase in diets containing different roughage sources for finishing beef cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 269, 114643.

Godoi, L. A., Silva, B. C., Silva, F. A. S., Pucetti, P., Pacheco, M. V. C., Souza, G. A. P., & Valadares Filho, S. C., 2021. Effect of flint corn processing methods on intake, digestion sites, rumen pH, and ruminal kinetics in finishing Nellore bulls. *Animal Feed Science and Technology*, 271, 114775.

Silva, B. D. C., Pacheco, M. V. C., Godoi, L. A., Alhadas, H. M., Pereira, J. M. V., Renno, L. N., & Valadares Filho, S. D. C., 2020. Reconstituted and ensiled corn or sorghum grain: Impacts on dietary nitrogen fractions, intake, and digestion sites in young Nellore bulls. *Plos one*, 15(8), e0237381.

Silva, Y. R. V. B., Zervoudakis, J. T., Hatamoto-Zervoudakis, L. K., Abreu, M. L. C., da Silva Cabral, L., da Freiria, L. B., & Possamai, A. J., 2021. Supplementation with different protein profiles for grazing beef cattle supplemented in tropical grass during the rainy-dry transition season. *Tropical Animal Health and Production*, 53, 1-10.

Tseu, R. J., Perna Junior, F., Carvalho, R. F., Sene, G. A., Tropaldi, C. B., Peres, A. H., & Rodrigues, P. H. M., 2020. Effect of tannins and monensin on feeding behaviour, feed intake, digestive parameters and microbial efficiency of nellore cows. *Italian Journal of Animal Science*, 19, 262-273.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-192-0.2023.C004.p.75-112

4

Predição do valor energético de dietas para bovinos a partir da composição química dos alimentos

Edenio Detmann, Tadeu Eder da Silva, Sebastião de Campos Valadares Filho, Cláudia Batista Sampaio, Malber Nathan Nobre Palma

A composição química de um alimento/dieta constitui o principal determinante de sua capacidade de fornecimento de nutrientes e atributos nutricionais para atendimento das demandas de mantença e produção animal, notadamente no tocante ao fornecimento de energia, a qual é produzida a partir de processos digestivos e metabólicos sobre os diferentes componentes orgânicos dos alimentos. Tabelas de composição de alimentos são confiáveis no sentido de fornecerem valores médios da concentração energética com exatidão. Contudo, existem variações inerentes sobre a composição química de alimentos em condições de campo que não podem ser devidamente contempladas pela tabulação de dados. Desta forma, o uso da composição química como preditor da capacidade de um alimento em fornecer energia pode flexibilizar o trabalho dos nutricionistas no momento da formulação de dietas em situações específicas, tornando-as mais exatas e apropriadas para cada situação produtiva.

INTRODUÇÃO

A obtenção de estimativas dos coeficientes de digestibilidade constitui aspecto básico para se quantificar o valor energético dos alimentos ou dietas, notadamente via nutrientes digestíveis totais (NDT), permitindo o balanceamento adequado de dietas que propiciem o atendimento das demandas de mantença e de produção dos animais.

No entanto, mesmo constituindo parâmetro digestivo estático, ou seja, podendo ser representado por uma estimativa pontual, o acesso à estimativa do coeficiente de digestibilidade de um alimento ou de seus respectivos componentes químicos constitui processo oneroso e com elevada demanda por tempo quando realizado pelos métodos clássicos *in vivo* (Detmann et al., 2006a).

Em primeira instância, em muito locais do mundo, incluindo-se o Brasil, esforços foram direcionados à compilação de dados de forma a se construírem tabelas que procurassem servir de alternativa a técnicos e produtores no tocante à composição de alimentos, incluindo-se os teores energéticos dos mesmos. Tais intentos calcavam-se no fato de que amostras de grandes dimensões tenderiam a apontar com maior precisão e exatidão a média populacional das características dos alimentos (efeito conhecido como "lei dos grandes números"), o que, em tese, ampliaria a acurácia de rações calculadas com base nos valores tabelados (Detmann et al., 2008a).

Contudo, embora os valores energéticos tabelados dos alimentos tendam a ser confiáveis do ponto de vista estatístico, os alimentos utilizados em diferentes sistemas de produção constituem informações pontuais, ou seja, pertencem a uma distribuição, muitas vezes normal, mas com afastamentos variados da média populacional. Assim, rações calculadas com base em médias tenderão a fornecer produções desviadas do inicialmente planejado em intensidade similar ao desvio das características do alimento utilizado em relação à média populacional (Detmann et al., 2008a).

Este quadro se mostra particularmente intenso nos trópicos, principalmente com alimentos volumosos, uma vez que as características dos alimentos produzidos refletem de forma mais marcante, em comparação a regiões não tropicais, as oscilações climáticas e edáficas (e.g., temperatura, precipitação, radiação solar, fertilidade do solo).

Estes aspectos de influência pontual sobre o conteúdo energético dos alimentos demandaram esforços para que a dependência de valores médios oriundos de tabelas de composição pudesse ser amenizada. Embora

trabalhos com grande contribuição nesse contexto tenham sido desenvolvidos há algumas décadas (e.g., Conrad et al., 1984; Weiss et al., 1992), destaca-se como marco principal a 7ª edição das tabelas americanas para bovinos de leite (NRC, 2001), nas quais dados tabelados de conteúdo energético dos alimentos deixaram de ser rotineiramente utilizados em detrimento de alternativa para se estimar o conteúdo energético de alimentos sob a filosofia "cada caso é um caso". Desta forma, minimizar-se-iam os desvios entre as características de produção previstas no balanceamento da ração e aquelas efetivamente obtidas no campo (Detmann et al., 2008a).

A base do sistema de predição do conteúdo energético dos alimentos ofertados a bovinos adotado pelo NRC (2001) reside sobre a influência da composição química sobre a capacidade de fornecimento de energia. O método se baseia em sistema de equações somativas (ou aditivas), no qual, para cada grupo de compostos químicos com potencial de contribuição energética (PB, proteína bruta; EE, extrato etéreo; CNF, carboidratos não-fibrosos; e FDN, fibra em detergente neutro) destina-se um sub-modelo responsável pela obtenção de estimativas das frações verdadeiramente digestíveis, com posteriores correções no tocante a perdas metabólicas fecais e nível de consumo.

Contudo, embora empregando as características dos alimentos efetivamente utilizados nos sistemas de produção (ou seja, análises laboratoriais e não médias populacionais) e apresentando embasamento teórico (Conrad et al., 1984; Weiss et al., 1992), o sistema adotado pelo NRC (2001) não apresentada eficiência de predição satisfatória quando aplicado a alimentos obtidos em condições tropicais (Rocha Jr. et al., 2003; Costa et al., 2005; Silva et al., 2007; Detmann et al., 2008b; Campos et al., 2010; Magalhães et al., 2010; Azevêdo et al., 2011; Sampaio et al., 2012), o que compromete sua aplicação efetiva.

A partir desta limitação, sub-modelos destinados à predição das frações digestíveis da PB, EE, CNF e FDN foram desenvolvidos e avaliados em condições tropicais (Detmann et al., 2004a; 2006a; 2006b; 2006c; 2007; 2008b; 2008c; 2010a). A avaliação unificada destes sub-modelos, constituindo um novo sistema somativo, mostrou que este é capaz de predizer com maior exatidão a concentração de NDT em dietas ofertadas para bovinos no Brasil (Detmann et al., 2008b; Magalhães et al., 2010; Azevêdo et al., 2011; Sampaio et al., 2012), gerando alternativa à aplicação do modelo adotado pelo NRC (2001) e culminando com a adoção de sistema de predição na segunda edição do Sistema BR-CORTE (Detmann et al., 2010b).

Contudo, a partir da detecção de pequenas limitações nos sub-modelos originalmente propostos, de novas informações geradas por avaliações experimentais e/ou meta-analíticas e também a partir de novas abordagens nas avaliações da composição química dos alimentos, aprimoramentos no sistema de predição da concentração dietética de NDT foram produzidos, as quais implicaram em modificações no modelo originalmente adotado na segunda edição do Sistema BR-CORTE (Detmann et al., 2010b).

DESCRIÇÃO DO MODELO

Sub-modelos para EE e CNF

Os sub-modelos aplicados aos componentes não-fibrosos EE e CNF não sofreram alterações teóricas ou empíricas significativas a partir da segunda edição do Sistema BR-CORTE. Sua proposição baseou-se no teste de Lucas (Lucas e Smart, 1959), para a obtenção dos coeficientes de digestibilidade verdadeiros, e nos pressupostos do sistema fatorial (Blaxter e Mitchell, 1948; Lucas, 1960), para distinção entre as frações metabólica fecal e verdadeiramente não-digerida.

Sob tais pressupostos, pode-se definir a massa fecal aparentemente não-digerida dos diferentes componentes não-fibrosos (EE ou CNF), por:

$$F = I + M + E \quad (4.1);$$

em que: F, massa fecal (g/dia); I, fração verdadeiramente não-digerida (g/dia); M, fração metabólica fecal (g/dia); e E, fração endógena fecal (g/dia).

Neste contexto, define-se como fração metabólica a porção fecal oriunda de secreções do trato digestivo (Lucas, 1960), acrescida de

debris microbianos (Van Soest, 1994). Por outro lado, a fração endógena fecal corresponde à porção fecal oriunda da secreção de "restos" metabólicos pelas células do trato gastrintestinal (Lucas, 1960).

A partir de tais definições, pode-se relacionar a identidade exposta em (4.1) ao consumo diário, fazendo-se:

$$C - F = C - (I + M + E) \quad (4.2a);$$

$$C - F = C - I - M - E \quad (4.2b);$$

$$\frac{C - F}{C} = \frac{C - I - M - E}{C} \quad (4.2c);$$

$$D_a = 1 - \frac{I}{C} - \frac{M}{C} - \frac{E}{C} \quad (4.2d);$$

em que: C, consumo (g/dia); D_a, coeficiente de digestibilidade aparente (g/g).

A fração fecal endógena pode ser representada por uma função matemática proporcional à massa metabólica do animal (Blaxter e Mitchell, 1948; Lucas, 1960), dada por:

$$\frac{E}{C} = \frac{\varepsilon \times P^{\frac{3}{4}}}{C} = \frac{\varepsilon}{C} \times P^{\frac{3}{4}} \quad (4.3);$$

em que: P, massa do animal (g); e ε, constante relacionada à liberação endógena no trato gastrintestinal por unidade de massa metabólica (g/g × dia^{-1}).

A razão (ε/C) somente poderá ser considerada significativa se, e somente se, o consumo assumir valores extremamente pequenos (Lucas, 1960), possivelmente em níveis de alimentação abaixo da mantença. Assim, em condições de mantença ou produção, tem-se:

$$\lim_{C \to C^{\circ}} \frac{\varepsilon}{C} \times P^{\frac{3}{4}} = 0 \quad (4.4);$$

em que: C°, consumo sob condições de alimentação em mantença ou produção (g/dia).

Desta forma, reescreve-se a equação (4.2d), como:

$$D_a = (1 - \frac{I}{C}) - \frac{M}{C} \quad (4.5a);$$

$$D_a = D_v - \frac{M}{C} \quad (4.5b);$$

em que: D_v = coeficiente de digestibilidade verdadeiro (g/g).

Multiplicando-se ambos os termos da equação (4.5b) pelo consumo, faz-se:

$$C \times D_a = (C \times D_v) - M \quad (4.6).$$

Derivando-se (4.6) em função do consumo, obtém-se:

$$\frac{d(C \times D_a)}{dC} = \frac{d(C \times D_v)}{dC} - \frac{dM}{dC} \therefore D_a = D_v - \frac{dM}{dC} \quad (4.7).$$

Desta forma, o coeficiente de digestibilidade aparente (Equação 4.7) pode ser representado por dois diferentes componentes: o primeiro, que representa o coeficiente de digestibilidade verdadeiro constante; e o segundo, que representa a fração metabólica fecal diferenciada em função do consumo.

Convertendo-se a equação (4.7) com base no conteúdo dietético, faz-se:

$$R \times D_a = (R \times D_v) - (R \times \frac{dM}{dC}) \quad (4.8a);$$

$$R_{ad} = R_{vd} - MC \quad (4.8b);$$

em que: R, conteúdo dietético (% da MS); MC, contribuição metabólica fecal, expressa como conteúdo dietético (% da MS); R_{ad}, fração dietética aparentemente digestível (% da MS); e R_{vd}, fração dietética verdadeiramente digestível (% da MS).

Dois conjuntos de dados, construídos a partir de experimentos conduzidos com vacas em lactação ou bovinos em crescimento e terminação em condições tropicais, foram empregados para estimação dos parâmetros descritos na equação (4.8b) para os componentes EE (n = 108) e CNF (n = 84) (Detmann et al., 2006a; 2006c).

Para todos os componentes avaliados verificou-se similaridade entre categorias animais (vacas em lactação ou bovinos em crescimento e terminação) no tocante ao coeficiente de digestibilidade verdadeiro. Por outro lado, a contribuição metabólica fecal mostrou-se diferenciada entre categorias animais (Detmann et al., 2006a; 2006c), o que

agrega perfeitamente aos pressupostos relatados por Lucas e Smart (1959) e àqueles representados na Equação (4.8).

Os sub-modelos para estimação das frações verdadeiramente digestíveis são:

$$EE_{vd} = 0{,}86 \times EE \quad (4.9);$$

$$CNF_{vd} = 0{,}95 \times CNF \quad (4.10);$$

em que: EE_{vd}, EE verdadeiramente digestível (% da MS); EE, conteúdo dietético de EE (% da MS); CNF_{vd}, CNF verdadeiramente digestíveis (% da MS); CNF, conteúdo dietético de CNF (% da MS).

Não havendo diferenças entre categorias animais no tocante ao coeficiente de digestibilidade verdadeiro, as equações (4.9) e (4.10) são aplicadas de forma similar a vacas em lactação e animais em crescimento e terminação. Assim, a diferenciação entre estas se dá exclusivamente pela fração aparentemente digestível, ou seja, pela contribuição metabólica fecal, empregando-se as estimativas expressas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Contribuição metabólica fecal (% da matéria seca) do extrato etéreo (EE), dos carboidratos não-fibrosos (CNF) e da proteína bruta (PB) para animais alimentados *ad libitum*

	Categoria Animal	
Componente	Vacas em Lactação	Bovinos em Crescimento e Terminação
EE	0,21	0,18
CNF	5,72	5,11
PB	0,97	1,61
FM_{NDT}[1]	7,16	7,13
FM_{ED}[2]	0,314	0,322

[1] FM_{NDT}, fração metabólica fecal total para o cálculo da concentração de NDT (FM_{NDT} = PB + CNF + 2,25×EE).
[2] FM_{ED}, fração metabólica fecal para o cálculo da concentração de energia digestível (Mcal/kg MS).

Na segunda edição do Sistema BR-CORTE frações metabólicas fecais diferenciadas foram estimadas para condições de mantença e produção. No entanto, a partir da terceira edição do Sistema BR-CORTE, estimativas das concentrações de frações e do teor dietético de energia para animais alimentados a nível de mantença não serão mais consideradas, haja vista sua limitada aplicação.

Procedimentos individuais de validação foram previamente conduzidos sobre as frações aparentemente digestíveis de EE e CNF a partir de bancos de dados independentes daqueles utilizados na construção dos sub-modelos (Detmann et al., 2006a; 2006c; 2008b; Magalhães et al., 2010; Azevêdo et al., 2011; Sampaio et al., 2012). Estas avaliações demonstraram que os sub-modelos adotados no Sistema BR-CORTE são mais acurados e precisos que aqueles adotados pelo NRC (2001).

Sub-modelo para FDN

Em termos biológicos, o sub-modelo desenvolvido para a estimação da fração digestível da FDN manteve seu embasamento no fracionamento deste componente em suas frações potencialmente digestível e indigestível, segundo a equação:

$$FDN_d = D \times FDNpd \quad (4.11a);$$

$$FDN_d = D \times (FDN - FDNi) \quad (4.11b);$$

em que: FDN_d, FDN digestível (% da MS); FDNpd, FDN potencialmente digestível (% da MS); D, coeficiente de digestibilidade da FDNpd (g/g); e FDNi, FDN indigestível (% da MS).

Tanto o sub-modelo utilizado na segunda edição do Sistema BR-CORTE, como o sub-modelo adotado pelo NRC (2001) para a predição da fração digestível da FDN foram baseados em aproximações químicas e em relação não-linear exponencial entre a lignina e a FDNi em adaptação aos pressupostos da Lei de Superfície (Conrad et al., 1984; Weiss et al., 1992), sendo o fator de proteção à degradação ruminal da lignina sobre a FDN considerado parâmetro base (Detmann et al., 2004a). A estrutura matemática de ambos os modelos é dada por:

$$FDN_d = D \times \{(FDNcp - L) \times [1 - (\frac{L}{FDNcp})^F]\} \quad (4.12);$$

em que: FDN_d, FDN digestível (% da MS); D, coeficiente de digestibilidade da FDNpd (g/g); FDNcp, concentração de FDN, expresso com correções para cinzas e proteínas (% da MS)[1]; L, concentração de lignina (% da MS); e F, fator de proteção à degradação ruminal da lignina sobre a FDN.

A primeira limitação observada para a equação (4.12) reside sobre a utilização de fator de proteção à degradação ruminal da lignina sobre a FDN constante [0,667, NRC (2001); 0,85, Detmann et al. (2010b)]. Esta pressuposição implica que a lignina agiria de forma homogênea na determinação da dimensão da fração FDNi e, consequentemente, da fração FDNpd, em todo e qualquer alimento. Contudo, a relação entre lignina e FDNi varia entre tipos de forragem (Palmonari et al., 2016) e entre forragens e concentrados. Isto compromete a exatidão das estimativas da fração digestível da FDN.

As frações FDNpd e FDNi constituem conceitos biológicos assintóticos, ou seja, são definidas quanto ao tempo de exposição aos sistemas enzimáticos microbianos do rúmen tende ao infinito (Detmann et al., 2008a). Em termos analíticos, avaliação pontual acurada destas frações somente é obtida por intermédio de ensaios biológicos de longa duração (incubações ruminais *in situ* em tempos iguais ou superiores a 240 horas; Casali et al., 2008; Valente et al., 2011). Apesar de isto comprometer a obtenção de estimativas de forma rápida e restringir as avaliações em função da disponibilidade de animais fistulados, a incubação ruminal *in situ* de longa duração constitui a forma mais acurada de se estimar as frações FDNi e FDNpd e é a forma recomendada para inserção de valores na equação base do sub-modelo (Equação 4.11b).

No entanto, considerando-se as limitações das bases teóricas associadas à equação (4.12) e assumindo-se situações nas quais incubações ruminais *in situ* não possam ser realizadas, alternativa para a obtenção de estimativas da concentração de FDNi por aproximação química foi desenvolvida baseada em análises de amostras de alimentos utilizados no Brasil. Nesta aproximação, a associação entre FDNi e características químicas de volumosos (n = 371) e de concentrados (n = 65) foi investigada. Contudo, durante o processo de ajustamento das equações, verificou-se que correlações mais fortes com as características químicas foram verificadas com a fração FDNpd em comparação à fração FDNi. Desta forma, para obtenção de equações mais robustas, as mesmas foram avaliadas em relação à fração FDNpd, considerando-se que a mesma representa o complemento da fração FDNi em relação à FDN total. A característica básica para estimação residiu sobre a associação direta entre as concentrações de FDNpd e FDN corrigida para cinzas e proteína (FDNcp), tanto para forragens (Figura 4.1) como para concentrados (Figura 4.2), e em correções para a dimensão da fração FDNpd em função de outras características químicas dos alimentos [fibra em detergente ácido (FDA) e lignina]. Foram evidenciadas relações distintas para os diferentes grupos de alimentos (forragens e concentrados), o que representa ganho em comparação à relação homogênea anteriormente assumida pela estrutura da equação (4.12).

Para forragens e concentrados as equações são, respectivamente:

$$FDNpd(F) = 3{,}38 + 0{,}883 \times FDNcp - 0{,}834 \times FDA + 0{,}0065 \times FDA^2 - 0{,}197 \times L \quad (s_{XY} = 3{,}37;\ R^2 = 0{,}895) \qquad (4.13)$$

$$FDNpd(C) = -1{,}19 - 10{,}16 \times D + 1{,}012 \times FDNcp - 0{,}052 \times FDA \quad (s_{XY} = 0{,}71;\ R^2 = 0{,}998) \qquad (4.14)$$

em que: FDNpd(F) e FDNpd(C), concentrações de FDNpd em forragens e concentrados, respectivamente (% da MS); FDNcp, concentração de fibra em detergente neutro com correções para proteína e cinzas contaminantes (% da MS); FDA, concentração de fibra em detergente ácido sem correções para proteína e cinzas contaminantes (% da MS); L, concentração de lignina mensurada pelo método da hidrólise ácida (% da MS); D, variável "dummy" associada ao tipo de

[1] No sub-modelo adotado pelo NRC (2001), a concentração de FDN apresenta correção somente para a proteína contaminante.

concentrado, sendo D = 1 para concentrados contendo fibra de menor degradação potencial [farelo, torta e caroço de algodão; farelo e torta de girassol; farelo de trigo; e milho desintegrado com palha e sabugo (MDPS)] e D = 0 para os demais alimentos concentrados.

Contudo, alerta-se que as estimativas de concentração das frações FDNi ou FDNpd obtidas por aproximações químicas apresentam relações limitadas, uma vez que características químicas simples não seriam capazes de reproduzir ou representar todos os eventos biológicos associados ao crescimento vegetal e ao estabelecimento de interações físicas e químicas entre os componentes da parede celular responsáveis pelo estabelecimento da dimensão destas frações.

A segunda limitação observada para a equação (4.12) reside sobre a utilização de valores fixos para o coeficiente de digestibilidade da FDNpd [0,75; NRC (2001)]. Embora o sub-modelo utilizado na segunda edição do Sistema BR-CORTE tenha previsto diferenças entre categorias animais [0,67 para vacas em lactação; e 0,84 para bovinos em crescimento e terminação; Detmann et al., 2010b], o coeficiente de digestibilidade da FDNpd é assumido como fixo dentro de categorias, o que, à semelhança do adotado pelo NRC (2001), desconsidera todas as influências de nível de consumo, composição química da dieta e tipo de alimento sobre a degradação ruminal da fibra potencialmente degradável.

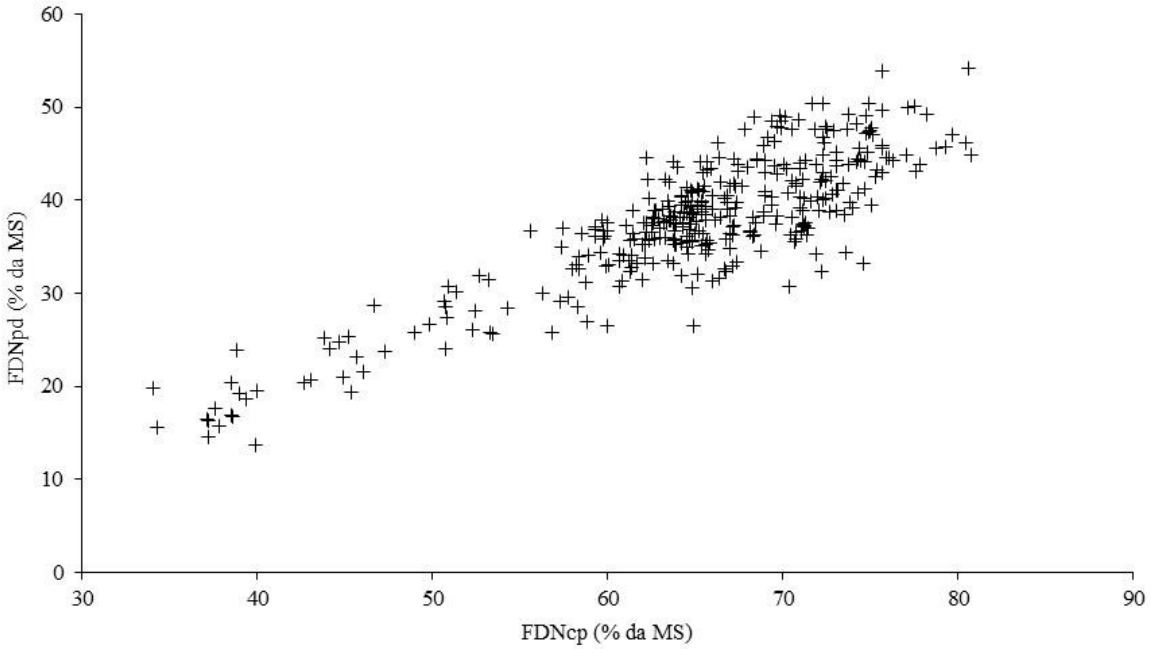


Figura 4.1 - Relação entre a concentração de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp) e fibra em detergente neutro potencialmente digestível (FDNpd) em amostras de forragens (n = 371).

Para contornar esta situação, abordagem meta-analítica para a associação entre composição química, composição da dieta e nível de consumo e o coeficiente de digestibilidade da FDNpd foi realizada utilizando-se dados de dietas ofertadas *ad libitum* para vacas em lactação (n = 45) e bovinos em crescimento e terminação (n = 213) no Brasil. Os resultados permitiram evidenciar relações distintas para as categorias animais, cujas equações são:

$$D_{CT} = 80{,}21 \times FOR - 0{,}0166 \times CMS^2 + 2{,}658 \times FDNi + 3{,}691 \times PB + 0{,}0507 \times (CMS \times FDNi) - 2{,}9673 \times (FOR \times FDNi) - 3{,}9990 \times (FOR \times PB) \quad (4.15);$$

$$D_L = 249{,}32 + 1{,}180 \times CONC - 12{,}422 \times CMS + 0{,}2313 \times CMS^2 - 0{,}0475 \times (CONC \times CMS) \quad (4.16);$$

em que: D_{CT} e D_L, coeficiente de digestibilidade da FDNpd para bovinos em crescimento e terminação e vacas em lactação, respectivamente (%); FOR, variável "dummy" associada ao tipo de forragem utilizada, sendo FOR = 0 para silagens de milho e sorgo e FOR = 1 para gramíneas forrageiras e cana-de-açúcar; CMS, consumo voluntário de MS (g/kg de peso corporal); FDNi, concentração de FDNi na dieta (% da MS); PB, concentração de PB na dieta (% da MS); e CONC, nível de concentrado na dieta (% da MS).

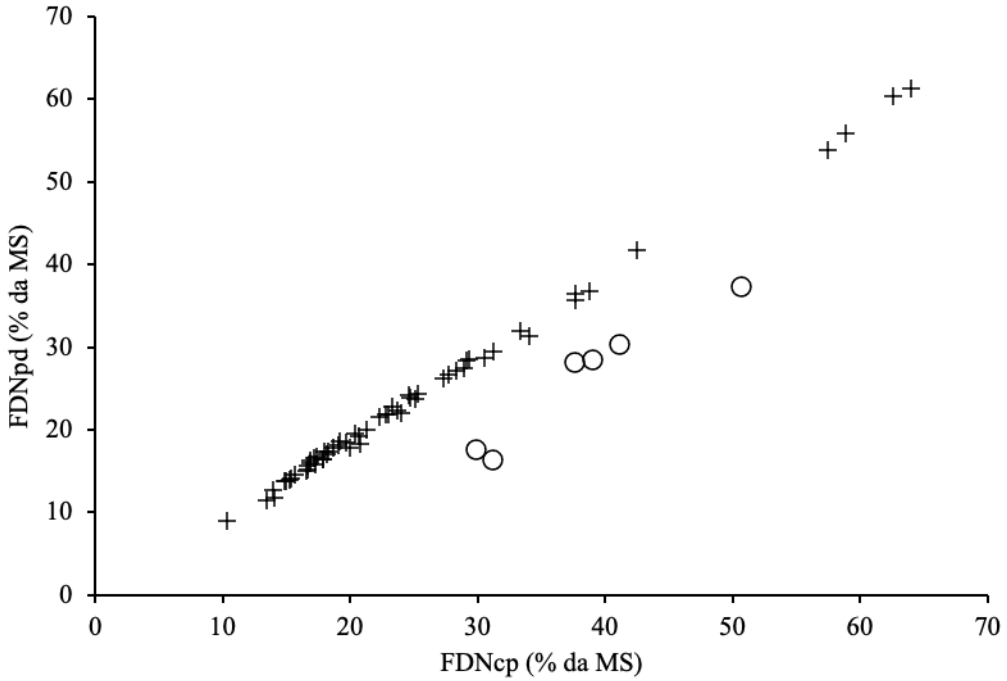


Figura 4.2 - Relação entre a concentração de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp) e fibra em detergente neutro potencialmente digestível (FDNpd) em amostras de concentrados (n = 65; ○ = concentrados contendo fibra de menor degradação potencial; + = demais alimentos concentrados).

Ressalta-se que as equações apresentaram ajustes adequados (Figuras 4.3 e 4.4) e permitiram contemplar diferentes aspectos da dieta que efetivamente influenciam na utilização ruminal dos compostos fibrosos insolúveis potencialmente digestíveis.

Contudo, limitação inerente às Equações (4.15) e (4.16) é verificada para o cálculo de rações, uma vez que estimativas de parâmetros finais do cálculo (i.e., relação volumo:concentrado, concentrações dietéticas de PB e FDNi) são necessários para a realização do cálculo em si, o que faz deste um processo iterativo. Isto pode dificultar os procedimentos computacionais.

Desta forma, um sistema alternativo foi desenvolvido baseado na avaliação de dietas obtidas de 60 animais alimentados exclusivamente com forragens (i.e., silagem de milho, cana-de-açúcar, feno de capim-braquiária, feno de *Cynodon*, silagem de gramíneas), nos quais os dados da taxa de passagem e degradação da FDNpd foram estimados por intermédio de esvaziamento ruminal (Allen e Linton, 2007). O modelo base para quantificação da fração digestível da FDN é dado por:

$$FDN_d = [\frac{kd}{kd+kp} \times FDNpd] \times FAI \qquad (4.17a);$$

$$FDN_d = [\frac{kd}{kd+kp} \times (FDNcp - FDNi)] \times FAI \qquad (4.17b);$$

em que: kd, taxa de degradação da FDNpd (h^{-1}); kp, taxa de passagem ruminal da FDNpd (h^{-1}); e FAI, fator de ajuste para a digestibilidade intestinal.

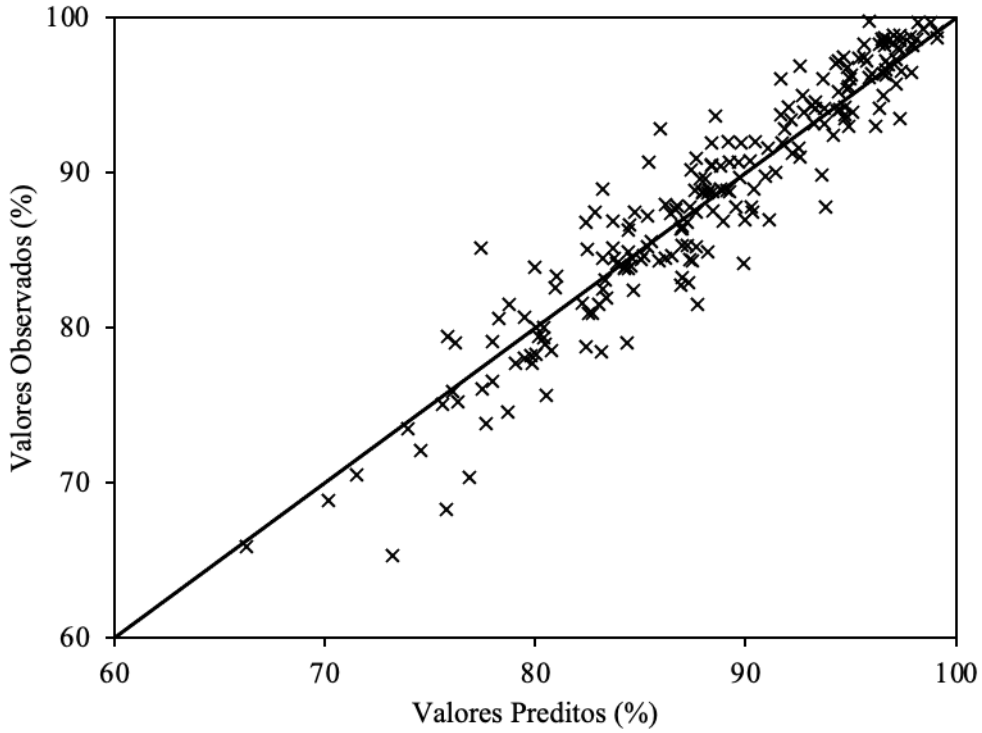


Figura 4.3 - Relação entre valores preditos e observados para o coeficiente de digestibilidade da FDN potencialmente digestível em bovinos em crescimento e terminação (Equação 4.15; a linha contínua representa a relação Y = X; s_{XY} = 2,96; R^2 = 0,900; falta de ajustamento: P>0,07).

O modelo adotado para descrição das taxas de degradação e de passagem da FDNpd de forragens são dados por (Figuras 4.5 e 4.6):

$$kd = 0{,}00329 \times CMS \quad (s_{XY} = 0{,}0106) \qquad (4.18);$$

$$kp(F) = \frac{0{,}287}{FDNi} \quad (s_{XY} = 0{,}0048) \qquad (4.19a);$$

$$kp(F) = \frac{0{,}287}{(FDNcp - FDNpd)} \qquad (4.19b);$$

em que: CMS, consumo voluntário de MS (g/kg de peso corporal); kp(F), taxa de passagem da FDNpd da forragem (h^{-1}); e FDNi, concentração de FDNi na forragem (% da MS).

A equação (4.19b) é sugerida para o caso de empregar-se a equação (4.13) para estimação da fração FDNpd.

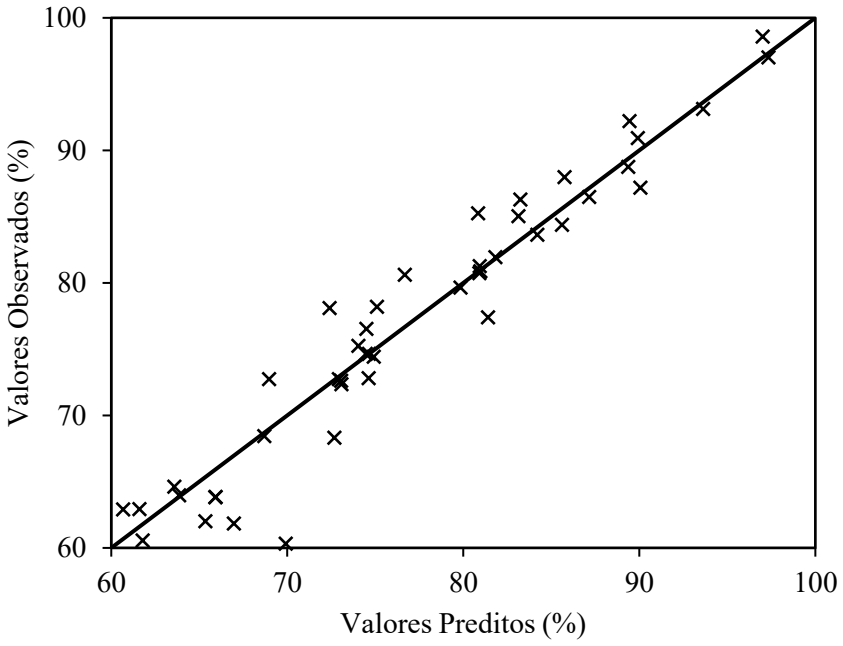


Figura 4.4 - Relação entre valores preditos e observados para o coeficiente de digestibilidade da FDN potencialmente digestível em vacas lactantes (Equação 4.16; a linha contínua representa a relação Y = X; s_{XY} = 3,46; R^2 = 0,933; falta de ajustamento: P>0,67).

O FAI foi estimado a partir das informações disponíveis no banco de dados, observando-se ausência da influência dos fatores dietéticos avaliados sobre a proporção da FDNpd digerida no rúmen e intestinos. O valor médio da proporção de digestão da FDNpd no rúmen foi de 89±1,9%. Sendo assim, FAI = 1,12 (FAI = 1/0,89).

O banco de dados utilizado é limitado no sentido de ser composto somente por dietas exclusivas de volumosos. Considerando-se que concentrados apresentam-se em tamanhos de partículas inferiores àqueles observados em forragens, faz-se lógica a suposição de menor tempo de retenção para a fibra de concentrados. A quantidade de informações em que se contrastam a taxa de passagem da fibra de forragens e concentrados em um mesmo experimento é limitada em condições brasileiras. Desta forma, aproximando-se a partir do experimento realizado por Bürger et al. (2000), assumiu-se que a taxa de passagem ruminal da fibra de concentrados seja aproximadamente 1,8 vez aquela observada para a forragem basal. Assim:

$$kp(C) = kp(F) \times 1{,}8 \qquad (4.20);$$

em que: kp(C), taxa de passagem da FDNpd de concentrados (h^{-1}).

Em função da ausência de informações em condições brasileiras, para dietas compostas exclusivamente por concentrados, sugere-se o cálculo da taxa de passagem ruminal para esta condição de alimentação de acordo com a equação proposta pelo NRC (2001):

$$kp = 0{,}02904 + 0{,}001375 \times CMS - 0{,}00020 \times CONC \qquad (4.21);$$

em que: CMS, consumo voluntário de MS (g/kg de peso corporal); e CONC, nível de concentrado na dieta (% da MS).

Torna-se importante ressaltar que a equação (4.21) se refere à MS total do concentrado e não à FDNpd propriamente dita. Contudo, considerando-se que a aplicação da mesma seria restrita a dietas compostas exclusivamente com concentrados, pressupõe-se que, nestas circunstâncias, a taxa de passagem da FDNpd se aproxime da taxa de passagem do concentrado integral. Contudo, esta pressuposição carece ainda de validações em condições brasileiras.

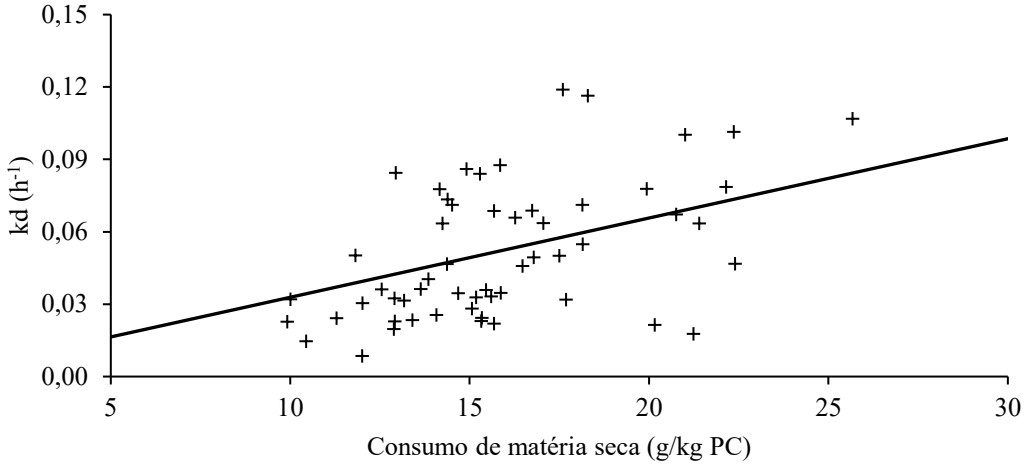


Figura 4.5 - Relação entre o consumo voluntário de matéria seca e a taxa de degradação (kd) da fibra em detergente neutro potencialmente digestível em dietas exclusivas de volumosos (a linha contínua representa a equação 4.18).

Sub-modelo para PB

Inicialmente, o sub-modelo destinado à avaliação da fração digestível da PB foi baseado nos mesmos pressupostos adotados para EE e CNF (Detmann et al., 2006b), conforme equações (4.1) a (4.8), resultando em:

$$PB_{vd} = 0{,}78 \times PB \quad (4.22);$$

em que: PB_{vd}, PB verdadeiramente digestível (% da MS); e PB, teor dietético de PB (% da MS).

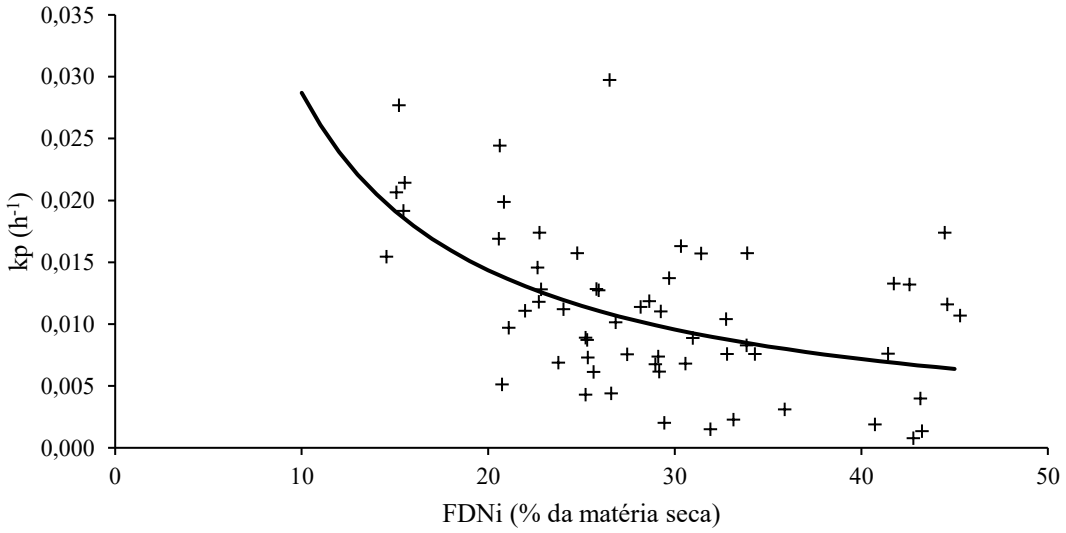


Figura 4.6 - Relação entre a concentração dietética de fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) e a taxa de passagem (kp) da fibra em detergente neutro potencialmente digestível em dietas exclusivas de volumosos (a linha contínua representa a equação 4.19).

Neste caso, a conversão para fração aparentemente digestível, considerando-se as diferentes categorias animais, é realizada pela utilização das estimativas de contribuição metabólica fecal correspondentes (Tabela 4.1).

Contudo, observações posteriores permitiram evidenciar que, em virtude da associação intensa e complexa dos compostos nitrogenados à fração fibrosa insolúvel em alimentos tropicais, a PB não poderia ser considerada como uma entidade nutricional homogênea (Detmann et al., 2008c). Contudo, Azevêdo et al. (2011) verificaram que a aplicação do conceito uni-compartimental, no qual a PB é assumida como entidade nutricional homogênea, propiciou estimativas

mais acuradas quando foram avaliados alguns subprodutos e resíduos agroindustriais. Assim, embora o conceito representado pela equação (4.22) não seja recomendado de forma geral, o mesmo poderia ser aplicado para utilização em subprodutos agroindustriais.

A partir das evidências de comportamento digestivo heterogêneo da PB, sub-modelo foi desenvolvido considerando-se dois diferentes sub-compartimentos (Detmann et al., 2008c), cuja aproximação química é dada por:

$$PBCC \cong PB - PIDN \quad (4.23a);$$

$$PBPC \cong PIDN \quad (4.23b);$$

em que: PBCC, PB de conteúdo celular; PBPC, PB de parede celular; e PIDN, proteína insolúvel em detergente neutro; sendo todos os termos expressos como percentagem da MS.

Segundo derivações de Detmann et al. (2008c), a PBCC apresentaria comportamento digestivo homogêneo similar aos demais componentes não-fibrosos (EE e CNF) (Equação 4.8), ao passo que, por pressuposição, a utilização da PBPC seria similar àquela observada para a FDN. Desta forma, a fração verdadeiramente digestível da PB seria expressa, considerando-se as aproximações químicas representadas na equação (4.23), por:

$$PB_{vd} = D_{vPBCC} \times PBCC + D_{PBPCpd} \times PBPC_{pd} \quad (4.24a);$$

$$PB_{vd} = D_{vPBCC} \times (PB - PIDN) + D_{PBPCpd} \times (PIDN - PIIDN) \quad (4.24b);$$

em que: PB_{vd}, PB verdadeiramente digestível (% da MS); D_{vPBCC}, coeficiente de digestibilidade verdadeiro da PBCC (g/g); $PBPC_{pd}$, PB de parede celular potencialmente digestível (% da MS); D_{PBPCpd}, coeficiente de digestibilidade da PBPC potencialmente digestível (g/g); e PIIDN, proteína indegradável insolúvel em detergente neutro (% da MS).

Na segunda edição do Sistema BR-CORTE, assumiu-se como estimativa para o coeficiente de digestibilidade verdadeiro da PBCC o valor 0,98 g/g (Van Soest, 1994; Detmann et al., 2006c; 2008c). Contudo, para melhor adequação às estimativas obtidas com dados brasileiros, este coeficiente foi alterado para 0,95, similar ao que é aplicado para estimação dos CNF verdadeiramente digestíveis (Equação 4.10). Como coeficientes de digestibilidade da PBPC, seguindo-se os pressupostos adotados na segunda edição do Sistema BR-CORTE, assumiu-se estimativas similares àquelas utilizadas para a porção fibrosa do alimento/dieta, as quais deixam de ser constantes, passando a variar em função das condições dietéticas e de alimentação, conforme descrito nas equações (4.15) a (4.21).

O conceito analítico de PIIDN foi definido por Detmann et al. (2004b) como aproximação ao valor paramétrico da proteína indegradável da parede celular, consistindo da avaliação da PB residual associada à FDNi.

No entanto, como ressaltado previamente, tal aproximação analítica pode constituir empecilho em algumas situações, em virtude da não disponibilidade de animais fistulados. Desta forma, desenvolveu-se equação alternativa para obtenção dos valores de PIIDN a partir das concentrações de proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) utilizando informações de alimentos produzidos em condições tropicais (Detmann et al., 2010a; n = 540), a qual é dada por:

$$PIIDN = PIDN \times e^{-(0,8188+0,1676 \times PIDA)} \quad (4.25);$$

em que: PIDA, proteína insolúvel em detergente ácido (% da MS), sendo os demais termos definidos anteriormente (% da MS).

Para o caso de a aproximação química para PIIDN ser adotada, a equação (4.24b) pode ser reescrita como:

$$PB_{vd} = 0,95 \times (PB - PIDN) + D_{vPBPC} \times \{PIDN \times [1 - e^{-(0,8188+1,1676 \times PIDA)}]\} \quad (4.26);$$

Deve se ressaltar que a aproximação química da PIIDN via PIDA apresenta algumas limitações, em virtude da PIIDN constituir conceito biológico de alta variabilidade (Henriques et al., 2007; Detmann et al., 2010a). Assim, esta solução deve ser

utilizada com cautela; sendo preferível, quando viável, a estimação da PIIDN por método de natureza biológica. Sampaio et al. (2012) verificaram que a estimação da PIIDN por intermédio de incubações *in situ* (proteína associada à FDNi) propicia estimativas mais exatas e precisas em comparação ao uso da aproximação química.

Para o caso da utilização da aproximação empírica para o cálculo do coeficiente de digestilidade da fração FDNpd (Equações 4.18 a 4.21), o cômputo da fração verdadeirametne digestível da PB dever ser feito separadamente para as frações forragem e concentrado da dieta adaptando-se a equação (4.26):

$$PB_{vd} = 0{,}95 \times (PB - PIDN) + \frac{kd}{kd + kp} \times \{PIDN \times [1 - e^{-(0{,}8188 + 1{,}1676 \times PIDA)}]\} \quad (4.27).$$

Para o cálculo da fração digestível da PBPC optou-se por não adotar fator de correção para a digestão intestinal, por considerar-se que a digestão da fração fibrosa ocorreria basicamente em nível de intestino grosso. Neste caso, a PB digerida neste compartimento seria basicamente utilizada para crescimento microbiano, sem aproveitamento para o animal.

De forma geral, Detmann et al. (2008c), Magalhães et al. (2010) e Sampaio et al. (2012) observaram que o conceito bi-compartimental produziu estimativas mais acuradas da fração aparentemente digestível da PB em dietas baseadas em forragens tropicais em comparação ao conceito uni-compartimental. Assim, a utilização do conceito bi-compartimental é recomendada, facultando-se o uso do conceito uni-compartimental somente para a avaliação de subprodutos agroindustriais.

Sistema somativo para NDT e conversão em energia digestível e energia metabolizável

Os conteúdos dietéticos de NDT (% da MS) são obtidos pela soma algébrica das estimativas produzidas por cada sub-modelo para cada fração digestível de acordo com a categoria animal a partir da equação:

$$NDT = PB_{ad} + CNF_{ad} + FDN_d + 2{,}25 \times EE_{ad} \quad (4.28a);$$

$$NDT = (PB_{vd} - CM_{PB}) + (CNF_{vd} - CM_{CNF}) + FDN_d + 2{,}25 \times (EE_{vd} - CM_{EE}) \quad (4.28b);$$

$$NDT = PB_{vd} + CNF_{vd} + FDN_d + 2{,}25 \times EE_{vd} - (CM_{PB} + CM_{CNF} + 2{,}25 \times CM_{EE}) \quad (4.28c);$$

$$NDT = PB_{vd} + CNF_{vd} + FDN_d + 2{,}25 \times EE_{vd} - FM_{NDT} \quad (4.28d);$$

em que: NDT, teor dietético de NDT (% da MS); PB_{ad}, CNF_{ad}, EE_{ad}, frações aparentemente digestíveis de PB, CNF e EE, respectivamente (% da MS); PB_{vd}, CNF_{vd}, EE_{vd}, frações verdadeiramente digestíveis de PB, CNF e EE, respectivamente (% da MS); FDN_d, fração digestível de FDN (% da MS); CM_{PB}, CM_{CNF}, CM_{EE}, contribuições metabólicas fecais de PB, CNF e EE, respectivamente (% da MS); FM_{NDT}, fração metabólica fecal total para o cômputo do NDT (% da MS; Tabela 4.1); e 2,25, constante de Atwater para equalização entre lipídeos e carboidratos.

A estimação da concentração de energia digestível (ED) da dieta é realizada considerando a contribuição energética específica de cada fração verdadeiramente digestível e descontando-se a energia da fração metabólica fecal:

$$ED = 0{,}056 \times PB_{vd} + 0{,}042 \times CNF_{vd} + 0{,}042 \times FDN_d + 0{,}094 \times EE_{vd} - FM_{ED} \quad (4.29);$$

em que: ED, energia digestível (Mcal/kg MS); e $FM_{ED,}$ fração metabólica fecal para o cálculo de ED (Mcal/kg MS; Tabela 4.1). Os demais termos foram previamente definidos.

A conversão da ED em energia metabolizável (EM) é realizada por intermédio da equação desenvolvida no Laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais:

$$EM = 0{,}9455 \times ED - 0{,}303 \quad (4.30);$$

em que: EM, energia metabolizável (Mcal/kg MS).

RECOMENDAÇÕES DE MÉTODOS DE ANÁLISES QUÍMICAS

Os métodos químicos de análises de alimentos sugeridos para a avaliação dos teores de MS, matéria orgânica (MO), PB, EE, FDA, PIDN, PIDA, FDNi, PIIDN e lignina são resumidos na Tabela 4.2. No geral, os métodos aplicados às análises químicas seguem as recomendações estabelecidas no livro Métodos para Análises de Alimentos do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal (INCT-CA, Detmann et al., 2012), com algumas exceções ressaltadas no texto. Estas exceções se devem à ausência de métodos no referido livro ou a alterações já definidas e que serão estabelecidas na segunda edição ainda em preparação.

Para avaliação da concentração de nitrogênio total ou PB, recomenda-se o uso do método de Kjeldhal (método INCT-CA N-001/1) com a seguinte modificação: utilizar na digestão a proporção entre sulfato de sódio e sulfato de cobre de 20:1 (Silva et al., 2016). Estas mesmas modificações também devem ser aplicadas às avaliações dos compostos nitrogenados associados às frações fibrosas (PIDN, PIDA e PIIDN).

Os teores de FDN e FDA devem ser estimados por intermédio de extrações em equipamentos do tipo *fiberthech* (Van Soest e Robertson, 1985; Mertens, 2002) ou em autoclave (Barbosa et al., 2015), seguindo-se as recomendações de reagentes previstas no livro Método para Análise de Alimentos do INCT-CA (Detman et al., 2012). As análises de FDN e FDA devem ser realizadas utlizando-se cadinhos filtrantes. Para ambos os casos, o uso de *filter bags* deve vista com cautela devido à observação de vícios sobre os teores de FDN, principalmente (Gomes et al., 2011a; Barbosa et al., 2015). Adaptações consequentes são projetadas para as análises de PIDN, PIDA, cinzas insolúveis em detergente neutro (CIDN) e lignina. Em particular, as análises de FDN devem ser realizadas com a utilização de α-amilase termoestável (Mertens, 2002) e a devida correção para os teores de PIDN e CIDN (Detmann e Valadares Filho, 2010). O uso de sulfito de sódio não é recomendado devido à solubilização de proteína associada à fibra, de lignina e outros compostos (Gomes et al., 2012). A análise de FDA se faz de forma sequencial à FDN.

Ressalta-se, contudo, que o uso de *filter bags* e de extratores adaptados a este tipo de recipiente (e.g., Ankom^{220}) ainda permanece recomendado para as avaliações de FDNi. Somente atenta-se que os extratores devem, obrigatoriamente, trabalhar sob ambiente pressurizado. Equipamentos adaptados para uso em pressão atmosférica podem levar à obtenção de dados viesados (Gomes et al., 2011a).

O cálculo da concentração de FDNcp é dado por:

$$FDNcp = FDN \times \frac{(100 - PIDN - CIDN)}{100} \quad (4.31);$$

em que: FDNcp, teor de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (% da MS); FDN, teor de fibra em detergente neutro (% da MS); PIDN, teor de proteína insolúvel em detergente neutro (% da FDN); CIDN, teor de cinzas insolúveis em detergente neutro (% da FDN).

Ressalta-se que a correção para os teores de FDN (Equação 4.31) deve ser realizada para que não se subestime o teor total de CNF dos alimentos ou se compute de forma duplicada a contribuição energética de parte da PB (PIDN). Por outro lado, a correção evita a contabilização errônea de parte da matéria mineral (CIDN) como componente energético dos alimentos (Detmann et al., 2008b; Detmann e Valadares Filho, 2010).

Tabela 4.2 - Resumo de métodos sugeridos para a avaliação de alimentos para predição da concentração dietética de NDT

Componente	Método	Descrição Geral	Referência
MS	Pré-secagem	55-60ºC/48-72 horas; equipamento: estufa com ventilação forçada	1
	Secagem definitiva	a.105ºC/3 horas, p/ rações com teor de ureia superior a 10%; b.105ºC/16 horas, para os demais materiais; equipamentos: estufa não-ventilada, dessecador	2, 3
PB	Kjeldahl	Digestão em ácido sulfúrico (400ºC), destilação com hidróxido de sódio e titulação com ácido clorídrico	4*
EE	Randall	Tempo de imersão: 30 minutos; tempo de gotejamento: 60 minutos; taxa de condensação do solvente: 3-5 gotas/segundo; extrator sugerido: éter de petróleo	5
Cinzas	Calcinação	600ºC/3-4 horas; equipamentos: mufla, dessecador	6
Matéria Orgânica	Por diferença	MO = 100 – Cinzas	6
FDN, FDA	Sistema detergente	Teores avaliados por extrações convencionais em refluxo (*fibertech*) ou por micro-extração em autoclave	*
PIDN, PIDA	Sistema detergente	Avaliação pelo método de Kjeldahl após a extração com os respectivos detergentes	7*
CIDN	Sistema detergente	Avaliação da matéria mineral residual da FDN	8*
FDNi	Incubação *in situ*	Incubação *in situ* por 288 horas utilizando-se sacos F57 (Ankom®) ou de tecido não tecido (TNT, 100 g/m²), respectivamente. Massa de amostra: 20 mg MS/cm² de superfície. Extrair com detergente neutro	9
PIIDN	Incubação *in situ*	Avaliação da proteína associada à FDNi pelo método de Kjeldahl	9, 7*
Lignina	Ácido sulfúrico	Solubilização da celulose por hidrólise em H_2SO_4 (72% p/p) após tratamento prévio da amostra com detergente ácido	10*

[1] Método INCT-CA G-001/1. [2] Método INCT-CA G-003/1 [3] Thiex e Richardson (2003). [4] Método INCT-CA N-001/1. [5] Método INCT-CA G-005/1. [6] Método INCT-CA M-001/1. [7] Métodos INCT-CA N-004/1 e N-005/1. [8] Método INCT-CA M-002/1. [9] Método INCT-CA F-008/1. [10] Método INCT-CA F-005/1. * Ver comentários no texto.

Neste contexto, os teores de CNF são obtidos pela equação (Detmann e Valadares Filho, 2010):

$$CNF = MO - [(PB - PBu + Ur) + EE + FDNcp] \quad (4.32);$$

em que: PBu, PB oriunda da ureia (% da MS); e Ur, teor de ureia nas rações (% da MS).

DISCUSSÃO SOBRE AS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E MODIFICAÇÕES DO MODELO

Em relação à segunda edição do Sistema BR-CORTE (Detmann et al., 2010b), a estrutura dos sub-modelos utilizados para predição da fração verdadeiramente digestível do EE e dos CNF foi mantida (Equações 4.9 e 4.10), pois trabalhos de validação confirmaram sua exatidão (Detmann et al., 2008b; Magalhães et al., 2010; Azevêdo et al., 2011; Sampaio et al., 2012) e reiteraram a hipótese central de que ambos os componentes poderiam ser tratados como entidades nutricionais homogêneas, sendo seu comportamento digestivo adequadamente interpretado por intermédio dos fundamentos do teste de Lucas (Lucas e Smart, 1959; Lucas, 1960).

Adicionalmente, conforme relatado na segunda edição do Sistema BR-CORTE (Detmann et al., 2010b), parte do melhor desempenho do sistema somativo desenvolvido em condições brasileiras poderia ser atribuído à melhor adequação das frações metabólicas fecais (Tabela 4.1), as quais são necessárias para a adequada conversão das frações verdadeiramente digestíveis de EE, CNF e PB em frações compatíveis com digestibilidade aparente, base para o cômputo das estimativas da concentração de NDT. A dimensão da fração metabólica fecal é diretamente influenciada pelo fluxo de

nutrientes ao intestino grosso terminal, que implica alterações na atividade microbiana cecal (Ørskov, 1988), e pelo nível de componentes fibrosos na dieta (Arroyo-Aguilu e Evans, 1972), condições estas notadamente divergentes entre animais alimentados em condições tropicais e não tropicais (Detmann et al., 2008b).

Contudo, o sub-modelo inicialmente proposto para avaliação da fração digestível da FDN (Equação 4.12) apresentou baixa precisão (Detmann et al., 2008b; Azevêdo et al., 2011; Sampaio et al., 2012), notadamente para bovinos em crescimento e terminação (Detmann et al., 2007).

A baixa eficiência de predição deste sub-modelo poderia ser atribuída a dois fatores principais. Primeiramente, a consideração de fator constante de proteção à degradação ruminal da lignina sobre a FDN (parâmetro F; Equação 4.12), característica também intrínseca ao sub-modelo adotado pelo NRC (2001). A derivação do parâmetro F adotado na segunda edição do Sistema BR-CORTE foi realizada por Detmann et al. (2004a) empregando-se amostras de forragens tropicais e utilizando-se o método de análise de lignina por oxidação em permanganato de potássio. No entanto, o conjunto de amostras utilizado foi de certa forma restrito, pois, além da não contemplação de alimentos concentrados, foi composto por grande parte de amostras de gramíneas tropicais sob pastejo (e.g., capim-braquiária). Entende-se, contudo, que a relação entre a lignina e a fração FDNi não pode ser considerada homogênea entre alimentos (Palmonari et al., 2016), o que demandou uma primeira modificação nos pressupostos teóricos que deveriam reger a estimação da fração digestível da FDN.

Como ressaltado anteriormente, a fração FDNi, e consequentemente a fração FDNpd, constitui conceito biológico assintótico, ou seja, é definida quando não existem limitações temporais de exposição aos sistemas enzimáticos microbianos ruminais (Detmann et al., 2008a). A alta variabilidade entre amostras quanto à concentração de FDNi, e por conseguinte de FDNpd, indica que, embora a lignina seja o principal fator determinante da extensão de degradação da fibra (Van Soest, 1994), análises gravimétricas simples talvez não sejam capazes de predizer adequadamente todos os fatores determinantes dos limites assintóticos da degradação (Detmann et al., 2008b). Assim, a análise direta da fração FDNi por intermédio de ensaios de incubação ruminal *in situ* de longa duração seria a alternativa de maior plausibilidade biológica para o fracionamento da FDN dos alimentos.

Contudo, entende-se que existam limitações para a realização de tais ensaios devido à necessidade de disponibilidade de animais fistulados no rúmen e ao longo tempo demandado (Casali et al., 2008; Valente et al., 2011). Desta forma, equações de predição empíricas foram desenvolvidas a partir da análise de amostras de forragens (n = 371) e concentrados (n = 65), cujos resultados são expressos nas equações (4.13) e (4.14), respectivamente (Figuras 4.1 e 4.2). Para o ajuste destas equações, associações com diversos componentes dos alimentos foram devidamente investigadas [i.e., FDN, FDNcp, FDA, FDA corrigida para cinzas e proteína (FDAcp), lignina avaliada por hidrólise ácida e por oxidação com permanganato]. Um dos maiores avanços em relação aos pressupostos adotados na segunda edição do Sistema BR-CORTE reside sobre a consideração de modelos diferentes para forragens e concentrados.

Como ressaltado previamente, as correlações entre as diferentes características químicas consideradas e a fração FDNi mostraram-se mais fracas em relação à fração FDNpd (Tabela 4.3), o que possivelmente reflete a maior proporção de FDNpd em relação à FDNi na MS total dos alimentos. Sendo as frações complementares, melhores ajustamentos dos modelos foram obtidos considerando-se a fração FDNpd. No entanto, embora complementares em relação à FDN total, as frações FDNpd e FDNi, expressas como percentagem da MS, mostraram-se não correlacionadas (Tabela 4.3) devido, em maior escala, à alta variabilidade na concentração de FDN e, em menor escala, devido à alta variabilidade na partição da FDN nas frações potencialmente digestível e indigestível entre alimentos.

A característica básica para o ajustamento dos modelos para predição da fração FDNpd para forragens e concentrados residiu sobre a forte correlação observada com

a concentração de FDNcp (Tabela 4.3; Figuras 4.1 e 4.2). Esta relação assume característica lógica, considerando-se que, com raras exceções, a fração FDNpd compreende a maior parte da FDN total; refletindo, assim, relação direta de proporcionalidade. Estas correlações foram levemente mais fortes em relação à FDN (Tabela 4.3) possivelmente devido à baixa influência da proteína e minerais da parede celular sobre a degradação potencial da fibra. Neste sentido, relações com outras características da fibra foram agregadas ao modelo baseado na concentração de FDNcp a fim de incorporar elementos discriminatórios entre alimentos em função do potencial de utilização ruminal da fibra.

Tabela 4.3 - Correlações lineares de Pearson para as concentrações das frações FDNpd e FDNi e diferentes características químicas em forragens e concentrados

	Alimento[2]			
	Forragens		Concentrados	
Característica[1]	FDNpd	FDNi	FDNpd	FDNi
FDN	0,838 (<0,001)	0,541 (<0,001)	0,950 (<0,001)	0,427 (<0,001)
FDNcp	0,868 (<0,001)	0,576 (<0,001)	0,967 (<0,001)	0,408 (<0,001)
FDA	0,539 (<0,001)	0,632 (<0,001)	0,811 (<0,001)	0,344 (0,004)
FDAcp	0,534 (<0,001)	0,603 (<0,001)	0,803 (<0,001)	0,340 (0,005)
Lignina (H)	-0,553 (<0,001)	-0,106 (0,040)	0,059 (0,643)	0,911 (<0,001)
Lignina (Ox)	-0,505 (<0,001)	-0,080 (0,131)	0,502 (<0,001)	0,391 (0,001)
FDNpd × FDNi	0,095 (0,067)		0,163 (0,195)	

[1] FDN, fibra em detergente neutro; FDNcp, FDN corrigida para cinzas e proteína; FDA, fibra em detergente ácido; FDAcp, FDA corrigida para cinzas e proteína; Lignina(H), lignina avaliada por hidrólise em ácido sulfúrico; Lignina (Ox), lignina avaliada por oxidação em permanganato de potássio. [2] Os valores entre parênteses representam o nível descritivo de probabilidade para H_0: $\rho = 0$.

Particularmente para alimentos volumosos, o modelo para predição da fração FDNpd foi acrescido dos efeitos linear e quadrático da FDA e do efeito linear da concentração de lignina (Equação 4.13).

A lignina exerce papel central sobre a extensão da degradação da fibra no rúmen (Van Soest, 1994). As correlações negativas entre lignina e fração FDNpd para forragens corroboram esta afirmativa, implicando em coeficiente de regressão negativo na equação (4.13). Embora evidências apontem para correlações mais fortes entre o potencial de degradação da FDN de forragens tropicais e a lignina analisada por oxidação em permanganato (Gomes et al., 2011b), o conjunto de amostras avaliado evidenciou melhor associação baseada nas concentrações de lignina avaliadas por hidrólise em ácido sulfúrico (Tabela 4.3), o que sugeriu modificações nos métodos de análises em relação à segunda edição do Sistema BR-CORTE (Tabela 4.2) com a retirada da recomendação do método por oxidação em permanganato. De um ponto de vista pragmático, esta recomendação mostra-se vantajosa, uma vez que o método da hidrólise em ácido sulfúrico demanda menor labor e possui menor número de etapas e menor custo em comparação ao método da oxidação em permanganato. Contudo, alerta-se que a aplicação do método da hidrólise pode levar à superestimação da concentração de lignina em alimentos com alta concentração de cutina, devido à consideração conjunta destes componentes (lignina e cutina) no resíduo avaliado como lignina (Van Soest, 1994). Para a maioria dos alimentos, a contribuição da cutina pode ser considerada de baixa relevância. Contudo, para alimentos ricos em cutina, como os derivados da mamona e as cactáceas, o método da oxidação em permanganato pode produzir resultados mais verossímeis da concentração de lignina.

Diferentemente do observado para a FDN, a correção para cinzas e proteína não elevou as correlações entre FDNpd e FDA (Tabela 4.3). Assim, o modelo (Equação 4.13) baseou-se nas concentrações de FDA sem correções. A despeito da PIDA ser demandada para estimação da fração verdadeiramente digestível da PB por aproximação química (Equações 4.26 e 4.27), a exclusão do uso da FDAcp reduz o labor analítico, por eliminar a análise de cinzas insolúveis em detergente ácido (CIDA) da rotina laboratorial. Cabe ressaltar que a extração sequencial da FDA remove grande parte da proteína de parede celular e da sílica biogênica (Van Soest, 1994), tornando a participação da PIDA e das CIDA inferiores à participação da PIDN e das CIDN na MS total da amostra, o que parece ampliar a justificativa das correlações entre FDNpd e FDAcp serem similares ou mais fracas em relação às correlações entre FDNpd e FDA.

Embora a correlação entre FDNpd e FDA tenha sido incialmente positiva (Tabela 4.3), sua inclusão no modelo se deu por intermédio de efeito negativo sobre a FDNpd (Equação 4.13). Esta inversão na direção da associação reflete limitação do coeficiente momento produto de Pearson quando aplicado a grupos de variáveis altamente correlacionadas, pois sua estimativa para qualquer par de variáveis pode ocultar influências das demais variáveis avaliadas (Spiegel, 1971). No entanto, apesar da inversão na direção da correlação, a inclusão da FDA ao modelo melhorou seu ajustamento e contribuiu significativamente para a explicabilidade da relação ($P \leq 0,04$). A conformação quadrática da equação (4.13) sugere que haveria um ponto de mínima concentração de FDNpd em função da FDA, com subsequente ampliação. Contudo, o efeito da FDA sobre a FDNpd é continuamente decrescente no domínio matemático de suas concentrações. O estudo da derivada parcial da concentração de FDNpd em função da concentração de FDA indica que que incrementos em FDNpd somente ocorreriam em limites cabíveis ao campo da extrapolação e sob concentrações biologicamente pouco prováveis de FDA (FDA ≥ 64,2% da MS).

A presença da FDA no modelo (Equação 4.13) deve ser vista, contudo, com cautela. De um ponto de vista teórico, deve se ressaltar que a FDA não supre nenhuma definição de fibra dietética ou fibra insolúvel (Mertens, 2003), não devendo, portanto, ser considerada conceito nutricionalmente válido de fibra. A utilização da FDA em regressões diretas para predição da digestibilidade ignora as bases fisiológicas que relacionam os componentes fibrosos com a digestibilidade. A digestão de todas as frações fibrosas insolúveis é limitada principalmente pela lignificação. Neste contexto, o estabelecimento de relações entre FDA e características de digestão, principalmente da fibra insolúvel, são inconsistentes do ponto de vista nutricional (Detmann, 2010) e representam tão somente associações estatísticas. Biologicamente, correlações negativas entre FDA e digestibilidade da fibra insolúvel devem ser atribuídas à lignina, e não à FDA *per si* (Detmann, 2010). Assim, o efeito negativo da FDA observado no modelo, mesmo com a presença da lignina (Equação 4.13) parece refletir apenas efeito de adequação na participação proporcional dos diferentes macro-componentes insolúveis da parede celular (celulose, hemicelulose e lignina) na FDN das forragens, o que pode influenciar sua degradação potencial devido às diferentes ligações químicas e interações físicas existentes entre estes e à diferente participação destes componentes nos diferentes tecidos vegetais, os quais variam em participação na planta conforme espécie e estádio de maturidade.

Para alimentos concentrados, o modelo para predição da fração FDNpd foi acrescido do efeito linear negativo da FDA (Equação 4.14). Embora as concentrações de lignina mensuradas por oxidação tenham se correlacionado negativamente com a FDNpd (Tabela 4.3), sua inclusão no modelo não proporcionou contribuição significativa ($P>0,46$). Como ressaltado anteriormente, os efeitos centrais sobre o potencial de degradação da FDN devem ser atribuídos à lignina (Van Soest, 1994) e correlações entre esta característica e a FDA devem ser vistas apenas como associações estatísticas. Assim, para alimentos concentrados, a FDA parece refletir diretamente a ação da lignina, pois esta seria proporcionalmente mais representativa no resíduo insolúvel em detergente ácido (celulose + lignina) em comparação ao resíduo

insolúvel de detergente neutro (hemicelulose + celulose + lignina). Por outro lado, a avaliação de lignina em concentrados pode apresentar dificuldades inerentes devido à sua baixa concentração, reduzindo a precisão das mensurações gravimétricas. Assim, a vantagem apontada aqui para a FDA em alimentos concentrados se deve ao fato de a lignina estar contida na FDA, permitindo a quantificação da mesma em resíduo de maior massa, sem a necessidade de um segundo procedimento químico para separação da celulose, o que também implica em maior praticidade, maior rapidez e menor custo das análises.

No modelo aplicável à concentração de FDNpd em concentrados introduziu-se variável "dummy" para correção das estimativas em função de alimentos com fibra de menor potencial de degradação (Equação 4.14). Esta correção foi incorporada somente em nível de intercepto, pois a inclinação de ambos os grupos de alimentos concentrados em função da concentração de FDNcp mostrou-se similar (Figura 4.2). Embora o grupo de alimentos com fibra de menor degradação potencial no conjunto de dados contemplasse apenas subprodutos do algodão e farelo de trigo, avaliações subsequentes utilizando-se a base de dados CQBAL 3.0 (Valadares Filho et al., 2015) revelaram que a correção por intermédio da variável "dummy" seria também aplicável a subprotudos derivados do girassol (fartelo e torta) e ao MDPS.

O segundo fator influente sobre a baixa precisão da fração digestível da FDN a partir do sub-modelo adotado na segunda edição do Sistema BR-CORTE reside sobre a adoção de coeficientes de digestibilidade fixos para a fração FDNpd, limitação previamente apontada por Detmann et al. (2010b). O coeficiente de digestibilidade da FDNpd resulta da integração entre as dinâmicas de degradação e trânsito no trato gastrintestinal dos ruminantes e, consequentemente, de todos os fatores com potencial de alteração sobre estas características. Embora os coeficientes de digestibilidade da FDNpd previamente adotados sejam distintos entre categorias animais, os mesmos foram derivados da análise conjunta de baixo número de experimentos (Detmann et al., 2007), o que não permitiu a contemplação de grande amplitude em relação às diferentes situações dietéticas observadas em condições brasileiras. Esta questão mostrou-se particularmente relevante para bovinos em crescimento e terminação, pois os dados originalmente utilizados apresentavam grande número de observações derivadas de experimentos com animais manejados em pastos tropicais de baixa qualidade (Detmann et al., 2007), o que, em conjunto com os entraves previamente relatados para a estimação da FDNi, parece ter implicado em viés positivo sobre as estimativas da fração digestível da FDN para esta categoria animal.

A primeira proposta para obtenção de estimativas para o coeficiente de digestiblidade baseou-se na avaliação meta-analítica de dados (doravante denominada aproximação meta-analítica). A integração de diferentes estudos por intermédio de técnicas de meta-análise apresenta a vantagem evidente de contemplação de grande amplitude de condições dietéticas, o que seria inviável de ser obtido por intermédio de um ou poucos experimentos. Dados oriundos de 45 dietas com vacas em lactação e 213 dietas com bovinos em crescimento e terminação (médias de tratamentos) foram compilados. Em princípio, objetivou-se ajustar equação única para ambas as categorias animais, visando à maior confiabilidade devido ao maior número de condições dietéticas. Contudo, as avaliações iniciais permitiram evidenciar que associações ilógicas do ponto de vista biológico estavam sendo apontadas pelas equações (e.g., associação positiva entre concentração dietética de EE e a digestão da fibra), um possível reflexo de ocorrência do Paradoxo de Simpson, o qual indica a reversão da direção de uma associação quando se combinam dados de vários grupos para a formação de um único grupo (Moore, 1995). Desta forma, equações distintas foram ajustadas para cada grupo. Adotou-se o método *backward regression* (Draper e Smith, 1966) com ajuste para o efeito aleatório dos diferentes experimentos; considerando-se, contudo, a pré-seleção de variáveis por intermédio das estimativas de correlação linear de Pearson.

Para bovinos em crescimento e terminação, as correlações mais fortes com o coeficiente de digestibilidade da FDNpd foram

estabelecidas com a concentração dietética de PB (r = 0,18; P<0,03) e com o consumo voluntário de FDNi (r = 0,25; P<0,01). No entanto, devido às dificuldades de obtenção de estimativas do consumo de FDNi, esta variável foi substituída no processo de ajustamento pelo consumo voluntário de MS (estimável pelo Sistema BR-CORTE) e concentração dietética de FDNi, haja vista que o produto de ambos resulta no consumo de FDNi. Distinção entre diferentes grupos de forragens foi necessária para o correto ajustamento da equação, as quais foram agrupadas em forragens com alto (i.e., silagens de milho e sorgo) e baixo (i.e., cana-de-açúcar, fenos de gramíneas, silagens de gramíneas, gramíneas *in natura*) teor de amido (Equação 4.15; Figuras 4.7 e 4.8).

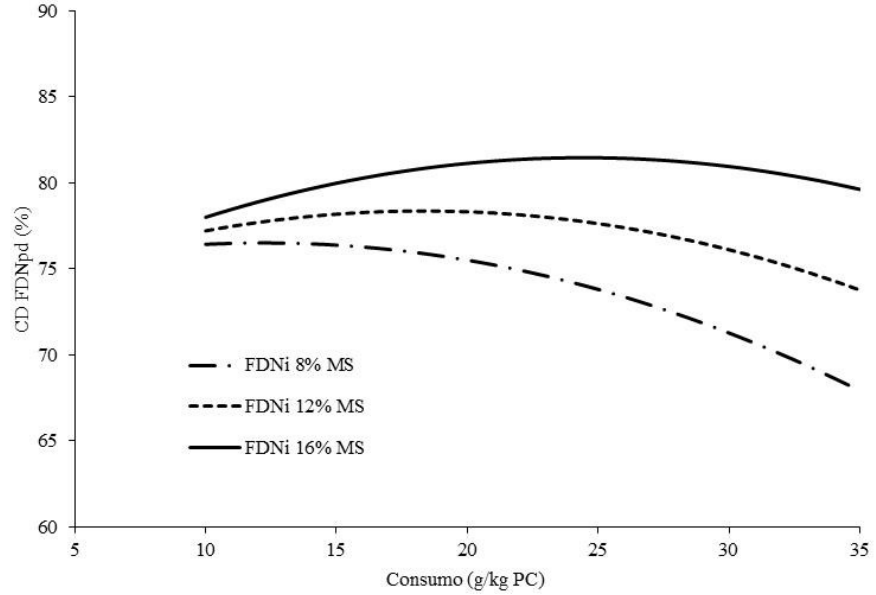


Figura 4.7 - Variações no coeficiente de digestibilidade da fibra em detergente neutro potencialmente digestível (CD FDNpd) em função do consumo voluntário de matéria seca e da concentração dietética de FDNi para bovinos em crescimento alimentados com forragens de baixo teor de amido (Equação 4.15; assumiu-se dieta com 12% de PB com base na MS).

A avaliação da equação (4.15) pemitiu evidenciar efeito positivo da concentração de FDNi na dieta sobre o coeficiente de digestibilidade da FDNpd tanto para forragens de baixo (Figura 4.7) como de alto (Figura 4.8) teor de amido. Este efeito está associado ao fato de a fração indigestível da fibra possuir, proporcionalmente, maior efeito de repleção ruminal em comparação à fração potencialmente degradável, pois sua retirada do rúmen ocorre somente por passagem (Waldo et al., 1972; Detmann et al., 2015). O aumento no efeito de repleção ruminal da FDN com a maior participação da fração FDNi implica em maior tempo de retenção, ampliando o tempo de exposição da fração FDNpd à ação dos microrganismos ruminais. Este efeito da concentração dietética de FDNi mostrou-se, contudo, mais proeminente quando forragens de alto teor de amido são consideradas (Figura 4.8).

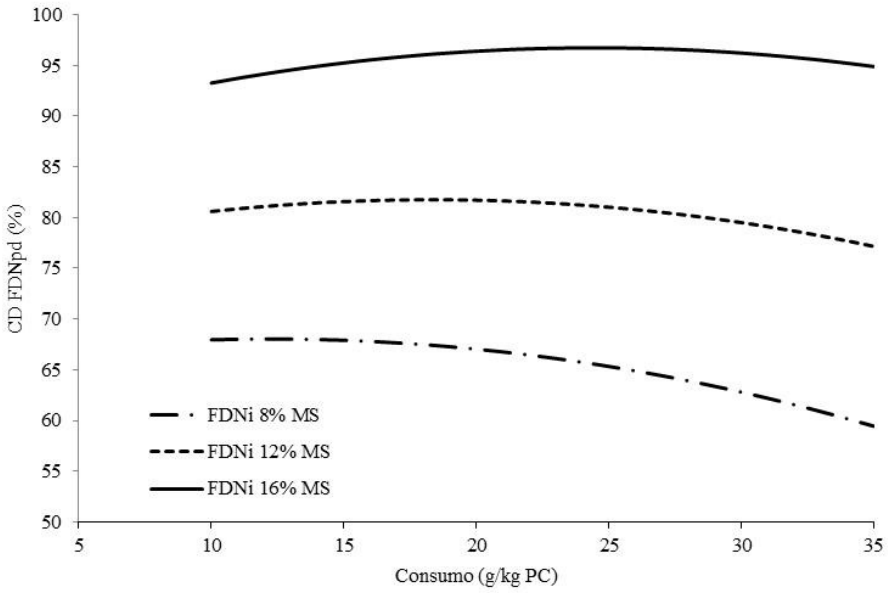


Figura 4.8 - Variações no coeficiente de digestibilidade da fibra em detergente neutro potencialmente digestível (CD FDNpd) em função do consumo voluntário de matéria seca e da concentração dietética de FDNi para bovinos em crescimento alimentados com forragens de alto teor de amido (silagens de milho ou sorgo; Equação 4.15; assumiu-se dieta com 12% de PB com base na MS).

Devido ao efeito de interação entre tipo de forragem e concentração de PB na dieta, efeitos positivos associados ao aumento da PB dietética somente foram significantemente observados em forragens de alto teor de amido (Equação 4.15). Efeitos proeminentemente positivos da disponibilidade de compostos nitrogenados na dieta sobre a utilização efetiva da fibra no rúmen são normalmente observados quando dietas deficitárias em nitrogênio são oferecidas aos animais (Detmann et al., 2009), característica pouco representada no banco de dados aqui utilizado. Contudo, com o aumento na participação do amido na dieta, efeitos deletérios sobre a utilização da fibra são verificados, os quais são atribuídos a quedas no pH ruminal a valores aquém do adequado à atividade fibrolítica ou ao aumento na competição por substratos entre espécies fibrolíticas e não fibrolíticas (Mertens e Loften, 1980; Mould et al., 1983; Arroquy et al., 2005; Carvalho et al., 2011). Contudo, resultados obtidos em condições tropicais permitem evidenciar que o aumento na disponibilidade dietética de compostos nitrogenados é capaz de reduzir a competição entre espécies microbianas, reduzindo o efeito deletério do amido sobre a utilização ruminal da fibra (Costa et al., 2009; Lazzarini et al., 2016). Isto parece justificar o efeito positivo da concentração dietética de PB sobre o coeficiente de digestibilidade da FDNpd em forragens de alto teor de amido (Equação 4.15).

De uma forma geral, para bovinos em crescimento e terminação, observou-se efeito negativo do consumo sobre o coeficiente de digestibilidade da FDNpd (Girard e Dupuis, 1988; Figuras 4.7 e 4.8). Sob condições normais de alimentação (sem desbalanços drásticos), entende-se que a taxa de passagem ruminal é amplamente influenciada pelo consumo (Pittroff e Kothmann, 1999). Desta forma, maiores consumos estão associados a maiores taxas de passagem e, consequentemente, menor tempo de retenção ruminal e menor tempo para ação microbiana sobre a fibra. Contudo, percebe-se que o efeito do consumo sobre o coeficiente de digestibilidade da FDNpd se torna menos prominente na medida que se reduz a qualidade da dieta (aumento na concentração de FDNi), tornando os valores praticamente estáveis na faixa de consumo voluntário avaliada (Figuras 4.7 e 4.8). Entende-se que o consumo voluntário por bovinos é regulado por múltiplos mecanismos que agem simultaneamente. Contudo, variações nas

condições dietéticas podem fazer com que mecanismos reguladores se alternem em importância na soma total das influências sobre a determinação do consumo voluntário (Detmann et al., 2014). Neste sentido, com a redução na qualidade da dieta, mecanismos de regulação física do consumo podem se tornar mais proeminentes devido ao maior tempo de retenção da digesta no rúmen, reduzindo a influência do nível de consumo sobre a passagem e tornando menos evidentes as diferenças quanto ao coeficiente de digestibilidade da FDNpd.

O modelo adotado para vacas em lactação mostrou-se mais simples em relação ao modelo adotado para bovinos em crescimento e terminação (Equação 4.16; Figura 4.9). Para esta categoria animal, o coeficiente de digestibilidade da FDNpd correlacionou-se negativamente com o nível de concentrado da dieta ($r = -0,31$; $P<0,05$) e com o consumo voluntário de MS ($r = -0,36$; $P<0,04$). Correlação negativa entre o coeficiente de digestibilidade da FDNpd e a concentração de PB na dieta foi também observada ($r = -0,47$; $P<0,01$). Contudo, sua inclusão não resultou em contribuição significativa para o ajustamento da equação, possivelmente devida à forte correlação entre nível de concentrado e concentração de PB na dieta ($r = 0,64$; $P<0,01$). Em outras palavras, os efeitos da PB estariam refletindo confundimento com o nível de concentrado na dieta. A maior simplicidade do modelo aplicável a vacas em lactação constitui possível reflexo da maior homogeneidade das dietas ofertadas a esta categoria animal em comparação àquelas oferecidas a bovinos em crescimento e terminação.

Em geral, o aumento no consumo voluntário refletiu reduções no coeficiente de digestibilidade da FDNpd por motivos similares aos discutidos para bovinos em crescimento e terminação (Figura 4.9). Similarmente, o aumento no teor de concentrados, expresso por intermédio de interação com o consumo voluntário de MS (Equação 4.16), exerce efeitos negativos sobre a digestibilidade da fibra. Contudo, estes efeitos se tornam mais proeminentes na medida em que se amplia o nível de concentrado e o consumo total. Maiores níveis de concentrado e consumo voluntário implicam em maior consumo de CNF, causando redução nas condições propícias para a degradação ruminal da fibra devido ao menor pH e à maior competição entre espécies microbianas, como previamente ressaltado.

Por outro lado, a amplitude dos coeficientes de digestibilidade da FDNpd obtidos para vacas em lactação permite evidenciar que o coeficiente previamente adotado para esta categoria animal na segunda edição do Sistema BR-CORTE (0,67) mostra-se subestimado para a grande maioria das condições dietéticas.

Embora as equações (4.15) e (4.16) tenham apresentado ajuste adequado (Figuras 4.3 e 4.4), ressalta-se que estes modelos são baseados exclusivamente em dados experimentais e não em bases biológicas ou teóricas. Portanto, mesmo com ajuste adequado, os modelos devem ser considerados específicos para as condições nas quais os dados foram obtidos (Forbes e France, 1993) e seu valor preditivo restringe-se ao domínio matemático das variáveis independentes de cada modelo. Assim, combinações dietéticas atípicas (e.g., dietas com silagem de milho com 22% de FDNi e 15% de PB para bovinos em crescimento e terminação) poderão produzir valores de coeficiente de digestibilidade da FDNpd biologicamente implausíveis. De forma particular para vacas em lactação, a conformação do modelo (Equação 4.16) indica que o mesmo não deve ser aplicado para consumos voluntários superiores a 32-34 g/kg de peso corporal, pois consumos superiores a estes não foram verificados no banco de dados utilizados para as avaliações meta-analíticas.

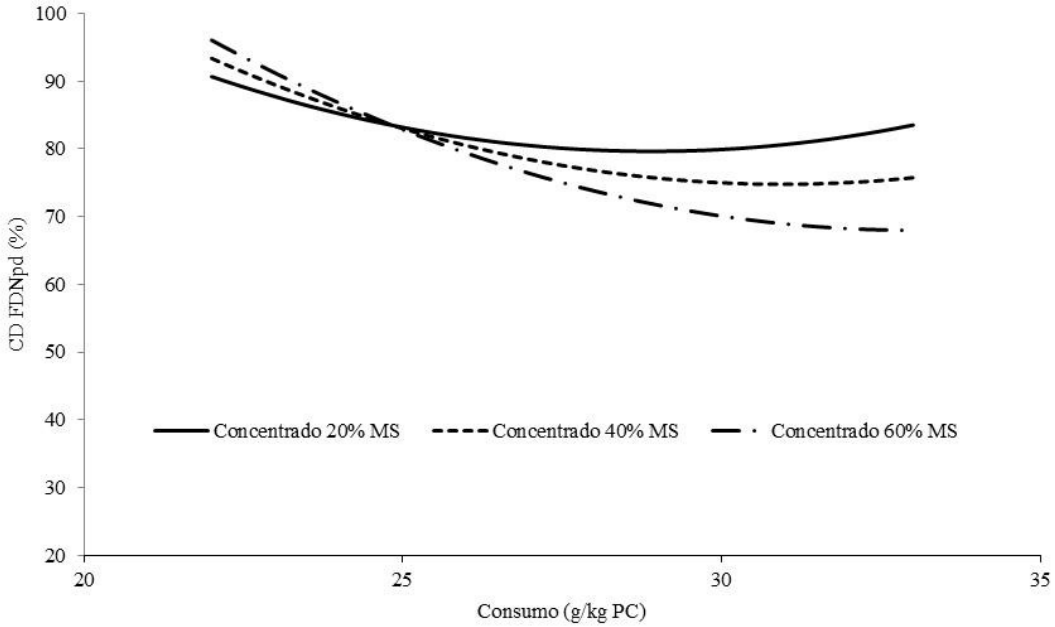


Figura 4.9 - Variações no coeficiente de digestibilidade da fibra em detergente neutro potencialmente digestível (CD FDNpd) em função do consumo voluntário de matéria seca e do nível de concentrado na dieta para vacas em lactação (Equação 4.16).

Embora a aproximação meta-analítica tenha por base a interpretação de dados empíricos, uma limitação intrínseca é observada para esta aproximação. Os modelos ajustados exigem como *input* características das dietas que são observadas após sua formulação (i.e., concentrações dietéticas de PB, FDNi e de alimentos concentrados). Isto torna o processo de predição iterativo, ou seja, o processo de avaliação da energia dietética é iniciado a partir de estimativas iniciais para estas variáveis fornecidas pelo usuário. O *output* é então avaliado e utilizado para retroalimentar o modelo. A nova solução obtida é novamente avaliada, repetindo-se o ciclo até que haja convergência entre os valores de exigências de energia pelo animal e de energia fornecida pela dieta.

Desta forma, sub-modelo alternativo e de mais fácil aplicação foi desenvolvido (Equação 4.17) baseado em informações empíricas de dinâmica de degradação ruminal da FDNpd avaliadas em bovinos alimentados exclusivamente com forragem (doravante denominada aproximação empírica). Embora informações de animais alimentados com dietas compostas por volumosos e concentrados estivessem disponíveis, as mesmas não foram utilizadas visando ao desenvolvimento de sub-modelo simplificado que pudesse ser aplicado a alimentos individuais, sem a demanda de informações da composição da dieta final. Adicionalmente, ajustes discretos com relação às categorias animais não foram contemplados na aproximação empírica, ficando estas restritas a diferenças no nível de consumo e em relação à forragem basal da dieta.

Neste sentido, a taxa de degradação da FDNpd pode ser predita por relação positiva e linear a partir do consumo voluntário de MS (variável estimável pelo Sistema BR-CORTE). A associação positiva entre a taxa de degradação da FDNpd e o consumo voluntário (Equação 4.18; Figura 4.5) baseia-se no fato de o efeito de repleção ruminal da fibra, particularmente sua fração potencialmente degradável, estar negativamente associada com sua taxa de degradação no ambiente ruminal (Waldo et al., 1972; Detmann et al., 2015). Assim, deve ser entendido que a relação expressa pela equação (4.18) estabelece-se com base no aumento da qualidade da dieta.

Por outro lado, a taxa de passagem da FDNpd de alimentos volumosos demonstrou associação simples, negativa e curvilínea com a concentração da FDNi na forragem basal da dieta, sendo a melhor descrição desta relação realizada por um modelo hiperbólico (Equação 4.19; Figura 4.6). Embora as frações FDNi e

FDNpd tenham taxas de passagem distintas no ambiente ruminal (Lund et al., 2007), o aumento da fração FDNi da forragem amplia o efeito de repleção ruminal total da FDN devido ao maior tempo de retenção ruminal da FDN, haja vista que a fração FDNi só exibe desaparecimento ruminal por uma única via (passagem) e, portanto, menor *turnover* comparado à fração FDNpd. Desta forma, ambas as equações ajustadas (Equações 4.18 e 4.19) apresentam coerência biológica com a ideia de avaliação da disponibilidade da FDNpd a partir da integração entre as dinâmicas de trânsito e degradação ruminal (Equação 4.17).

Contudo, a integração entre trânsito e degradação se refere apenas aos eventos ruminais, não considerando o possível aproveitamento da FDNpd no intestino grosso, o qual complementa o coeficiente de digestibilidade total desta fração. Assim, o fator de ajustamento para a digestibilidade intestinal (FAI) foi adotado para compensar aos eventos digestivos pós-ruminais. No banco de dados avaliado, verificou-se que, em média, 89% da digestão total da FDNpd ocorreu no rúmen, o que culminou na adoção de FAI = 1,12 (1/0,89). Esta proporção aproxima-se do sugerido por outros autores em condições não tropicais (Huhtanen et al., 2010).

Como limitação da aproximação empírica tem-se a ausência de dados associados à taxa de passagem da FDNpd de alimentos concentrados. Este tipo de informação é escasso no Brasil. Desta forma, o ajuste para a taxa de passagem de concentrados foi baseado na taxa de passagem da FDNpd da forragem basal e nas relações entre taxas de passagens da fibra de volumosos e concentrados obtida por Bürger et al. (2000) (Equação 4.20). Contudo, este ajustamento poderá sofrer modificações na medida em que novas informações forem obtidas em condições brasileiras.

Como descrito anteriormente para vacas em lactação (Figura 4.9), a inclusão de concentrados à dieta pode afetar o coeficiente de digestibilidade da FDNpd, particularmente em nível ruminal. Este comportamento evidencia a existência de efeitos associativos com a inclusão de concentrados, o que pode afetar a taxa de degradação da FDNpd (NASEM, 2016). Alterações na taxa de degradação podem refletir em alterações na taxa de passagem da fibra (Allen, 1996). Contudo, tais impactos não são contemplados diretamente na aproximação empírica e sua consideração em aproximações futuras pode incrementar a capacidade preditiva do modelo.

Por outro lado, como a estimação da taxa de passagem da FDNpd baseia-se na concentração da FDNi da forragem basal, seria impossível obter estimativas para dietas formadas exclusivamente por concentrados. Como dados das dinâmicas de trânsito e degradação ruminal para este tipo específico de dieta são inexistentes em condições brasileiras, optou-se pela recomendação da equação adotada pelo NRC (2001) (Equação 4.21).

A estrutura do sub-modelo adotado para a estimação da fração verdadeiramente digestível da PB foi mantida em relação à segunda edição do Sistema BR-CORTE (Equações 4.24 a 4.27). As únicas alterações realizadas dizem respeito aos coeficientes de digestibilidade das frações da PB associadas ao conteúdo celular e à parede celular. Para o primeiro caso, para melhor adequação às estimativas obtidas com dados brasileiros, este coeficiente foi alterado de 0,98 para 0,95, convergindo ao que é aplicado para estimação dos CNF verdadeiramente digestíveis (Equação 4.10). Considerando-se que a PB associada à parede celular apresenta, por pressuposição, comportamento digestivo similar ao observado para a porção fibrosa do alimento/dieta, seus coeficientes de digestibilidade devem ser modificados de acordo com o sub-modelo utilizado para estimação da fração digestível da FDNpd (Equações 4.15 a 4.21).

Ressalta-se, contudo, que a estimação da PIIDN a partir da PIDA foi proposta como alternativa para se agilizar o processo de predição (Detmann et al., 2010a). Contudo, ressalvas ainda devem ser mantidas, pois a relação entre PIIDN (conceito analítico biológico) e PIDA (conceito analítico químico) não apresenta alta precisão devido à elevada variabilidade biológica da disponibilidade dos compostos nitrogenados associados à fibra (Henriques et al., 2007; Detmann et al., 2010a). Neste contexto, a utilização da PIDA como elemento preditor deve ser entendida apenas como aproximação química, sem que

nenhum fundamento biológico seja destinado à sua ação sobre a digestibilidade dos compostos nitrogenados.

Para melhor entendimento das modificações dos sub-modelos em relação à segunda edição do Sistema BR-CORTE, processo de avaliação comparativa foi conduzido a partir da composição de volumosos (n = 16) e concentrados (n = 8) constantes no banco de dados CQBAL 3.0 (Valadares Filho et al., 2015). Os alimentos foram selecionados com base em sua utilização rotineira na alimentação de bovinos, na disponibilidade de todos os itens de composição química necessários ao processo de estimação e na disponibilidade de valores observados de NDT. Ressalta-se, contudo, que este processo de validação deve ser visto com cautela, pois os itens relativos à composição química podem ser oriundos de fontes distintas, além de não haver clareza quanto às situações nas quais as concentrações de NDT foram avaliadas *in vivo*. As avaliações centraram-se sobre as frações digestíveis da FDN e PB, haja vista que não foram estabelecidas modificações quanto aos sub-modelos aplicados para estimação das frações digestíveis de EE e CNF.

De forma geral, não foram observadas diferenças marcantes entre as aproximações meta-analítica e empírica aqui apresentadas e os sub-modelos adotados na segunda edição do Sistema BR-CORTE com relação aos valores de frações digestíveis de FDN e PB para alimentos concentrados. Todas as aproximações produziram valores de NDT próximos àqueles observados na base de dados CQBAL 3.0 (Figuras 4.10 e 4.11).

No entanto, diferenças marcantes foram observadas quando amostras de volumosos foram consideradas (Figura 4.10). O sistema somativo adotado na segunda edição do Sistema BR-CORTE tendeu a superestimar a concentração dietética de NDT em alimentos volumosos como reflexo das maiores estimativas da fração digestível da FDN. Como ressaltado anteriormente, a combinação do uso de coeficiente de digestibilidade fixo com fator de proteção constante associado à lignina (Equação 4.12) tende a superestimar esta fração, notadamente em bovinos em crescimento e terminação. Neste sentido, a aproximação empírica (Equações 4.17 a 4.20), produziu menores estimativas da fração digestível da FDN (Figura 4.10), fazendo com que as concentrações de NDT em forragens apresentassem a maior similaridade com os valores observados *in vivo* (Figura 4.11). Por outro lado, a aproximação meta-analítica (Equação 4.15) incorreu em valores inferiores da fração digestível da FDN, produzindo valores de NDT substancialmente inferiores aos valores observados *in vivo*. Considerando a similaridade entre todas as aproximações quanto aos valores da fração verdadeiramente digestível da PB de forragens (Figura 4.10), entende-se que as principais diferenças entre aproximações residem no processo de estimação da fração digestível da FDN.

Para melhor entendimento das diferenças entre as aproximações, procedimento simplificado de avaliação da composição do erro de predição foi conduzido a partir de fundamentos relatados por Kobayashi e Salam (2000):

$$QMEP = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)^2 \quad (4.33);$$

$$QV = (\bar{x} - \bar{y})^2 \quad (4.34);$$

$$VMQ = QMEP - QV = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}[(x_i - \bar{x}) - (y_i - \bar{y})]^2 \quad (4.35);$$

em que: QMEP, quadrado médio do erro de predição; x_i, valores preditos (% da MS); y_i, valores observados (% da MS); QV, quadrado do vício; e VMQ, variação média quadrática.

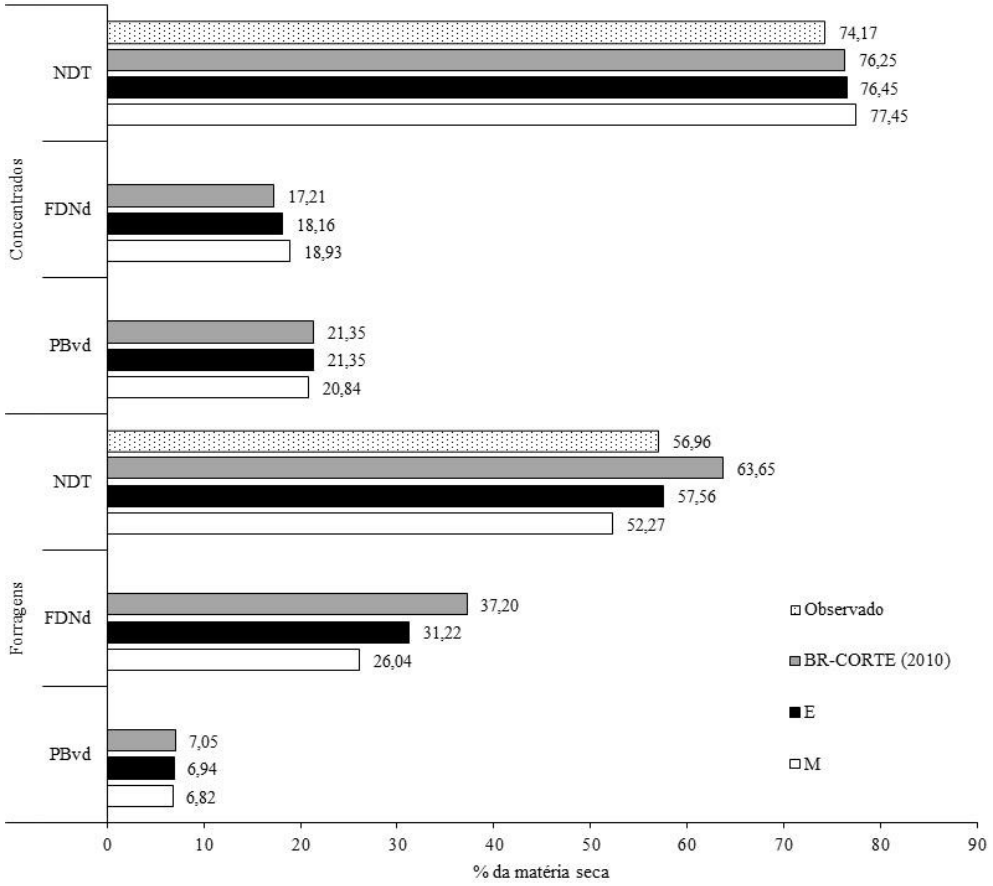


Figura 4.10 - Estimativas da fração verdadeiramente digestível da PB (PBvd), da fração digestível da FDN (FDNd) e da concentração dietética de NDT obtidas pelos sub-modelos adotados pelo BR-CORTE (2010) e pelas aproximações meta-analíticas (M) e empírica (E) para bovinos em crescimento e terminação e valores médios de NDT observados segundo dados do CQBAL 3.0 (forragens, n = 16; concentrados, n = 8). Para os modelos empíricos e meta-analítico considerou-se consumo de 22 g/kg de peso corporal. Para o modelo meta-analítico adotou-se concentração média de 12% de PB e 14% de FDNi na dieta. Para os modelos empírico e meta-analíticos aplicados para concentrados considerou-se como volumoso basal silagem de milho.

Devido à limitação intrínseca ao banco de dados obtido da base CQBAL 3.0, como previamente ressaltado, optou-se pela não realização de processo mais rigoroso de avaliação dos erros de predição. A decomposição simplificada aqui utilizada (Equações 4.33 a 4.35) permite a identificação básica da composição do erro de predição (QMEP) em relação a limitações na exatidão (QV) ou precisão (VMQ) do modelo avaliado.

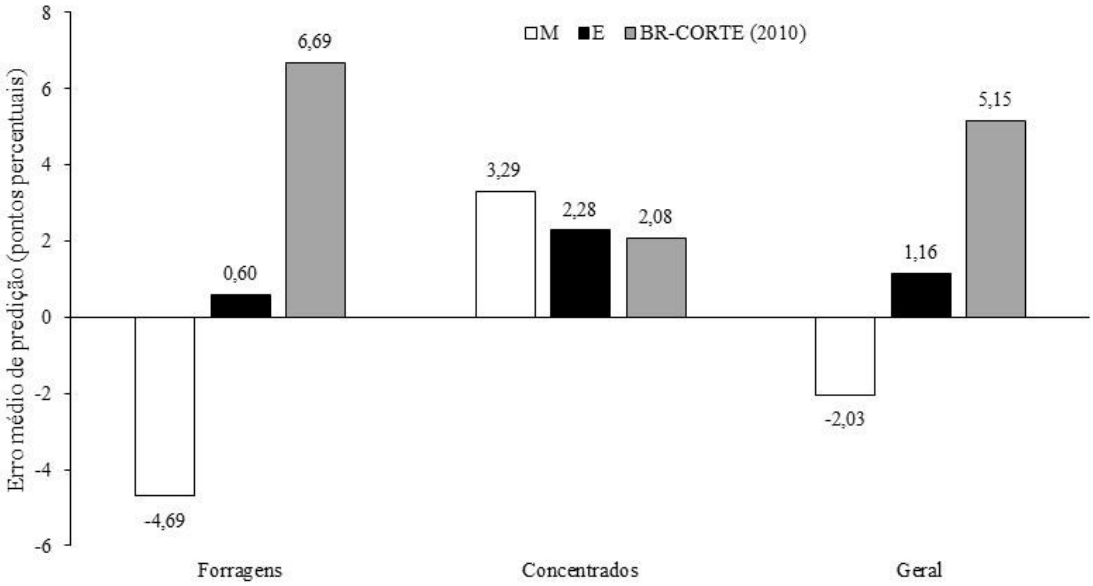


Figura 4.11 - Erro médios de predição em relação ao teor de NDT em alimentos concentrados e forragens obtidos pelos sub-modelos adotados pelo BR-CORTE (2010) e pelas aproximações meta-analíticas (M) e empírica (E) para fibra e proteína para bovinos em crescimento e terminação em relação aos valores médios de NDT observados segundo dados do CQBAL 3.0 (forragens, n = 16; concentrados, n = 8). Para verificação das pressuposições aplicadas a cada modelo, favor consultar a Figura 4.10.

Neste sentido, a avaliação geral do conjunto de dados permitiu evidenciar que ganhos proeminentes em exatidão e precisão foram obtidos somente na avaliação de alimentos volumosos, pois pouca diferença foi verificada com relação a alimentos concentrados (Figura 4.12).

A utilização da aproximação empírica produziu estimativas mais exatas em relação aos sub-modelos adotados na segunda edição do Sistema BR-CORTE. O coeficiente de digestibilidade da fração FDNpd para bovinos em crescimento e terminação previamente adotado pelo Sistema BR-CORTE (0,84) mostrou-se inferior ao coeficiente médio de digestibilidade da FDNpd para amostras de forragens considerando-se a aproximação empírica (0,867). Contudo, mesmo assim verificaram-se estimativas mais altas da fração digestível da FDN, culminando em superestimação da concentração de NDT. Este fato alerta para a presença de vieses positivos na estimação da fração FDNpd por intermédio da equação (4.12). No entanto, os maiores ganhos foram observados com relação à precisão das estimativas, o que, como ressaltado anteriormente, constituía a principal limitação na avaliação da fração digestível da FDN (Detmann et al., 2007; 2008b; Azevêdo et al., 2011). Embora as equações utilizadas por esta aproximação sejam relativamente simples (Equações 4.17 a 4.20), a consideração das particularidades das forragens basais (i.e., concentração de FDNi) em detrimento de coeficientes constantes para o coeficiente de digestibilidade da FDNpd parecem ter refletido em variações similares e correlações mais fortes com valores observados *in vivo*. Assim, a aproximação empírica mostrou-se alternativa mais exata e precisa para a substituição do sub-modelo previamente adotado pelo Sistema BR-CORTE para estimação da fração digestível da FDN, com as consequentes aplicações sobre a fração digestível da PB.

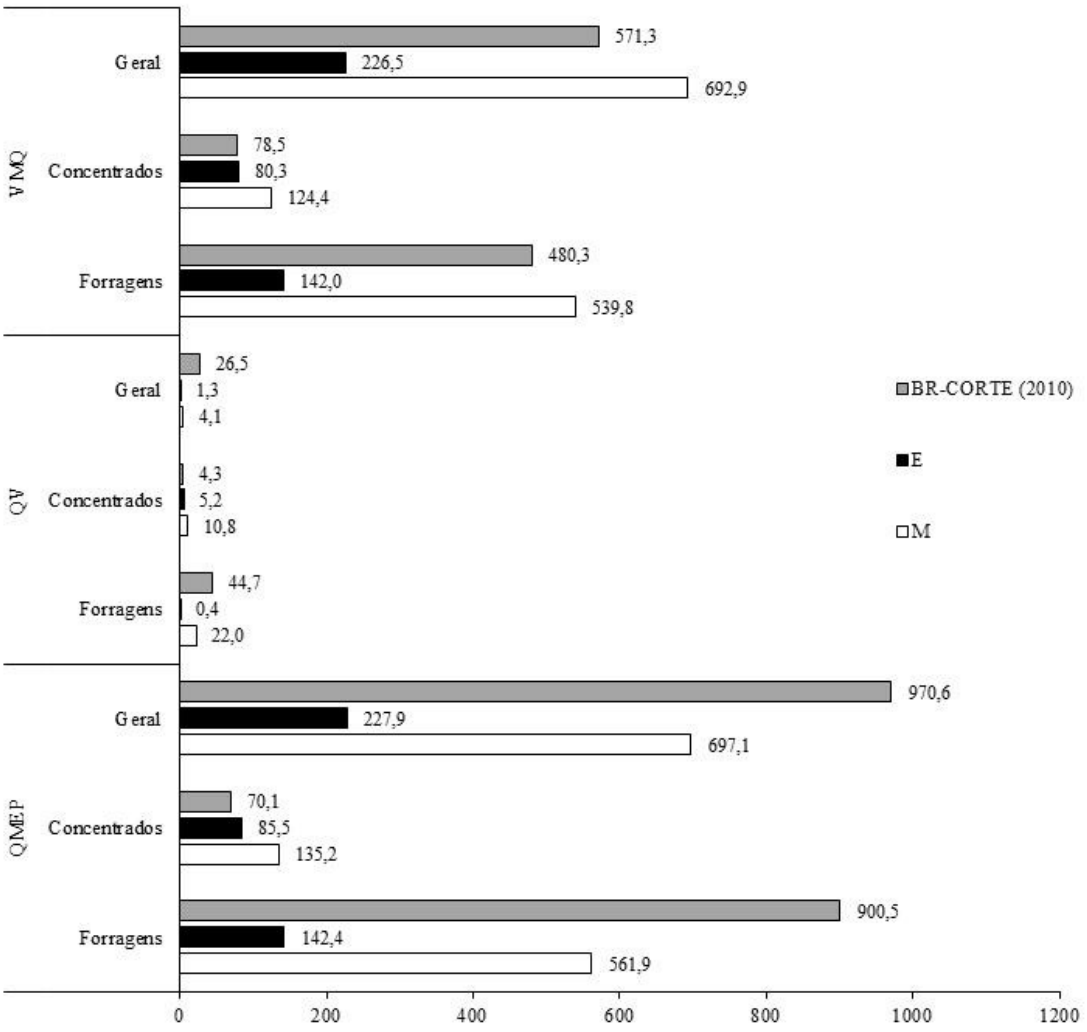


Figura 4.12 - Quadrado médio do erro de predição (QMEP), quadrado do vício (QV) e variação média quadrática (VMQ) para os teores de NDT em alimentos concentrados e forragens obtidos pelos sub-modelos adotados pelo BR-CORTE (2010) e pelas aproximações meta-analíticas (M) e empírica (E) para fibra e proteína para bovinos em crescimento e terminação em relação aos valores médios de NDT observados segundo dados do CQBAL 3.0 (forragens, n = 16; concentrados, n = 8). Para verificação das pressuposições aplicadas a cada modelo, favor consultar a Figura 4.10.

Por outro lado, embora desenvolvida a partir de grande número de observações *in vivo*, a aproximação meta-analítica apresentou limitações quanto à exatidão (Figuras 4.11 e 4.12) e, principalmente, quanto à precisão (Figura 4.12) das estimativas da concentração de NDT em forragens. Este comportamento poderia levar à sua não recomendação. Contudo, há de se ressaltar que as estimativas de frações digestíveis de FDN e PB obtidas por esta aproximação se basearam apenas em estimativas iniciais para a composição final da dieta (Figuras 4.10 e 4.11). Como ressaltado anteriormente, a utilização de tal aproximação constitui processo iterativo, na qual ajustes sequenciais a partir dos *outputs* são necessários para se alcançar a convergência entre exigências de energia e consumo de energia. Assim, seria esperado que o primeiro *output* (obtido com valores iniciais definidos pelo usuário) produzisse estimativas de baixa precisão. Desta forma, o comportamento aqui observado para a aproximação meta-analítica pode não refletir suas verdadeiras características. Contudo, devido à escassez de dados, procedimentos de avaliação e, principalmente, validação desta aproximação não puderam ser desenvolvidos, o que seria recomendado.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Situação Produtiva – Bovinos Nelore em crescimento e terminação (confinamento).
Dieta: relação volumoso:concentrado 50:50 (base na matéria seca), 12%PB
Consumo esperado: 25 g MS/kg peso corporal.
Volumoso: silagem de milho.
Concentrado: mistura de milho grão (86,43% da MS), farelo de soja (10,07% da MS), ureia:sulfato de amônia (U:SA; 9:1) (1,5% da MS) e mistura mineral (MM; 2,0% da MS).

Tabela 4.4 - Composição química dos alimentos e da dieta total (% da MS)

Item	Silagem	Fubá	F. Soja	U:SA	MM	Concentrado	Dieta
MS	30,92	87,64	88,61	100	100	88,11	45,80
MO	94,74	97,60	92,85	100	0	95,20	94,97
PB	7,26	9,11	48,78	260	-	16,70	12,00
Ur	-	-	-	100	-	1,50	0,75
PBu	-	-	-	260	-	3,90	1,95
EE	3,16	4,07	1,71	-	-	3,69	3,43
FDNcp	51,77	10,19	10,72	-	-	9,89	30,83
FDA	23,79	4,18	3,75			3,99	13,89
Lignina	4,97	1,16	1,33	-	-	1,14	3,06
CNF	32,55	74,23	31,64	-	-	67,34	49,95
PIDN	1,14	0,87	2,38	-	-	0,99	1,06
PIDA	0,57	0,35	1,34	-	-	0,44	0,51

Exemplo A – Abordagem meta-analítica para avaliação da energia oriunda da FDN e PB

A.1. Cálculo da fração verdadeiramente digestível do EE (Equação 4.9)

$$EE_{vd} = 0{,}86 \times EE = 0{,}86 \times 3{,}43 = 2{,}95\%$$

A.2. Cálculo da fração verdadeiramente digestível dos CNF (Equação 4.10)

$$CNF_{vd} = 0{,}95 \times CNF = 0{,}95 \times 49{,}95 = 47{,}45\%$$

A.3. Cálculo da fração digestível da FDN (Equações 4.11, 4.13, 4.14 e 4.15)

$$FDNpd(F) = 3{,}38 + 0{,}883 \times FDNcp - 0{,}834 \times FDA + 0{,}0065 \times FDA^2 - 0{,}197 \times L$$
$$FDNpd(F) = 3{,}38 + 0{,}883 \times 51{,}77 - 0{,}834 \times 23{,}79 + 0{,}0065 \times (23{,}79^2) - 0{,}197 \times 4{,}97$$
$$FDNpd(F) = 31{,}95\%$$

$$FDNpd(C) = -1{,}19 - 10{,}16 \times D + 1{,}012 \times FDNcp - 0{,}052 \times FDA$$
$$FDNpd(C) = -1{,}19 - 10{,}16 \times 0 + 1{,}012 \times 9{,}89 - 0{,}052 \times 3{,}99$$
$$FDNpd(C) = 8{,}61\%$$

$$FDNpd(Dieta) = FDNpd(F) \times 0{,}5 + FDNpd(C) \times 0{,}5 = 31{,}95 \times 0{,}5 + 8{,}61 \times 0{,}5 = 20{,}28\%$$

$$FDNi(Dieta) = FDNcp - FDNpd = 30{,}83 - 20{,}28 = 10{,}55\%$$

$$D_{ct} = 80{,}21 \times FOR - 0{,}0166 \times CMS^2 + 2{,}658 \times FDNi + 3{,}691 \times PB$$
$$+ 0{,}0507 \times (CMS \times FDNi) - 2{,}9673 \times (FOR \times FDNi) - 3{,}9990 \times (FOR \times PB)$$

$$D_{ct} = 80{,}21 \times 0 - 0{,}0166 \times 25^2 + 2{,}658 \times 10{,}55 + 3{,}691 \times 12$$
$$+0{,}0507 \times (25 \times 10{,}55) - 2{,}9673 \times (0 \times 10{,}55) - 3{,}9990 \times (0 \times 12) = 75{,}33\%$$

$$FDN_d = D \times FDNpd$$
$$FDN_d = 75{,}33\% \times 20{,}28 = 15{,}27\%$$

A.4.Cálculo da fração verdadeiramente digestível da PB (Equações 4.15 e 4.26)

$$PB_{vd} = D_{vPBCC} \times (PB - PIDN) + D_{vPBPC} \times \{PIDN \times [1 - e^{-(0{,}8188+1{,}1676 \times PIDA)}]\}$$
$$PB_{vd} = 0{,}95 \times (12{,}00 - 1{,}06) + 0{,}7533 \times \{1{,}06 \times [1 - e^{-(0{,}8188+1{,}1676 \times 0{,}51)}]\}$$
$$PB_{vd} = 0{,}95 \times 10{,}94 + 0{,}7533 \times (1{,}06 \times 0{,}7569)$$
$$PB_{vd} = 10{,}39 + 0{,}60 = 10{,}99\%$$

A.5.Cálculo do NDT (Equação 28d; Tabela 4.1)

$$NDT = PB_{vd} + CNF_{vd} + FDN_d + 2{,}25 \times EE_{vd} - FM_{NDT}$$
$$NDT = 10{,}99 + 47{,}45 + 15{,}27 + 2{,}25 \times 2{,}95 - 7{,}13$$
$$NDT = 80{,}35 - 7{,}13 = 73{,}22\%$$

A.6.Cálculo da ED (Equação 4.29; Tabela 4.1)

$$ED = 0{,}056 \times PB_{vd} + 0{,}042 \times CNF_{vd} + 0{,}042 \times FDN_d + 0{,}094 \times EE_{vd} - FM_{ED}$$
$$ED = 0{,}056 \times 10{,}99 + 0{,}042 \times 47{,}45 + 0{,}042 \times 15{,}27 + 0{,}094 \times 2{,}95 - 0{,}322 = 3{,}205 \text{ Mcal/kg MS}$$

A.7.Cálculo da EM (Equação 4.30)

$$EM = 0{,}9422 \times ED - 0{,}303$$
$$EM = 0{,}9455 \times 3{,}205 - 0{,}303 = 2{,}727 \text{ Mcal/kg MS}$$

Exemplo B – Abordagem empírica geral para avaliação da energia oriunda da FDN e PB

B.1.Cálculo da fração digestível da FDN (Equações 4.13, 4.14, 4.17, 4.18, 4.19b e 4.20)

$$FDNpd(F) = 3{,}38 + 0{,}883 \times FDNcp - 0{,}834 \times FDA + 0{,}0065 \times FDA^2 - 0{,}197 \times L$$
$$FDNpd(F) = 3{,}38 + 0{,}883 \times 51{,}77 - 0{,}834 \times 23{,}79 + 0{,}0065 \times (23{,}79^2) - 0{,}197 \times 4{,}97$$
$$FDNpd(F) = 31{,}95\%$$

$$FDNpd(C) = -1{,}19 - 10{,}16 \times D + 1{,}012 \times FDNcp - 0{,}052 \times FDA$$
$$FDNpd(C) = -1{,}19 - 10{,}16 \times 0 + 1{,}012 \times 9{,}89 - 0{,}052 \times 3{,}99$$
$$FDNpd(C) = 8{,}61\%$$

$$kd = 0{,}00329 \times CMS = 0{,}00329 \times 25 = 0{,}0823$$

$$kp(F) = \frac{0{,}287}{FDNi(F)} = \frac{0{,}287}{(FDNcp - FDNpd)} = \frac{0{,}287}{(51{,}77 - 31{,}95)} = 0{,}0145$$

$$kp(C) = kp(F) \times 1{,}8 = 0{,}0145 \times 1{,}8 = 0{,}0261$$

$$FDNd(F) = [(\frac{0,0823}{0,0823 + 0,0145}) \times 31,95] \times 1,12 = 30,42\%$$

$$FDNd(C) = \left[\left(\frac{0,0823}{0,0823 + 0,0261}\right) \times 8,61\right] \times 1,12 = 7,32\%$$

$$FDNd(Dieta) = 0,5 \times FDNd(F) + 0,5 \times FDNd(C) = 0,5 \times 30,32 + 0,5 \times 7,34 = 18,87\%$$

B.2.Cálculo da fração verdadeiramente digestível da PB (Equações 4.18, 4.19b, 4.20 e 4.27)

$$PB_{vd}(F) = 0,95 \times (7,26 - 1,14) + \frac{0,0823}{0,0823 + 0,0145} \times \{1,14 \times [1 - e^{-(0,8188+1,1676 \times 0,57)}]\}$$
$$PB_{vd}(F) = 0,95 \times 6,12 + 0,8502 \times (1,14 \times 0,7733)$$
$$PB_{vd}(F) = 5,81 + 0,75 = 6,56\%$$

$$PB_{vd}(C) = 0,95 \times (16,70 - 0,99) + \frac{0,0823}{0,0823 + 0,0261} \times \{0,99 \times [1 - e^{-(0,8188+1,1676 \times 0,44)}]\}$$
$$PB_{vd}(C) = 0,95 \times 15,71 + 0,7592 \times (0,99 \times 0,7362)$$
$$PB_{vd}(C) = 14,92 + 0,55 = 15,47\%$$

$$PB_{vd}(dieta) = 0,5 \times PB_{vd}(F) + 0,5 \times PB_{vd}(C) = 0,5 \times 6,56 + 0,5 \times 15,47 = 11,02\%$$

B.3.Cálculo do NDT (Equação 4.28d; Tabela 4.1)

$$NDT = PB_{vd} + CNF_{vd} + FDN_d + 2,25 \times EE_{vd} - FM_{NDT}$$
$$NDT = 11,02 + 47,45 + 18,87 + 2,25 \times 2,95 - 7,13$$
$$\boldsymbol{NDT = 83,98 - 7,13 = 76,85\%}$$

B.4.Cálculo da ED (Equação 4.29; Tabela 4.1)

$$ED = 0,056 \times PB_{vd} + 0,042 \times CNF_{vd} + 0,042 \times FDN_d + 0,094 \times EE_{vd} - FM_{ED}$$
$$ED = 0,056 \times 11,02 + 0,042 \times 47,45 + 0,042 \times 18,87 + 0,094 \times 2,95 - 0,322 = 3,358 \text{ Mcal/kg MS}$$

B.5.Cálculo da EM (Equação 4.30)

$$EM = 0,9455 \times ED - 0,303$$
$$EM = 0,9455 \times 3,358 - 0,303 = 2,872 \text{ Mcal/kg MS}$$

TABELAS DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS

A seguir são expostas Tabelas de composição química e concentração energética para bovinos em crescimento e terminação em alguns alimentos mais comumente utilizados. Os dados de composição química foram retirados da base CQBAL 3.0. As concentrações energéticas foram estimadas segundo as equações descritas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Indicação das equações empregadas para estimação da concentração energética dos alimentos constantes nas Tabelas 4.6 a 4.9

Fração	Equações	Tabela
EEvd	9	-
CNFvd	10	-
FDNd	13, 14, 17, 18, 19b e 20	-
PBvd	18, 19b, 20 e 27	-
NDT	28d	4.1
ED	29	4.1
EM	30	-

Para o cálculo das frações FDNd e PBvd assumiu-se consumo voluntário de 22 g de matéria seca por kg de peso corporal. Especificamente para o cálculo destas frações em alimentos concentrados, considerou-se a silagem de milho como volumoso basal. De forma comparativa, os valores de NDT foram também calculados com base na segunda edição do Sistema BR-CORTE, utilizando-se, contudo, o coeficiente de digestibilidade da FDNpd sugerido para vacas em lactação.

Devido à superestimação da concentração de NDT causada pelo sub-modelo aplicável à FDN para bovinos em crescimento e terminação (Figuras 4.10 e 4.11), o Sistema BR-CORTE para formulação de dietas (versão *on line*) tem utilizado o coeficiente de digestibilidade da FDNpd para vacas em lactação como alternativa para obtenção de valores de NDT aparentemente mais verossímeis ao que seria obtido *in vivo.* Contudo, como ressaltado anteriormente, o coeficiente de digestibilidade da FDNpd para vacas em lactação adotado na segunda edição do Sistema BR-CORTE (0,67) encontra-se subestimado, ao passo que a avaliação da fração FDNpd a partir da lignina por intermédio da equação (4.12) parece gerar superestimativas. Assim, o modelo apresentaria viés negativo quanto ao coeficiente de digestibilidade e positivo quanto à dimensão da fração FDNpd, o que indicaria incoerência em sua utilização.

Tabela 4.6 - Composição química e concentração energética em volumosos (forragens úmidas *in natura*)

Itens	Alimentos											
	Alfafa	Azevém	Braquiária brizantha (0-30 d)	Braquiária brizantha (91-120d)	Braquiária decumbens (31-45 d)	Braquiária decumbens (46-60 d)	Cana-de-açúcar	Coast cross	Capim Elefante Cameroon (61-90 d)	Capim Tifton 85	Capim Tanzânia	Palma Forrageira
MS	25,30	19,43	17,15	27,72	22,39	27,14	28,77	32,62	16,68	26,96	23,31	11,30
MO	90,62	90,45	89,98	92,30	90,33	91,04	96,55	91,49	90,22	90,91	88,63	88,04
PB	90,97	18,78	12,32	4,80	11,66	9,39	2,76	12,03	8,89	12,91	9,45	4,24
EE	3,70	3,22	1,20	1,16	1,79	2,23	1,34	2,50	2,41	2,00	2,53	1,80
CNF	26,08	21,83	15,28	10,87	21,48	19,84	42,72	7,73	10,85	10,68	7,59	52,92
FDNcp	39,87	46,62	61,18	75,47	55,40	59,58	49,73	69,23	68,07	65,32	69,06	29,08
FDA	26,63	27,41	34,68	42,87	28,19	36,76	33,52	35,78	43,91	36,91	41,58	18,61
Lig	7,47	4,06	4,44	6,41	3,82	5,18	5,86	6,13	7,10	7,49	5,89	4,93
PIDA	1,69	0,72	2,55	1,59	0,90	2,28	0,12	1,93	0,97	3,75	1,31	0,82
PIDN	4,99	5,28	3,00	3,87	5,14	3,38	0,46	5,81	2,56	6,81	3,30	1,40
NDT[1]	60,1	60,9	54,7	49,4	57,1	56,0	63,1	51,8	50,4	51,0	50,1	62,8
NDT[2]	62,2	60,5	55,5	54,0	58,2	56,8	63,0	56,7	53,4	55,5	52,7	63,2
ED[2]	2,86	2,75	2,47	2,30	2,56	2,48	2,66	2,51	2,33	2,47	2,31	2,68
EM[2]	2,39	2,29	2,02	1,88	2,12	2,04	2,21	2,07	1,90	2,03	1,88	2,23

[1] NDT calculado conforme descrito no BR-CORTE (2010) para vacas em lactação; [2] NDT, ED e EM calculados conforme o novo sistema de equações (Tabela 4.5).

Tabela 4.7 - Composição química e concentração energética em volumosos conservados (fenos e silagens)

Itens	Fenos					Silagens						
	Alfafa	Aveia	Braquiária brizantha	Braquiária decumbens	Coast cross	Tifton 85	Cana-de-açúcar	Capim Elefante	Milho	Soja	Sorgo	Tifton (pré-secado)
MS	89,32	87,42	87,95	88,68	88,90	88,94	26,12	27,70	31,11	25,83	29,76	47,76
MO	88,38	91,82	93,30	93,26	92,91	92,20	95,14	90,29	94,23	91,78	93,59	91,12
PB	18,77	11,96	4,13	6,64	8,57	9,69	3,77	5,47	7,24	17,79	6,45	16,62
EE	2,85	1,77	1,22	1,77	1,48	1,55	1,71	2,23	2,84	9,45	2,53	2,41
CNF	23,77	27,93	8,82	6,64	10,14	9,92	27,64	15,32	33,81	15,43	26,02	10,60
FDNcp	42,99	50,16	79,13	78,21	72,72	71,04	62,02	67,27	50,34	49,11	58,59	61,49
FDA	37,52	41,13	49,59	46,52	40,59	38,72	43,03	48,71	30,26	35,69	31,27	32,00
Lig	9,74	7,04	7,26	6,82	6,05	6,13	8,13	7,47	4,87	8,91	5,10	4,76
PIDA	2,14	2,15	0,36	0,80	1,75	1,16	0,38	0,76	0,87	1,95	0,93	1,14
PIDN	3,94	3,63	0,58	3,83	3,45	4,74	0,61	1,19	1,31	3,11	2,37	5,53
NDT[1]	54,0	56,8	49,2	49,3	51,8	51,0	55,5	50,5	63,3	62,8	59,2	55,4
NDT[2]	55,1	56,2	53,7	54,2	55,8	55,4	58,0	52,5	63,2	65,1	61,2	57,8
ED[2]	2,53	2,49	2,29	2,33	2,43	2,42	2,46	2,25	2,72	2,94	2,62	2,61
EM[2]	2,09	2,05	1,86	1,90	1,99	1,98	2,03	1,83	2,27	2,48	2,18	2,17

[1] NDT calculado conforme descrito no BR-CORTE (2010) para vacas em lactação; [2] NDT, ED e EM calculados conforme o novo sistema de equações (Tabela 4.5).

Tabela 4.8 - Composição química e concentração energética em concentrados energéticos

Itens	Alimentos								
	Aveia (grão)	Casca de soja	Farelo de arroz	Farelo de trigo	Milheto (grão)	Milho (grão)	Sorgo (grão)	Polpa cítrica	Raspa de mandioca
MS	90,44	90,30	89,03	87,97	88,95	87,91	88,12	88,45	87,66
MO	93,59	94,18	89,17	93,32	94,19	97,54	97,87	91,72	95,83
PB	14,06	12,73	13,22	17,13	13,35	9,05	9,67	6,93	2,80
EE	3,82	2,20	16,32	3,51	4,49	4,02	2,94	3,11	0,45
CNF	48,09	15,88	39,02	33,07	53,95	72,48	73,90	60,36	78,97
FDNcp	27,62	63,37	20,60	39,61	22,40	11,99	11,36	21,32	13,61
FDA	22,92	49,15	11,88	13,19	7,21	4,00	6,07	20,76	7,19
Lig	3,51	3,64	4,49	3,80	1,41	1,18	1,80	1,84	1,64
PIDA	0,14	2,29	0,55	0,94	1,40	0,18	0,05	0,08	0,47
PIDN	1,57	5,61	1,81	0,28	2,41	1,39	0,87	2,72	0,64
NDT[1]	72,2	69,5	83,7	68,5	77,7	83,8	82,8	76,1	79,7
NDT[2]	80,4	74,8	81,0	71,2	82,9	86,6	86,0	78,0	81,6
ED[2]	3,53	3,27	3,54	3,20	3,63	3,73	3,71	3,33	3,44
EM[2]	3,04	2,79	3,04	2,72	3,13	3,22	3,21	2,84	2,95

[1] NDT calculado conforme descrito no BR-CORTE (2010) para vacas em lactação; [2] NDT, ED e EM calculados conforme o novo sistema de equações (Tabela 4.5).

Tabela 4.9 - Composição química e concentração energética em concentrados protéicos

Itens	Alimentos								
	Caroço de algodão	Farelo de algodão 38	Torta de algodão	Farelo de girassol	Farelo de Glúten 21	Glutenose	Farelo de amendoim	Farelo de soja	Soja (grão)
MS	90,76	89,92	90,68	91,06	88,77	90,57	89,23	88,57	90,88
MO	95,78	91,07	95,14	93	92,20	96,81	92,47	92,89	93,71
PB	22,99	39,63	29,74	31,81	23,93	63,90	58,38	48,71	38,46
EE	19,32	1,43	9,43	1,94	2,78	2,73	0,40	1,86	19,05
CNF	7,71	20,55	10,05	10,76	29,79	23,93	11,50	28,86	20,78
FDNcp	45,76	29,46	45,92	48,49	35,70	6,25	22,19	13,46	15,42
FDA	35,24	22,94	34,92	34,64	10,68	3,75	10,96	9,47	12,12
Lig	7,39	3,66	9,68	5,40	1,19	0,26	2,22	1,62	2,29
PIDA	2,06	1,05	1,67	0,91	0,25	2,13	1,12	0,39	2,67
PIDN	3,33	3,38	5,73	4,22	3,09	4,48	3,13	2,78	6,51
NDT[1]	84,9	67,0	71,04	67,5	70,2	85,75	74,0	76,86	94,99
NDT[2]	87,0	66,7	84,73	66,5	77,3	84,84	77,8	79,25	96,47
ED[2]	3,92	3,29	3,91	3,18	3,52	4,38	3,45	3,94	4,51
EM[2]	3,40	2,81	3,39	2,70	3,03	3,84	2,96	3,42	3,97

[1] NDT calculado conforme descrito no BR-CORTE (2010) para vacas em lactação; [2] NDT, ED e EM calculados conforme o novo sistema de equações (Tabela 4.5).

REFERÊNCIAS

Allen, M. S. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *Journal of Animal Science*, 74:3063-3075, 1996.

Allen, M. S.; Linton, J. A. V. In vivo methods to measure digestibility and digestion kinetics of feed fractions in the rumen. In: Simpósio Internacional Avanços em Pesquisa de Nutrição de Ruminantes, 1, 2007, Pirassununga. *Anais...* Pirassununga: USP, p.72-89, 2007.

Arroquy, J. I.; Cochran, R. C.; Nagaraja, T. G. Titgemeyer, E. C.; Johnson, D. E. Effect of types of non-fiber carbohydrates on in vitro forage fiber digestion of low-quality grass hay. *Animal Feed Science and Technology,* 120:93-106, 2005.

Arroyo-Aguilu, J. A.; Evans, J. L. Nutrient digestibility of lower-fiber rations ruminant animal. *Journal of Dairy Science*, 55:1266-1274, 1972.

Azevêdo, J. A. G.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Pina, D. S.; Pereira, L. G. R.; Oliveira, K. A. M.; Fernandes, H. J.; Souza, N. K. P. Predição das frações digestíveis e valor energético de subprodutos agrícolas e agroindustriais para bovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:391-402, 2011.

Barbosa, M. M.; Detmann, E.; Rocha, G. C.; Franco, M. O.; Valadares Filho, S. C. Evaluation of laboratory procedures to quantify the neutral detergent fiber content in forage, concentrate, and ruminant feces. *Journal of AOAC International*, 98:883-889, 2015.

Blaxter, K. L.; Mitchell, H. H. The factorization of the protein requirements of ruminants and of the protein values of feeds, with particular reference to the significance of metabolic fecal nitrogen. *Journal of Animal Science*, 7:351-372, 1948.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F., Gionbelli, M. P., Rotta, P. P., Marcondes, M. I., Chizzotti, M. L. *Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle – BR-CORTE*, 3 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2016.

Bürger, P. J.; Pereira, J. C.; Coelho da Silva, J. F.; Valadares Filho, S. C.; Cecon, P. R.; Jordão, C. P.; Braz, S. P. Taxas de passagem e cinética da degradação ruminal em bezerros holandeses alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29:225-235, 2000.

Campos, P. R. S. S.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Cecon, P. R.; Leão, M. I.; Lucchi, B. B.; Souza, S. M.; Pereira, E. G. Consumo, digestibilidade e estimativa do valor energético de alguns volumosos por meio da composição química. *Revista Ceres*, 57:79-86, 2010.

Carvalho, I. P. C.; Detmann, E.; Mantovani, H. C.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C.; Costa, V. A. C.; Gomes, D. I. Growth and antimicrobial activity of lactic acid bacteria from rumen fluid according to energy or nitrogen source. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:1260-1265, 2011.

Casali, A. O.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Pereira, J. C.; Henriques, L. T.; Freitas, S. G.; Paulino, M. F. Influência do tempo de incubação e do tamanho de partículas sobre os teores de compostos indigestíveis em alimentos e fezes bovinas obtidos por procedimentos *in situ*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37:335-342, 2008.

Conrad, H. R.; Weiss, W. P.; Odwongo, W. O.; Shockey, W. L. Estimating net energy lactation from components of cell solubles and cell walls. *Journal of Dairy Science*, 67:427-436, 1984.

Costa, M. A. L.; Valadares Filho, S. C.; Valadares, R. F. D.; Paulino, M. F.; Cecon, P. R.; Paulino, P. V. R.; Chizzotti, M. L. Paixão, M. L. Validação das equações do NRC (2001) para predição do valor energético de alimentos em condições brasileiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34:280-287, 2005.

Costa, V. A. C.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, M. F.; Henriques, L. T.; Mantovani, H. C. Degradação *in vitro* da fibra em detergente neutro de forragem tropical de alta qualidade em função da suplementação com proteína e/ou carboidratos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:1803-1811, 2009.

Detmann, E. Fibra na nutrição de novilhas leiteiras. In: Pereira, E. S.; Pimentel, P. G.; Queiroz, A. C.; Mizubuti, I. Y. (Eds.) *Novilhas leiteiras*. Fortaleza: Graphiti, p.253-302, 2010.

Detmann, E.; Valadares Filho, S. C. On the estimation of non-fibrous carbohydrates in feeds and diets. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia,* 62:980-984, 2010.

Detmann, E.; Zervoudakis, J. T.; Cabral, L. S.; Rocha Jr., V. R.; Valadares Filho, S. C.; Queiroz, A. C.; Ponciano, N. J.; Fernandes, A. M. Validação de equações preditivas da fração indigestível da fibra em detergente neutro em gramíneas tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33:1866-1875, 2004a.

Detmann, E.; Clipes, R. C.; Coelho da Silva, J. F.; Vieira, R. A. M.; Lista, F. N.; Nunes, L. B. M. Avaliação da proteína insolúvel em detergente ácido como estimador da fração protéica indegradável no rúmen em forragens tropicais. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 41, 2004, Campo Grande. *Anais*... Campo Grande: SBZ, 2004b (CD-ROM, Nutrição de Ruminantes - NR131.pdf).

Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Pina, D. S.; Campos, J. M. S.; Paulino, M. F.; Oliveira, A. S.; Silva, P. A. Estimação da digestibilidade do extrato etéreo em ruminantes a partir dos teores dietéticos: desenvolvimento de um modelo para condições brasileiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35:1469-1478, 2006a.

Detmann, E.; Pina, D. S.; Valadares Filho, S. C.; Campos, J. M. S.; Paulino, M. F.; Oliveira, A. S.; Silva, P. A.; Henriques, L. T. Estimação da fração digestível da proteína bruta em dietas para bovinos a partir dos teores dietéticos em condições brasileiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35:2101-2109, 2006b.

Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Henriques, L. T.; Pina, D. S.; Paulino, M. F.; Valadares, R. F. D.; Chizzotti, M. L.; Magalhães, K. A. Estimação da digestibilidade dos carboidratos não-fibrosos em bovinos a partir do conceito de entidade nutricional em condições brasileiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35:1479-1486, 2006c.

Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Henriques, L. T.; Pina, D. S.; Paulino, M. F.; Magalhães, A. L. R.; Figueiredo, D. M.; Porto, M. O.; Chizzotti, M. L. Reparametrização do modelo baseado na Lei de Superfície para predição da fração digestível da fibra em detergente neutro em condições brasileiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36:155-164, 2007.

Detmann, E.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C. Avaliação nutricional de alimentos ou de dietas? Uma abordagem conceitual. In: Simpósio de Produção de Gado de Corte, 6, 2008, Viçosa. Anais... Viçosa: DZO-UFV, p.21-52, 2008a.

Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Pina, D. S.; Henriques, L. T.; Paulino, M. F.; Magalhães, K. A.; Silva, P. A.; Chizzotti, M. L. Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of the feeds under tropical conditions. *Animal Feed Science and Technology*, 143:127-147, 2008b.

Detmann, E.; Magalhães, K. A.; Valadares Filho, S.C.; Paulino, M. F.; Henriques, L. T. Desenvolvimento de um sub-modelo bi-compartimental para estimação da fração digestível da proteína bruta em bovinos a partir da composição química dos alimentos. *Revista Brasileira de Zootecnia,* 37:2215-2221, 2008c.

Detmann, E.; Paulino, M. F.; Mantovani, H. C.; Valadares Filho, S. C.; Sampaio, C. B.; Souza, M. A.; Lazzarini, I.; Detmann, K. S. C. Parameterization of ruminal fiber degradation of low-quality tropical forage using Michaelis-Menten kinetics. *Livestock Science*, 126:136-146, 2009.

Detmann, E.; Coelho da Silva, J. F.; Clipes, R. C.; Henriques, L. T.; Queiroz, A. C.; Paulino, M. F. Estimação por aproximação química dos teores de proteína indegradável insolúvel em detergente neutro em forragens tropicais. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 62:742-746, 2010a.

Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, M. F. Predição do valor energético de dietas para bovinos a partir da composição química dos alimentos. In: Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. (Eds.) *Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados* BR-CORTE. 2 ed. Viçosa, MG: DZO-UFV, p.47-64, 2010b.

Detmann, E.; Souza, M. A.; Valadares Filho, S. C.; Queiroz, A. C.; Berchielli, T. T.; Saliba, E. O. S.; Cabral, L. S.; Pina, D. S.; Ladeira, M. M.; Azevêdo, J. A. G. (Eds.) *Métodos para análise de alimentos*. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 214p., 2012.

Detmann, E.; Gionbelli, M. P.; Huhtanen, P. A meta-analytical evaluation of the regulation of voluntary intake in cattle fed tropical forage-based diets. *Journal of Animal Science*, 92:4632-4641, 2014.

Detmann, E.; Franco, M. O.; Batista, E. D.; Reis, W. L. S.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, M. F. Cinética de digestão e passagem da fibra em ruminantes e sua otimização por meio de estratégias nutricionais. In: Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Rúmen, 1, 2015, Cuiabá. *Anais*… Cuiabá: UFMT, 2015 (CD-ROM).

Draper, N. R.; Smith, H. *Applied regression analysis*. New York: John Wiley, 407p., 1966.

Forbes, J. M.; France, J. Introduction. In: Forbes, J. M.; France, J. (Eds.) *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*. Wallingford: CAB International, p.1-12. 1993.

Girard, V.; Dupuis, G. Effect of structural and chemical factors of forages on potentially digestible fiber, intake, and true digestibility by ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*, 68:787-799, 1988.

Gomes, D. I.; Detmann, E.; Valente, T. N. P.; Valadares Filho, S. C.; Queiroz, A. C. Avaliação laboratorial de compostos fibrosos em alimentos e fezes bovinas sob diferentes ambientes físicos. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 63:522-525, 2011a.

Gomes, D. I.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Fukushima, R. S.; Souza, M. A.; Valente, T. N. P.; Paulino, M. F.; Queiroz, A. C. Evaluation of lignin contents in tropical forages using different analytical methods and their correlations with degradation of insoluble fiber. *Animal Feed Science and Technology*, 168:206-222, 2011b.

Gomes, D. I.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Mezzomo, R.; Souza, N. K. P.; Queiroz, A. C.; Detmann, K. S. C. Evaluation of sodium sulfite and protein correction in analyses of fibrous compounds in tropical forages. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:225-231, 2012.

Henriques, L. T.; Detmann, E.; Queiroz, A. C.; Valadares Filho, S. C.; Leão, M. I.; Paulino, M. F. Frações dos compostos nitrogenados associados à parede celular em forragens tropicais. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 59:258-263, 2007.

Huhtanen, P.; Ahvenjärvi, S.; Broderick, G. A.; Reynal, S. M.; Shingfield, K. J. Quantifying ruminal digestion of organic matter and neutral detergent fiber using the omasal sampling technique in cattle - a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 93:3203-3215, 2010.

Kobayashi, K.; Salam, M. U. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. *Agronomy Journal*, 92:345-352, 2000.

Lazzarini, I.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, M. F.; Batista, E. D.; Rufino, L. M. A.; Reis, W. L.; Franco, M. O. Nutritional performance of cattle grazing during rainy season with nitrogen and/or starch supplementation. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29:1120-1128, 2016.

Lucas, H. L. *Relations between apparent digestibility and the composition of feed and feces.* 1.A quantitative theory. Raleigh: North Caroline State College, 1960.

Lucas, H. L.; Smart, W. W. G. Chemical composition and the digestibility of forages. In: *Proceedings of Pasture and Crop Improvement Conference*, 16, Mississipi. Proceedings… p.23-26, 1959.

Lund, P.; Weisbjerg, M. R.; Hvelpund, T. Digestible NDF is selectively retained in the rumen of dairy cows compared do indigestible NDF. *Animal Feed Science and Technology*, 137:1-17, 2007.

Magalhães, K. A.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Diniz, L. L.; Pina, D. S.; Azavedo, J. A. G.; Araujo, F. L.; Marcondes, M. I.; Fonseca, M. A.; Tedeschi, L. O. Evaluation of indirect methods to estimate the nutritional value of tropical feeds for ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 155:44-54, 2010.

Mertens, D. R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 85:1217-1240, 2002.

Mertens, D. R. Challenges in measuring insoluble dietary fiber. *Journal of Animal Science*, 81:3233-3249, 2003.

Mertens, D. R.; Loften, J. R. The effects of starch on forage fiber digestion kinetics *in vitro*. *Journal of Dairy Science*, 63:1437-1446, 1980.

Moore, D. *A estatística básica e sua prática*. Rio de Janeiro: LTC, 482p., 1995.

Mould, F. L.; Ørskov, E. R.; Manns, O. Associative effects of mixed feeds. I. Effects of type and level of supplementation and the influence of the rumen pH on cellulolysis in vivo and dry matter digestion of various roughages. *Animal Feed Science and Technology*, 10:15-30, 1983.

National Research Council – NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th ed. Washington: Academic Press, 381p., 2001.

NASEM. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016. *Nutrient requirements of beef cattle*. 8th revised edition. National Academy Press, Washington DC, USA.

Ørskov, E. R. *Nutrición proteica de los rumiantes*. Zaragoza: Editora Acribia, 178p., 1988.

Palmonari, A.; Gallo, A., Fustini, M.; Canestrari, G.; Masoero, F.; Sniffen, C. J.; Formigoni, A. Estimation of the indigestible fiber in different forage types. *Journal of Animal Science*, 94:248-254, 2016.

Pittroff, W.; Kothmann, M. M. Regulation of intake and diet selection by herbivores. In: Jung, H. J.; Fahey Jr., G. C. (Eds.) *Nutritional ecology of herbivores*. Savoy: American Society of Animal Science, p.366-422, 1999.

Rocha Jr., V. R.; Valadares Filho, S. C.; Borges, A. M.; Detmann, E.; Magalhães, K. A.; Valadares, R. F. D.; Gonçalves, L. C.; Cecon, P. R. Estimativa do valor energético dos alimentos e validação das equações propostas pelo NRC (2001). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32:480-490, 2003.

Sampaio, C. B.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Queiroz, A. C.; Valente, T. N. P.; Silva, R. R.; Souza, M. A.; Costa, V. A. C. Evaluation of models for prediction of the energy value of diets for growing cattle from chemical composition of feeds. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:2110-2123, 2012.

Silva, P. A.; Valadares Filho, S. C.; Valadares, R. F. D.; Cecon, P. R.; Detmann, E.; Paixão, M. L. Valor energético do capim-elefante em diferentes idades de rebrota e estimativa da digestibilidade *in vivo* da fibra em detergente neutro. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.59, 711-718, 2007.

Silva, T. E.; Detmann, E.; Franco, M. O.; Palma, M. N. N.; Rocha, G. C. Evaluation of digestion procedures in Kjeldahl method to quantify total nitrogen in analyses applied to animal nutrition. *Acta Scientiarum – Animal Sciences*, 38:45-51, 2016.

Spiegel, M. R. *Estatística*. São Paulo: McGraw-Hill, 580p., 1971.

Thiex, N.; Richardson, C. R. Challenges in measuring moisture content of feeds. *Journal of Animal Science*, 81:3255-3266, 2003.

Valadares Filho, S. C.; Machado, P. A. S.; Furtado, T.; Chizzotti, M. L.; Amaral, H. F. *Tabelas brasileiras de composição de alimentos para ruminantes*. Viçosa: Editora UFV, 473p., 2015.

Valente, T. N. P.; Detmann, E.; Queiroz, A. C.; Valadares Filho, S. C.; Gomes, D. I.; Figueiras, J. F. Evaluation of ruminal degradation profiles of forages using bags made from different textiles. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:2565-2573, 2011.

Van Soest, P. J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2nd ed. Ithaca: Cornell University Press, 476p., 1994.

Van Soest, P. J.; Robertson, J. B. *Analysis of forages and fibrous foods*. Ithaca: Cornell University, 202p., 1985.

Waldo, D. R.; Smith, L. W.; Cox, E. L. Model of cellulose disappearance from the rumen. *Journal of Dairy Science*, 55:125-129, 1972.

Weiss, W. P.; Conrad, H. R.; St. Pierre, N. R. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forage and concentrates. *Animal Feed Science and Technology*, 39:95-110, 1992.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-192-0.2023.C005.p.113-138

5

Predição da composição corporal e da carcaça de bovinos de corte

Flávia Adriane de Sales Silva, Letícia Artuzo Godoi, Luiz Fernando Costa e Silva, Breno de Castro Silva, Marcos Inácio Marcondes, Mário Fonseca Paulino, Pedro del Bianco Benedeti, Mario Luiz Chizzotti, Sebastião de Campos Valadares Filho

INTRODUÇÃO

As exigências nutricionais de bovinos dependem do conhecimento da composição corporal dos animais. Os métodos utilizados para predição da composição corporal podem ser classificados em diretos e indiretos. Os métodos diretos consistem na separação e dissecação de todos os componentes do corpo e posterior quantificação de seus componentes físicos e químicos. Assim, os experimentos conduzidos utilizando os métodos diretos são extremamente trabalhosos, demorados e caros devido à perda de pelo menos metade da carcaça, bem como o grande número de pessoas e análises laboratoriais envolvidas. No entanto, métodos indiretos preveem a composição corporal a partir de parâmetros simples sem a necessidade de dissecação da carcaça.

Vários métodos indiretos foram desenvolvidos. Um método utilizado para estimar os conteúdos de água e extrato etéreo (EE) corporal a partir da gravidade específica foi desenvolvido por Kraybill et al. (1952) e, durante a década de 1990, foi utilizado por pesquisadores no Brasil (Gonçalves et al., 1991; Peron et al., 1993; Lanna et al., 1995; Alleoni et al., 1997). Entretanto, este método não resultou em estimativas adequadas para animais criados nas condições brasileiras (Lanna et al., 1995; Alleoni et al., 1997). Outras técnicas, tais como antipirina, água tritiada, N-acetil-amino-antipirina (Panaretto e Till, 1963), diluição de ureia (Preston e Kock, 1973) e ^{40}K (Clark et al., 1976) não foram amplamente utilizadas no Brasil devido à complexidade, alto custo e falta de equipamentos e/ou experiência. Nesse contexto, o método mais utilizado no Brasil é o incialmente proposto Hankins e Howe (1946), cujas equações foram desenvolvidas para estimar a composição da carcaça e do corpo vazio com base na composição da seção entre a 9ª e a 11ª costelas. Esta técnica é amplamente difundida devido à facilidade de uso, custo reduzido e rapidez do processo. Vários trabalhos relataram resultados positivos quando esta técnica foi utilizada (Silva, 2001; Henrique et al., 2003; Paulino et al., 2005a).

USO DA SEÇÃO COMPREENDIDA ENTRE A 9ª E 11ª COSTELAS

Estudos durante a década de 1920 (Trowbridge e Haigh, 1921; Trowbridge e Haigh, 1922; Moulton, 1923; Lush, 1926) avaliaram diversos cortes de carcaça para estimar sua composição física e concluíram que a região da costela apresentava a melhor relação com a composição da carcaça. Assim, Hankins e Howe (1946) avaliaram o uso de diferentes cortes de carcaça para predizer a composição física e química da carcaça de bovinos, bem como desenvolveram uma técnica para obter uma amostra de carcaça compreendida entre a 9ª e a 11ª costelas (seção HH; Figura 5.1).

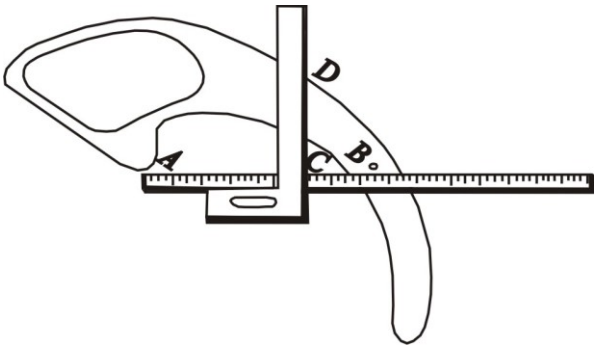


Figura 5.1 - Método desenvolvido por Hankins e Howe (1946) para coleta da seção entre a 9ª e 11ª costelas. A seção da costela pode ser obtida na carcaça suspensa pelos forames transversos localizados na pelve do animal. Primeiramente, é feito um corte dividindo a seção entre a 9ª e a 11ª costelas. Em seguida, mede-se a distância entre a vertebra (ponto A) e a cartilagem ou "último ponto" da costela (ponto B) e calcula-se 61,5% dessa distância (ponto C). Por fim, uma linha perpendicular é traçada e a separação é feita onde essa linha cruza a circunferência externa (ponto D).

COMPOSIÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DA CARCAÇA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CORPO VAZIO

Equações de predição da composição física e química da carcaça foram propostas pela primeira vez por Hankins e Howe (1946) a partir de um banco de dados composto por machos castrados e fêmeas *Bos taurus taurus*. Assim, foram definidas equações para cada sexo e uma equação geral (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Equações de predição da composição física e química da carcaça a partir da composição do corte compreendido entre a 9ª e 11ª costelas propostas por Hankins e Howe (1946)

Item	Classe sexual	Equação[1]
Composição física da carcaça		
Gordura, %	Geral	$\%\ G_{carc} = 3,06 + 0,82 \times \%\ G_{HH}$
	Machos castrados	$\%\ G_{carc} = 3,54 + 0,80 \times \%\ G_{HH}$
	Fêmeas	$\%\ G_{carc} = 3,14 + 0,83 \times \%\ G_{HH}$
Músculo, %	Geral	$\%\ M_{carc} = 15,56 + 0,81 \times \%\ M_{HH}$
	Machos castrados	$\%\ M_{carc} = 16,08 + 0,80 \times \%\ M_{HH}$
	Fêmeas	$\%\ M_{carc} = 16,09 + 0,79 \times \%\ M_{HH}$
Ossos, %	Geral	$\%\ O_{carc} = 4,30 + 0,61 \times \%\ O_{HH}$
	Machos castrados	$\%\ O_{carc} = 5,52 + 0,57 \times \%\ O_{HH}$
	Fêmeas	$\%\ O_{carc} = 6,88 + 0,44 \times \%\ O_{HH}$
Composição química da carcaça		
Extrato etéreo, %	Geral	$\%\ EE_{carc} = 2,82 + 0,77 \times \%\ EE_{HH}$
	Machos castrados	$\%\ EE_{carc} = 3,49 + 0,74 \times \%\ EE_{HH}$
	Fêmeas	$\%\ EE_{carc} = 2,73 + 0,78 \times \%\ EE_{HH}$
Proteína bruta, %	Geral	$\%\ PB_{carc} = 5,98 + 0,66 \times \%\ PB_{HH}$
	Machos castrados	$\%\ PB_{carc} = 6,19 + 0,65 \times \%\ PB_{HH}$
	Fêmeas	$\%\ PB_{carc} = 5,64 + 0,69 \times \%\ PB_{HH}$
Água, %	Geral	$\%\ A_{carc} = 14,90 + 0,78 \times \%\ A_{HH}$
	Machos castrados	$\%\ A_{carc} = 16,83 + 0,75 \times \%\ A_{HH}$
	Fêmeas	$\%\ A_{carc} = 14,28 + 0,78 \times \%\ A_{HH}$

[1] G_{carc} = gordura na carcaça; G_{HH} = gordura na seção HH; M_{carc} = músculo na carcaça; M_{HH} = músculo na seção HH; O_{carc} = osso na carcaça; O_{HH} = osso na seção HH; EE_{carc} = extrato etéreo na carcaça; EE_{HH} = extrato etéreo na seção HH; PB_{carc} = proteína bruta na carcaça; PB_{HH} = proteína bruta na seção HH; A_{carc} = água na carcaça; A_{HH} = água na seção HH.

As equações propostas por Hankins e Howe (1946) têm sido amplamente utilizadas devido à facilidade de obtenção da seção HH. Alguns estudos (Cole et al., 1962; Powell e Huffman, 1973; Crouse e Dikeman, 1974; Nour e Thonney, 1994) avaliaram essas equações, porém, apresentaram resultados distintos. Essas diferenças podem estar relacionadas ao fato de que as equações de predição da composição química foram estimadas a partir do tecido mole (*soft tissue*) e a composição dos ossos não foi levada em consideração.

Alguns pesquisadores tentaram prever a composição química da carcaça e do corpo vazio de bovinos de corte a partir da composição química da seção HH completa (Peron et al., 1993; Jorge et al., 2000; Ferreira et al., 2001; Véras et al., 2001). Neste caso, amostras de tecido muscular, adiposo e ósseo provenientes da dissecação da seção HH foram analisadas quimicamente e utilizadas para estimar a composição química da carcaça. No entanto, a composição física da carcaça foi estimada a partir das equações propostas por Hankins e Howe (1946). Assim, a composição química da carcaça foi estimada a partir da composição química da seção HH, enquanto a composição do corpo vazio foi determinada pela soma das composições da carcaça e dos componentes não-carcaça. Como a carcaça é o principal componente quantitativo do corpo vazio, a maioria desses estudos concluiu que a composição química do corpo vazio poderia ser estimada a partir da composição química da

seção HH. Contudo, outros estudos (Silva, 2001; Paulino et al., 2005a; Costa e Silva et al., 2013) relataram que essa premissa poderia não estar correta, principalmente em relação ao conteúdo de EE na carcaça. Assim, houve um esforço considerável para estabelecer equações preditivas da composição da carcaça e do corpo vazio de bovinos de corte mais precisas nas edições anteriores desta publicação.

Equações para predizer a composição química da carcaça e do corpo vazio de bovinos zebuínos a partir da composição da seção HH foram desenvolvidas na primeira edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2006). Para isso, foi utilizado um banco de dados composto pela composição química de 66 animais oriundos de dois estudos (Paulino, 2002; Paulino, 2006; Tabela 5.2).

Tabela 5.2 - Equações baseadas na composição da seção da 9ª a 11ª costela para estimar a composição química da carcaça e do corpo vazio de bovinos zebuínos, adaptada de BR-CORTE (2006)

Item	Equação[1]	Erro padrão	R^2
Composição química da carcaça			
Extrato etéreo	$\%\ EE_{carc} = 4{,}96 + 0{,}54 \times \%\ EE_{HH}$	2,22	0,80
Proteína	$\%\ PB_{carc} = 4{,}05 + 0{,}78 \times \%\ PB_{HH}$	1,00	0,72
Cinzas	$\%\ CZ_{carc} = 2{,}88 + 0{,}50 \times \%\ CZ_{HH}$	0,66	0,40
Água	$\%\ A_{carc} = 34{,}97 + 0{,}45 \times \%\ A_{HH}$	1,94	0,66
Composição química do corpo vazio			
Extrato etéreo	$\%\ EE_{CVZ} = 4{,}56 + 0{,}60 \times \%\ EE_{HH}$	2,37	0,81
Proteína	$\%\ PB_{CVZ} = 4{,}96 + 0{,}76 \times \%\ PB_{HH}$	0,90	0,75
Cinzas	$\%\ CZ_{CVZ} = 2{,}54 + 0{,}39 \times \%\ CZ_{HH}$	0,47	0,45
Água	$\%\ A_{CVZ} = 31{,}42 + 0{,}51 \times \%\ A_{HH}$	1,94	0,71

[1]EE_{carc} = extrato etéreo na carcaça; PB_{carc} = proteína bruta na carcaça; CZ_{carc} = cinzas na carcaça; A_{carc} = água na carcaça; EE_{HH} = extrato etéreo na seção HH; PB_{HH} = proteína bruta na seção HH; CZ_{HH} = cinzas na seção HH; A_{HH} = água na seção HH; EE_{CVZ} = extrato etéreo no corpo vazio; PB_{CVZ} = proteína bruta no corpo vazio; CZ_{CVZ} = cinzas no corpo vazio; A_{CVZ} = água no corpo vazio.

Marcondes et al. (2010; 2012) desenvolveram equações para estimar as composições química e física da carcaça e do corpo vazio usando a composição da 9ª a 11ª costelas e outras variáveis de zebuínos puros (Nelore) e cruzados (Nelore × Angus ou Nelore × Simental) (Tabelas 5.3 e 5.4), as quais foram previamente descritas na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010). O banco de dados continha a composição corporal de 247 machos não castrados, machos castrados e fêmeas oriundas de seis experimentos conduzidos em confinamento.

Segundo Marcondes et al. (2012), o uso de variáveis adicionais nos modelos, bem como a consideração do efeito de grupo genético e sexo, proporcionaram melhores estimativas das composições de carcaça e corpo vazio. Vale ressaltar que a proporção de gordura visceral (GV; composta pela gordura mesentérica, renal, pélvica e cardíaca) foi significativa para estimação da maioria dos constituintes da carcaça e do corpo vazio.

O desenvolvimento e a composição corporal, principalmente o teor de gordura, variam de acordo com diversos fatores, como nível de alimentação, grupo genético e sexo. Embora o nível de alimentação influencie a composição corporal e o crescimento (Prior et al., 1977; Ferrell et al., 1978; Nour et al., 1981; Williams et al., 1983; Nour e Thonney, 1987), sua inclusão em equações de predição é difícil, bem como essa informação nem sempre está disponível. Segundo Butterfield (1966), a GV é correlacionada com o metabolismo animal e é relativamente constante mesmo durante os desafios nutricionais. Portanto, ela provavelmente representaria melhor o conteúdo de gordura corporal. Assim, a inclusão de GV pode ser importante para a aplicabilidade das equações.

Tabela 5.3 - Equações de predição da composição física e química da carcaça e química do corpo vazio de zebuínos puros e cruzados, adaptada de Marcondes et al. (2010; 2012)

Variável	GG/Classe sexual[1]	Equação[2]	R^2	RSME[3]
Composição física da carcaça				
Gordura*	-	$\%\ G_{CARC} = a + 0,30 \times \%\ G_{HH} + b \times \%\ GV$	0,79	3,01
Músculo	Nelore	$\%\ M_{CARC} = 57,33 + 0,20 \times \%\ M_{HH} - 1,39 \times \%\ GV$	0,51	2,97
	Nelore × Simental			
	Nelore × Angus	$\%\ M_{CARC} = 60,96 + 0,12 \times \%\ M_{HH} - 1,39 \times \%\ GV$		
Osso	Nelore	$\%\ O_{CARC} = 29,26 + 0,30 \times \%\ O_{HH} - 0,21 \times RC - 0,95 \times \%\ GV$	0,77	1,43
	Nelore × Simental			
	Nelore × Angus	$\%\ O_{CARC} = 29,26 + 0,30 \times \%\ O_{HH} - 0,21 \times RC - 1,01 \times \%\ GV$		
Composição química da carcaça				
EE	-	$\%\ EE_{CARC} = 4,31 + 0,31 \times \%\ EE_{HH} + 1,37 \times \%\ GV$	0,83	2,13
PB	-	$\%\ PB_{CARC} = 17,92 + 0,60 \times \%\ PB_{HH} - 0,17 \times RC$	0,50	1,26
Água	Nelore	$\%\ A_{CARC} = 48,74 + 0,28 \times \%\ A_{HH} - 0,017 \times PCVZ$	0,67	2,27
	Nelore × Angus	$\%\ A_{CARC} = 38,06 + 0,48 \times \%\ A_{HH} - 0,017 \times PCVZ$		
	Nelore × Simental	$\%\ A_{CARC} = 46,69 + 0,32 \times \%\ A_{HH} - 0,017 \times PCVZ$		
Composição química do corpo vazio				
EE	Machos não castrados	$\%\ EE_{CVZ} = 2,75 + 0,33 \times \%\ EE_{HH} + 1,80 \times \%\ GV$	0,89	1,97
	Machos castrados**	$\%\ EE_{CVZ} = 1,84 + 0,33 \times \%\ EE_{HH} + 1,91 \times \%\ GV$		
	Fêmeas	$\%\ EE_{CVZ} = 4,77 + 0,33 \times \%\ EE_{HH} + 1,28 \times \%\ GV$		
PB	-	$\%\ PB_{CVZ} = 10,78 + 0,47 \times \%\ PB_{HH} - 0,21 \times \%\ GV$	0,59	1,03
Água	Machos não castrados	$\%\ A_{CVZ} = 38,31 + 0,33 \times \%\ A_{HH} - 1,09 \times \%\ GV + 0,50 \times \%\ OV$	0,82	1,96
	Machos castrados**	$\%\ A_{CVZ} = 45,67 + 0,25 \times \%\ A_{HH} - 1,89 \times \%\ GV + 0,50 \times \%\ OV$		
	Fêmeas	$\%\ A_{CVZ} = 31,61 + 0,47 \times \%\ A_{HH} - 1,06 \times \%\ GV + 0,50 \times \%\ OV$		

[1]GG = grupo genético; [2]G_{carc} = gordura na carcaça (%); G_{HH} = gordura na seção HH (%); M_{carc} = músculo na carcaça (%); M_{HH} = músculo na seção HH (%); O_{carc} = osso na carcaça (%); O_{HH} = osso na seção HH (%); EE_{carc} = extrato etéreo na carcaça (%); EE_{HH} = extrato etéreo na seção HH (%); EE_{PCVZ} = extrato etéreo no corpo vazio (%); %GV = porcentagem de gordura visceral no corpo vazio; PB_{carc} = proteína bruta na carcaça (%), PB_{HH} = proteína bruta na seção HH (%); RC = rendimento de carcaça; PB_{PCVZ} = proteína bruta no corpo vazio (%); A_{carc} = água na carcaça (%); A_{HH} = água na seção HH (%); PCVZ = peso de corpo vazio (kg); A_{PCVZ} = água no corpo vazio (%); % OV = porcentagem de órgãos e vísceras no corpo vazio; [3]RQME = raiz do quadrado médio do erro de predição.

**Houve efeito de classe sexual para o intercepto, enquanto houve interação entre classe sexual e raça para o coeficiente relacionado à GV e o desmembramento dessa interação pode ser visualizado na Tabela 5.4.*

***As novas equações para machos castrados Nelore x Angus estão apresentadas na seção "Avaliação das equações propostas por Hankins e Howe (1946), BR-CORTE (2006) e BR-CORTE (2010)".*

Tabela 5.4 - Desmembramento do efeito de classe sexual sobre o intercepto e da interação entre classe sexual e grupo genético sobre o coeficiente relacionado à gordura visceral (GV)

Classe sexual	Grupo genético	Intercepto	Coeficiente relacionado a GV
Machos não castrados	Nelore	0,689	1,177
	Nelore × Angus		1,198
Machos castrados	Nelore	5,259	0,379
	Nelore × Angus		0,430
	Nelore × Simental		0,740
Fêmeas	Nelore	0,471	1,532
	Nelore × Angus		1,981
	Nelore × Simental		2,338

AVALIAÇÃO DAS EQUAÇÕES PROPOSTAS POR HANKINS E HOWE (1946), BR-CORTE (2006) E BR-CORTE (2010)

Composição corporal de zebuínos puros (machos não castrados) e cruzados (machos não castrados e castrados)

Após a publicação das equações pelo BR-CORTE (2010), diversos trabalhos foram desenvolvidos com o intuito de verificar a efetividade dessas equações em estimar corretamente a composição corporal de zebuínos e cruzados. Com esse intuito, Costa e Silva et al. (2013) concluíram que as equações propostas por Marcondes et al. (2012) estimam adequadamente a composição física da carcaça de machos Nelore não castrados. Semelhantemente, Fonseca et al. (2014) concluíram que as equações propostas por

Marcondes et al. (2012) estimaram adequadamente os tecidos muscular e adiposo de machos F1 Nelore × Angus não castrados e castrados. No entanto, Costa e Silva et al. (2013) não recomendaram nenhuma das equações propostas por Hankins e Howe (1946) para predizer a composição física da carcaça, enquanto Fonseca et al. (2014) relataram que nenhuma das equações propostas por Hankins e Howe (1946) ou Marcondes et al. (2012) estimaram corretamente o conteúdo de ossos de bovinos F1 Nelore × Angus.

Além disso, alguns estudos iniciais realizados no Brasil concluíram que as equações desenvolvidas por Hankins e Howe (1946) não foram totalmente aplicáveis para estimar a composição química da carcaça e do corpo vazio de bovinos puros (*Bos taurus indicus*) e cruzados (*Bos taurus indicus* × *Bos taurus taurus*) (Lana et al., 1995; Silva, 2001; Paulino et al., 2005b).

Nesse sentido, Costa e Silva et al. (2013) e Fonseca et al. (2014) avaliaram se as equações propostas por Hankins e Howe (1946), BR-CORTE (2006) e Marcondes et al. (2012) estimavam corretamente a composição química da carcaça e do corpo vazio de zebuínos puros e cruzados. Costa e Silva et al. (2013) não recomendaram o uso das equações propostas pelo BR-CORTE (2006) ou Hankins e Howe (1946) para predizer a composição química da carcaça e do corpo vazio de machos Nelore não castrados, enquanto relataram que as equações propostas por Marcondes et al. (2012) apresentaram estimativas precisas.

Fonseca et al. (2014), utilizando dados de machos F1 Nelore × Angus não castrados e castrados, verificaram que as equações propostas por Marcondes et al. (2012) apresentaram as melhores estimativas da composição química da carcaça e do corpo vazio, exceto para o teor de água no corpo vazio. Como a água é calculada por diferença, esse componente é suscetível ao acúmulo de erros de outras análises (Costa e Silva et al., 2013).

Fonseca et al. (2014) também observaram que o conteúdo de EE no corpo vazio foi corretamente estimado pelas equações de Marcondes et al. (2012) quando machos não castrados e castrados foram analisados separadamente. Avaliações adicionais realizadas por esses autores mostraram que a equação não requer nenhum ajuste para predizer o conteúdo de EE no corpo vazio de machos não castrados, enquanto uma reparametrização com machos castrados com maior deposição de gordura melhoraria as predições do conteúdo de EE no corpo vazio para tais animais.

Como as equações propostas por Marcondes et al. (2012) não foram suficientemente ajustadas para estimar os teores de EE e água no corpo vazio de machos castrados (Fonseca et al., 2014), novas equações para predizer os teores de EE e água nesses animais foram desenvolvidas e avaliadas nas última edição desta publicação (BR-CORTE, 2016). Para isso, um novo banco de dados foi construído utilizando dados de Marcondes et al. (2012) e Fonseca et al. (2014) para estimar o teor de EE, enquanto a nova equação para predição do teor de água foi derivada dos mesmos dados utilizados por Marcondes et al. (2012). Assim, as estimativas dos teores de EE e água no corpo vazio de machos castrados foram reajustadas usando o procedimento *cross validation* (Duchesne and MacGregor, 2001). Vinte por cento dos dados de cada estudo foram separados aleatoriamente para validação da equação de EE, enquanto um experimento independente foi utilizado para validação da equação de água. As equações propostas e validadas podem ser vistas abaixo:

$$\%\ EE_{CVZ} = 2{,}797 + 0{,}289 \times \%\ EE_{HH} + 2{,}056 \times \%\ GV$$
$$(R^2 = 0{,}84;\ RSME = 2{,}51),$$

onde EE_{CVZ} = conteúdo de extrato etéreo no corpo vazio, EE_{HH} = conteúdo de extrato etéreo na seção entre a 9ª e 11ª costelas e GV = gordura visceral (gordura mesentérica, renal, pélvica e cardíaca).

$$\%\ A_{CVZ} = 30{,}77 + 0{,}48 \times \%\ A_{HH} - 1{,}07 \times \%\ GV + 0{,}50 \times \%\ OV$$
$$(R^2 = 0{,}88;\ RSME = 2{,}42)$$

Onde A_{CVZ} = conteúdo de água no corpo vazio, A_{HH} = conteúdo de água na seção entre a 9ª e 11ª costelas, GV = gordura visceral (gordura mesentérica, renal, pélvica e cardíaca) e OV = conteúdo de órgãos e vísceras no corpo vazio.

A inclusão de novas variáveis preditivas como GV e órgãos e vísceras (OV) melhorou as estimativas da composição química da carcaça

e do corpo vazio de zebuínos puros (machos não castrados) e cruzados (machos não castrados e castrados). Assim, as equações para predição da composição da carcaça e corpo vazio recomendadas na terceira edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016) foram mantidas na edição atual. O uso dessas equações permite evitar a dissecação completa da meia-carcaça e diminuir os custos e mão de obra envolvidos nos estudos de exigências nutricionais de bovinos de corte (Costa e Silva et al., 2013).

Composição corporal de zebuínos (machos castrados e fêmeas)

A qualidade do ajuste das equações sugeridas por Hankins e Howe (1946), BR-CORTE (2006) e BR-CORTE (2010) para predizer a composição química da carcaça e corpo vazio de machos castrados e fêmeas Zebu foi avaliada na última edição desta publicação (BR-CORTE, 2016). Para isso, foram utilizadas informações individuais de 32 fêmeas e 18 machos Nelore castrados oriundos do estudo Costa e Silva (2015) (Tabela 5.5).

Tabela 5.5 - Descrição dos dados utilizados para avaliar as equações de composição corporal de machos castrados (n = 18) e fêmeas (n = 32) Nelore

Item	Média	DP[1]	Máximo	Mínimo
Machos castrados				
Peso de corpo vazio, kg	168	39,5	260	109
Peso da carcaça, kg	101	24,5	160	65,4
Orgão + vísceras, % PCVZ	14,1	1,56	17,5	11,7
GV[2], % PCVZ	3,02	0,93	4,63	1,73
Extrato etéreo no PCVZ, %	9,83	1,60	12,7	7,52
Proteína bruta no PCVZ, %	18,7	0,78	20,0	17,0
Água no PCVZ, %	67,7	1,16	69,6	65,5
Extrato etéreo na carcaça, %	10,6	1,55	13,4	7,55
Proteína bruta na carcaça, %	18,5	0,94	20,3	16,9
Água na carcaça, %	66,2	1,61	68,8	62,0
Extrato etéreo na seção HH, %	12,2	2,69	17,4	6,06
Proteína bruta na seção HH, %	18,9	1,77	21,8	15,8
Água na seção HH, %	64,1	1,52	65,8	58,8
Fêmeas				
Peso de corpo vazio, kg	190	40,4	266	104
Peso da carcaça, kg	116	24,8	162	62,6
Orgão + vísceras, % PCVZ	14,8	0,99	16,81	13,1
GV[2], % PCVZ	3,93	0,88	5,83	1,65
Extrato etéreo no PCVZ, %	13,1	2,38	18,9	7,45
Proteína bruta no PCVZ, %	18,5	0,75	20,4	17,1
Água no PCVZ, %	64,9	2,49	70,0	60,4
Extrato etéreo na carcaça, %	13,0	2,36	18,1	8,23
Proteína bruta na carcaça, %	18,5	0,90	21,3	16,6
Água na carcaça, %	64,3	2,59	69,0	59,5
Extrato etéreo na seção HH, %	15,2	2,91	20,4	9,12
Proteína bruta na seção HH, %	17,5	1,52	20,1	14,3
Água na seção HH, %	62,7	1,73	67,1	59,9

[1]DP = desvio padrão; [2]GV = gordura mesentérica, renal, pélvica e cardíaca.

Resumidamente, todas as equações estimaram corretamente o teor de proteína bruta (PB) na carcaça, enquanto apenas as equações recomendadas pelo BR-CORTE (2010) estimaram corretamente os teores de EE e água na carcaça de machos castrados e fêmeas Nelore (Tabela 5.6).

Além disso, as equações propostas no BR-CORTE (2010) estimaram com exatidão e precisão todos os componentes químicos no corpo vazio avaliados, enquanto as equações

descritas no BR-CORTE (2006) apresentaram inconsistências no intercepto e/ou inclinação da regressão linear (Tabela 5.7). Portanto, as equações de predição das composições química da carcaça e do corpo vazio de machos castrados e fêmeas Zebu descritas pela primeira vez na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010) foram recomendadas na última edição desta publicação e mantidas na edição atual.

Tabela 5.6 - Médias (kg) e estatística descritiva da relação entre os valores observados e preditos da composição química da carcaça de machos castrados e fêmeas Nelore em crescimento

Item	Proteína bruta				Extrato etéreo				Água			
	Obs[1]	HH	V06	V10	Obs	HH	V06	V10	Obs	HH	V06	V10
Média	19,9	19,3	19,4	19,7	14,0	15,7	14,2	15,5	71,1	70,0	69,6	69,4
Desvio-padrão	4,36	3,79	3,75	3,78	5,61	5,47	4,57	5,41	14,9	15,43	15,6	15,0
Máximo	28,7	27,4	27,5	28,1	29,4	25,0	22,1	27,8	104	103	101	99,3
Mínimo	11,9	11,8	11,8	12,0	4,94	6,19	6,28	5,93	42,9	41,7	40,8	41,2
r	-	0,94	0,92	0,95	-	0,92	0,93	0,94	-	0,99	0,99	0,99
CCC[2]	-	0,92	0,90	0,94	-	0,87	0,91	0,90	-	0,99	0,98	0,98
Regressão												
Intercepto												
Estimativa	-	-0,96	-0,92	-1,75	-	-0,84	-2,29	-1,09	-	4,25	5,26	2,67
Erro padrão	-	1,17	1,33	1,05	-	0,97	0,96	0,86	-	1,47	1,39	1,43
P valor[3]	-	0,42	0,49	0,10	-	0,39	0,02	0,21	-	0,006	0,0004	0,07
Inclinação												
Estimativa	-	1,08	1,07	1,10	-	0,94	1,14	0,97	-	0,96	0,95	0,99
Erro padrão	-	0,06	0,07	0,05	-	0,06	0,06	0,05	-	0,02	0,02	0,02
P valor[4]	-	0,19	0,29	0,07	-	0,32	0,03	0,58	-	0,04	0,008	0,49
EPM[5]	-	2,67	3,11	1,88	-	8,02	4,54	6,19	-	6,41	7,26	7,09
Vício médio	-	0,34	0,23	0,03	-	3,11	0,07	2,38	-	1,33	2,29	2,88
Erro sistemático	-	0,09	0,07	0,13	-	0,10	0,42	0,02	-	0,46	0,69	0,04
Erro aleatório	-	2,24	2,80	1,71	-	4,81	4,05	3,79	-	4,62	4,27	4,17

[1]Obs – valores observados; HH – valores preditos pelo método do Hankins and Howe (1946); V06 – valores preditos pelo método de Valadares Filho et al. (2006); V10 – valores preditos pelo método de Valadares Filho et al. (2010). [2]CCC – coeficiente de correlação e concordância; [3]H_0: $\beta_0=0$. [4]H_0: $\beta_1=1$. [5]EPM = erro padrão da média.

Tabela 5.7 - Médias (kg) e estatística descritiva da relação entre os valores observados e preditos da composição química do corpo vazio de machos castrados e fêmeas Nelore em crescimento

Item	Proteína bruta			Extrato etéreo			Água		
	Obs[1]	V06	V10	Obs	V06	V10	Obs	V06	V10
Média	33,7	33,7	33,4	22,1	24,0	25,2	117	113	113
Desvio-padrão	6,10	5,49	5,50	8,73	7,80	9,06	23,1	23,8	23,2
Máximo	46,8	45,9	45,7	41,6	37,5	42,6	171	165	158
Mínimo	19,9	20,3	20,2	7,77	10,4	8,93	72,9	68,4	70,1
r	-	0,95	0,97	-	0,94	0,96	-	0,99	0,98
CCC[2]	-	0,94	0,96	-	0,91	0,91	-	0,98	0,97
Regressão									
Intercepto									
Estimativa	-	-1,79	-2,24	-	-3,14	-1,34	-	8,25	6,69
Erro padrão	-	1,94	1,47	-	1,41	1,02	-	2,19	3,38
P valor[3]	-	0,36	0,14	-	0,03	0,19	-	0,001	0,053
Inclinação									
Estimativa	-	1,05	1,08	-	1,05	0,93	-	0,96	0,98
Erro padrão	-	0,06	0,04	-	0,06	0,04	-	0,02	0,03
P valor[4]	-	0,35	0,09	-	0,36	0,06	-	0,06	0,40
EPM[5]	-	3,79	2,43	-	12,6	16,0	-	26,8	35,7
Vício médio	-	0,0002	0,08	-	3,65	10,1	-	17,1	15,0
Erro sistemático	-	0,08	0,17	-	0,16	0,42	-	0,74	0,33
Erro aleatório	-	3,70	2,17	-	8,75	5,44	-	9,04	20,4

[1]Obs – valores observados; V06 – valores preditos pelo método de Valadares Filho et al. (2006); V10 – valores preditos pelo método de Valadares Filho et al. (2010). [2]CCC – coeficiente de correlação e concordância; [3]H_0: $\beta_0=0$. [4]H_0: $\beta_1=1$. [5]EPM = erro padrão da média.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CARCAÇA E DO CORPO VAZIO DE CRUZADOS DE LEITE

As equações para predição da composição química da carcaça e corpo vazio descritas na primeira (BR-CORTE, 2006) e na segunda (BR-CORTE, 2010) edições dessa publicação foram obtidas de um banco de dados composto por animais Zebu (principalmente Nelore) e Zebu e cruzados de corte (Nelore × *Bos taurus taurus*), respectivamente.

Prados (2012), avaliando a adequação dessas equações para predizer a composição corporal de bovinos cruzados de leite (¼ Holandês × ¾ Zebu), verificou que o teor de PB no corpo vazio foi estimado adequadamente pela equação do BR-CORTE (2010), já as equações propostas pelo BR-CORTE (2006) estimaram corretamente os teores de EE e água no corpo vazio. Semelhantemente, Neves (2013) observou que as equações propostas por Hankins e Howe (1946) estimaram com precisão o teor de PB na carcaça e os teores de PB e água no corpo vazio de machos Holandês × Zebu não castrados. Além disso, este autor concluiu que as equações propostas pelo BR-CORTE (2010) não foram adequadas para estimar a composição química da carcaça e do corpo vazio de machos Holandês × Zebu não castrados.

A presença da raça Holandesa no genótipo dos animais utilizados nos referidos estudos, pode ter resultado em um padrão de crescimento e conformação diferente quando comparado a raças selecionadas para produção de carne e seus mestiços. Assim, as equações de predição das composições de carcaça e corpo vazio apresentaram qualidade de ajuste reduzida.

Nesse contexto, novas equações preditivas da composição corporal de bovinos cruzados de leite foram propostas na última edição desta publicação (BR-CORTE, 2016). Para isso, foi utilizado um banco de dados com informações individuais de 80 machos não castrados, 56 machos castrados e 44 fêmeas oriundos de cinco experimentos (Prados, 2012; Neves, 2013; Zanetti, 2014; Rodrigues, 2014; Silva, 2015) (Tabela 5.8).

Tabela 5.8 - Descrição dos dados usados para gerar as equações de predição da composição corporal de bovinos Cruzados de leite a partir da composição do corte entre a 9ª e 11ª costelas

Item	Média	DP[1]	Máximo	Mínimo
Peso de corpo vazio, kg	311	82,5	529	118
Peso de carcaça, kg	188	51,8	345	68,3
Peso de componentes não carcaça, kg	117	29,4	224	50,0
Peso de órgãos e vísceras, kg	59,3	21,0	124	20,9
Peso de gordura visceral, kg	16,4	7,59	46,2	2,25
Proteína bruta na seção HH, %	17,2	2,22	25,5	8,70
Extrato etéreo na seção HH, %	19,8	6,54	36,5	3,01
Matéria mineral na seção HH, %	5,24	2,36	10,9	0,68
Água na seção HH, %	57,4	6,13	74,3	42,3
Proteína bruta na carcaça, %	17,3	1,96	21,7	12,1
Extrato etéreo na carcaça, %	16,5	4,24	30,6	7,47
Matéria mineral na carcaça, %	4,43	1,27	7,90	1,60
Água na carcaça, %	61,7	3,45	69,6	54,6
Proteína bruta no corpo vazio, %	17,8	1,63	21,5	14,7
Extrato etéreo no corpo vazio, %	16,1	4,27	28,0	4,84
Matéria mineral no corpo vazio, %	3,90	1,11	6,47	1,51
Água no corpo vazio, %	62,0	3,75	71,8	52,7

[1]DP = desvio padrão.

Utilizando o procedimento *cross validation* (Duchesne e MacGregor, 2001), o efeito do animal foi considerado nas análises estatísticas que permitiram a geração de uma única equação para cada componente avaliado (PB, EE e água). As equações desenvolvidas estão descritas na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Equações de predição da composição química da carcaça e do corpo vazio de bovinos Holandês × Zebu

Item	Equações[1]	R^2
Composição química da carcaça		
Extrato etéreo	$\% EE_{CARC} = 4,54 + 0,48 \times \% EE_{HH} + 0,12 \times \% OV$	0,66
Proteína bruta	$\% PB_{CARC} = 18,38 + 0,16 \times \% PB_{HH} - 0,20 \times \% OV$	0,53
Água	$\% A_{CARC} = 55,67 + 0,21 \times \% A_{HH} - 0,021 \times PCVZ$	0,40
Composição química do corpo vazio		
Extrato etéreo	$\% EE_{CVZ} = 3,53 + 0,34 \times \% EE_{HH} + 0,80 \times \% GV + 0,10 \times \% OV$	0,73
Proteína bruta	$\% PB_{CVZ} = 19,92 + 0,086 \times \% PB_{HH} - 0,19 \times \% OV$	0,58
Água	$\% A_{CVZ} = 53,02 + 0,17 \times \% A_{HH} - 1,28 \times \% GV + 0,27 \times \% OV$	0,47

[1]EE_{carc} = extrato etéreo na carcaça; EE_{HH} = extrato etéreo na seção HH; OV = porcentagem de órgãos e vísceras no corpo vazio; PB_{CARC} = proteína bruta na carcaça; GV = percentagem de gordura visceral no corpo vazio; PB_{HH} = proteína bruta na seção HH; A_{CARC} = água na carcaça; A_{HH} = água na seção HH; PCVZ = peso de corpo vazio; EE_{CVZ} = extrato etéreo no corpo vazio; PB_{CVZ} = proteína bruta no corpo vazio; A_{CVZ} = água no corpo vazio.

Silva et al. (2021), avaliaram as equações desenvolvidas por Hankins e Howe (1946) e BR-CORTE (2016) para predizer a composição química da carcaça e do corpo vazio de bovinos cruzados de leite, utilizando um banco de dados independente composto por 33 machos Holandês × Zebu castrados. Resumidamente, os teores de PB e EE da carcaça e todos os componentes químicos do corpo vazio foram estimados de forma acurada e precisa pelas equações propostas pelo BR-CORTE (2016). No entanto, o teor de água na carcaça foi melhor estimado pela equação de Hankins e Howe (1946). As equações do BR-CORTE (2016) foram desenvolvidas usando um banco de dados composto por animais Holandês × Zebu, o que resultou na melhor qualidade de ajuste para os conteúdos de PB e EE da carcaça e na estimativa correta dos componentes químicos do corpo vazio. Portanto, as equações sugeridas no BR-CORTE (2016) podem ser utilizadas para predizer os teores de PB e EE na carcaça, bem como todos os componentes químicos no corpo vazio de machos Holandês × Zebu castrados.

PREDIÇÃO DA COMPOSIÇÃO MINERAL DO CORPO

As equações recomendadas na segunda edição do BR-CORTE (2010) para predição da composição mineral do corpo vazio foram baseadas no estudo de Marcondes et al. (2009), no qual a composição mineral (cálcio, fósforo, sódio, potássio e magnésio) da seção entre a 9ª e 11ª costelas foi utilizada como variável preditiva (Tabela 5.10).

Tabela 5.10 - Equações de predição da composição de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) no corpo vazio de bovinos de corte a partir da composição mineral da seção entre a 9ª e 11ª costelas (adaptada de Marcondes et al., 2009)

Item	Equação[1]	r^2
Cálcio	$\% Ca_{CVZ} = 0,7334 + 0,5029 \times \% Ca_{HH}$	0,71
Fósforo	$\% P_{CVZ} = 0,3822 + 0,4241 \times \% P_{HH}$	0,70
Magnésio	$\% Mg_{CVZ} = 0,0096 + 0,6260 \times \% Mg_{HH}$	0,73
Sódio	$\% Na_{CVZ} = 0,1111 + 0,2886 \times \% Na_{HH}$	0,31
Potássio	$\% K_{CVZ} = 0,0357 + 0,6732 \times \% K_{HH}$	0,60

[1]Ca_{CVZ} = cálcio no corpo vazio; Ca_{HH} = cálcio na seção HH; P_{CVZ} = fósforo no corpo vazio; P_{HH} = fósforo na seção HH; Mg_{CVZ} = magnésio no corpo vazio; Mg_{HH} = magnésio na seção HH; Na_{CVZ} = sódio no corpo vazio; Na_{HH} = sódio na seção HH; K_{CVZ} = potássio no corpo vazio; K_{HH} = potássio na seção HH.

Marcondes et al. (2009) verificaram um alto coeficiente de correlação entre a composição mineral da seção entre a 9ª e 11ª costelas (HH) e o corpo vazio (Tabela 5.10). No entanto, Costa e Silva (2011) observou que as equações geradas por Marcondes et al. (2009) não estimaram corretamente a composição corporal de macrominerais (P, Mg, Na e K) de machos zebuínos não castrados (Tabela 5.11).

Tabela 5.11 - Médias (kg) e estatística descritiva da relação entre os valores observados e preditos da composição mineral do corpo vazio de machos Nelore não castrados

Item	Cálcio		Fósforo		Magnésio		Sódio		Potássio	
	Obs[1]	Predito	Obs	Predito	Obs	Predito	Obs	Predito	Obs	Predito
Média	4,37	3,00	2,83	2,91	0,12	0,14	0,42	0,39	0,60	0,41
Desvio-padrão	1,03	0,67	0,60	0,80	0,03	0,03	0,09	0,12	0,16	0,13
Máximo	7,15	4,66	4,25	5,47	0,17	0,20	0,61	0,68	0,90	0,71
Mínimo	2,24	1,93	1,91	1,77	0,06	0,08	0,28	0,18	0,33	0,22
r	-	0,76	-	0,67	-	0,75	-	0,68	-	0,85
CCC[2]	-	0,31	-	0,64	-	0,62	-	0,62	-	0,46
Regressão										
Intercepto										
Estimativa	-	0,85	-	1,35	-	0,03	-	0,22	-	0,19
Erro padrão	-	0,52	-	0,28	-	0,01	-	0,04	-	0,04
P valor[3]	-	0,11	-	< 0,001	-	0,03	-	< 0,001	-	< 0,001
Inclinação										
Estimativa	-	1,17	-	0,51	-	0,63	-	0,53	-	1,01
Erro padrão	-	0,17	-	0,09	-	0,09	-	0,10	-	0,10
P valor[4]	-	0,32	-	< 0,001	-	< 0,001	-	< 0,001	-	0,92
EPM[5]	-	2,31	-	0,35	-	0,0009	-	0,009	-	0,043
Vício	-	1,86	-	0,01	-	0,0004	-	0,001	-	0,037
MaF	-	0,01	-	0,15	-	0,0000	-	0,003	-	0,000
MoF	-	0,44	-	0,19	-	0,0005	-	0,005	-	0,007

[1]Obs – valores observados; [2]CCC – coeficiente de correlação e concordância; [3]H_0: β_0=0. [4]H0: β_1=1. [5]EPM = erro padrão da média; Vício = vício do modelo; MaF = magnitude de flutuação aleatória; MoF = modelo de flutuação aleatória

Um novo banco de dados foi desenvolvido na última edição desta publicação (BR-CORTE, 2016) para desenvolver novas equações preditivas da composição mineral do corpo vazio de bovinos de corte (Tabela 5.12). Dados individuais de bovinos Zebu foram obtidos dos estudos de Marcondes et al. (2009) e Costa e Silva (2015), enquanto a composição mineral de bovinos cruzados de corte foi obtida a partir dos estudos de Marcondes (2010) e Souza (2010). Dados de Rodrigues (2014) e Zanetti (2014) foram utilizados para estimar a composição mineral de bovinos cruzados de leite.

Tabela 5.12 - Descrição dos dados usados para gerar as equações de predição da composição de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) do corpo vazio de zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite

Item	Média	DP[1]	Máximo	Mínimo
Zebuínos (n=133)				
Peso de corpo vazio, kg	272	102	549	104
Matéria mineral na seção HH, %	5,56	1,63	10,3	2,74
Cálcio no corpo vazio, %	2,23	0,90	4,75	0,89
Fósforo no corpo vazio, %	0,77	0,18	1,26	0,41
Magnésio no corpo vazio, %	0,04	0,01	0,08	0,02
Sódio no corpo vazio, %	0,12	0,02	0,18	0,08
Potássio no corpo vazio, %	0,17	0,02	0,26	0,10
Cruzados de corte (n=117)				
Peso de corpo vazio, kg	344	82,6	506	192
Matéria mineral na seção HH, %	6,29	1,29	9,68	1,79
Cálcio no corpo vazio, %	1,51	0,29	3,19	1,04
Fósforo no corpo vazio, %	0,72	0,12	0,98	0,48
Magnésio no corpo vazio, %	0,04	0,01	0,07	0,03
Sódio no corpo vazio, %	0,13	0,03	0,21	0,08
Potássio no corpo vazio, %	0,21	0,03	0,41	0,14
Cruzados de leite (n=80)				
Peso de corpo vazio, kg	318	67,9	510	195
Matéria mineral na seção HH, %	3,90	2,55	8,06	0,68
Cálcio no corpo vazio, %	1,32	0,25	1,77	0,59
Fósforo no corpo vazio, %	0,71	0,18	1,10	0,20
Magnésio no corpo vazio, %	0,03	0,01	0,05	0,02
Sódio no corpo vazio, %	0,14	0,02	0,17	0,10
Potássio no corpo vazio, %	0,20	0,05	0,28	0,11

Uma meta-análise foi realizada para desenvolver equações preditivas da composição corporal de macromineral (Ca, P, Mg, Na e K) de bovinos Zebu, cruzados de corte e cruzados de leite (Tabela 5.13).

Tabela 5.13 - Equações de predição da composição de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) no corpo vazio para zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite

Item	Equação[1]	r^2
Zebuínos		
Cálcio	$\% Ca_{CVZ} = 1,4557 + 0,2362 \times \% CZ_{HH} - 0,00223 \times PCVZ$	0,80
Fósforo	$\% P_{CVZ} = 1,0068 - 0,00099 \times PCVZ$	0,10
Magnésio	$\% Mg_{CVZ} = 0,02859 + 0,001721 \times \% CZ_{HH} - 0,00001 \times PCVZ$	0,54
Sódio	$\% Na_{CVZ} = 0,1213 + 0,002116 \times \% CZ_{HH} - 0,00002 \times PCVZ$	0,51
Potássio	$\% K_{CVZ} = 0,1942 + 0,000833 \times \% CZ_{HH} - 0,0001 \times PCVZ$	0,22
Cruzados de corte		
Cálcio	$\% Ca_{CVZ} = 1,7028 + 0,04638 \times \% CZ_{HH} - 0,00142 \times PCVZ$	0,52
Fósforo	$\% P_{CVZ} = 0,4619 - 0,0404 \times \% CZ_{HH}$	0,49
Magnésio	$\% Mg_{CVZ} = 0,02418 + 0,00196 \times \% CZ_{HH}$	0,34
Sódio	$\% Na_{CVZ} = 0,1205 + 0,002747 \times \% CZ_{HH} - 0,00002 \times PCVZ$	0,56
Potássio	$\% K_{CVZ} = 0,1636 + 0,007102 \times \% CZ_{HH}$	0,35
Cruzados de leite		
Cálcio	$\% Ca_{CVZ} = 1,2445 + 0,0506 \times \% CZ_{HH} - 0,00035 \times PCVZ$	0,58
Fósforo	$\% P_{CVZ} = 0,7279 + 0,0333 \times \% CZ_{HH} - 0,00048 \times PCVZ$	0,58
Magnésio	$\% Mg_{CVZ} = 0,0406 - 0,00106 \times \% CZ_{HH}$	0,06
Sódio	$\% Na_{CVZ} = 0,1454 + 0,00064 \times \% CZ_{HH}$	0,05
Potássio	$\% K_{CVZ} = 0,1411 + 0,01478 \times \% CZ_{HH}$	0,79

[1]Ca_{CVZ} = cálcio no corpo vazio (%); CZ_{HH} = cinzas na seção HH (%); PCVZ = peso de corpo vazio (kg); P_{CVZ} = fósforo no corpo vazio (%); P_{HH} = fósforo na seção HH (%); Mg_{CVZ} = magnésio no corpo vazio (%); Na_{CVZ} = sódio no corpo vazio (%); K_{CVZ} = potássio no corpo vazio (%).

As estimativas de R^2 para a maioria dos minerais em função do grupo genético foram consideradas satisfatórias. Contudo, as estimativas de R^2 foram próximas de zero para fósforo e potássio em bovinos Zebu, magnésio e potássio em cruzados de corte, e magnésio e sódio em cruzados de leite, indicando que há uma tendência de constância desses minerais no corpo vazio de tais animais. No entanto, é importante destacar que essas equações ainda precisam ser validadas com um banco de dados independente para avaliar adequadamente o efeito do grupo genético.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS COMPONENTES NÃO CARCAÇA

Conforme descrito anteriormente, as equações de predição baseadas na composição da 9ª a 11ª costelas para a composição química do corpo vazio apresentaram melhor ajuste quando comparadas àquelas para a composição química da carcaça (Tabela 5.4). Entretanto, se o pesquisador utilizar as equações de composição química da carcaça ou se for necessária a determinação da composição real da carcaça por dissecação, a composição dos demais componentes do corpo (sangue, couro, membros, cabeça, órgãos e vísceras) precisará ser determinada para se obter a composição química do corpo vazio. A determinação da composição química dos componentes não carcaça implica, necessariamente, em maior custo, tempo e mão de obra, uma vez que existem pelo menos 4 amostras a mais (sangue, couro, membros + cabeça e órgãos + vísceras) por animal que devem ser analisadas quimicamente. O rendimento de carcaça pode variar de 60 a 65% do peso de corpo vazio (PCVZ; Costa et al., 2005; Missio et al., 2009). Assim, todos os componentes não carcaça representariam de 35 a 40% do PCVZ. Assim, conhecer a composição química dos componentes não carcaça é importante devido à sua contribuição para a composição do PCVZ.

Nesse contexto, Costa e Silva et al. (2012), visando reduzir custos com mão de obra e experimentais, desenvolveram equações preditivas da composição química dos componentes não carcaça (sangue, couro, membros, cabeça, órgãos e vísceras). Foi utilizado um banco de dados composto por informações individuais de 335 bovinos zebuínos, cruzados de

corte e cruzados de leite. O efeito do estudo foi contabilizado, assim como os efeitos do grupo genético e do sexo na composição dos componentes não carcaça foram avaliados durante a análise estatística.

Costa e Silva et al. (2012) observaram que foi necessário um ajuste para prever a composição química de cada componente não carcaça (sangue, couro, membros, cabeça, órgãos e vísceras), o que resultaria em muitas equações preditivas. Assim, para reduzir o número de equações geradas e simplificar as estimativas, os componentes não carcaça foram agrupados em cabeça + membros, couro + sangue e órgãos + vísceras e novas equações foram geradas, as quais foram descritas anteriormente na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010).

A qualidade do ajuste das equações de predição descritas pelo BR-CORTE (2010) foi avaliada por Costa e Silva et al. (2013). Esses autores verificaram que o teor de PB do couro + sangue foi estimado corretamente, enquanto as equações preditivas dos teores de EE e água apresentaram problemas de ajuste (reprodutibilidade e precisão). Em relação à cabeça + membros, as equações estimaram com precisão todos os conteúdos químicos avaliados. Ainda, apenas o conteúdo de EE nos órgãos + vísceras foi estimado corretamente. Assim, concluiu-se que novas equações deveriam ser desenvolvidas, ou seja, ao invés de dividir os componentes não-carcaça em três grupos (couro + sangue, cabeça + membros e órgãos + vísceras), uma amostra composta poderia ser analisada e gerar uma equação única para cada constituinte químico.

Nesse sentido, um banco de dados (Tabela 5.14) composto pela composição dos componentes não-carcaça de 231 zebuínos, 94 cruzados de corte e 180 cruzados de leite (machos não castrados, machos castrados e fêmeas) obtido de 19 teses e dissertações (Moraes, 2006; Souza, 2009; Marcondes, 2007; Marcondes, 2010; Chizzotti, 2007; Porto, 2009; Gionbelli, 2010; Paixão, 2009; Paulino, 2006; Machado, 2009; Costa e Silva, 2011; Costa e Silva, 2015; Valente, 2013; Fonseca, 2014; Silva, 2015; Prados, 2012; Rodrigues, 2013; Zanetti, 2014; Neves, 2014) foi utilizado para desenvolver novas equações para predição da composição dos componentes não carcaça na última edição desta publicação (BR-CORTE, 2016).

Tabela 5.14 - Descrição dos dados utilizados para gerar as novas equações de predição da composição química dos componentes não carcaça de zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite (n = 505)

Item[1]	Média	DP[2]	Máximo	Mínimo
Peso de corpo vazio, kg	302	92,2	549	80,7
Peso dos componentes não carcaça (NC), kg	112	34,0	224	31,6
Proteína bruta no NC, kg	20,7	7,42	53,3	4,42
Extrato etéreo no NC, kg	20,4	12,5	69,9	1,89
Água no NC, kg	65,4	17,5	134	22,5
Cálcio no NC, kg	0,80	0,62	3,57	0,04
Fósforo no NC, kg	0,31	0,26	1,76	0,02
Magnésio no NC, g	16,5	8,28	50,0	2,37
Sódio no NC, g	149	79,3	426	36,8
Potássio no NC, g	134	62,8	324	31,4

[1]NC = não carcaça; [2]DP = desvio padrão.

As equações de predição da composição química dos componentes não carcaça foram geradas a partir de uma meta-análise utilizando o procedimento NLMIXED, no qual as variáveis dependentes foram regredidas em função do PCVZ. Também foram testados os efeitos de sexo e grupo genético, onde apenas o sexo foi significativo para todos os constituintes, exceto fósforo e magnésio (Tabelas 5.15 e 5.16).

Contudo, essas equações ainda precisam ser avaliadas com um banco de dados independente, para serem adotadas de forma ampla e confiável para predizer a composição dos componentes não carcaça de bovinos Zebu, cruzados de corte e cruzados de leite.

Tabela 5.15 - Equações de predição da composição química dos componentes não carcaça para zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite em função da classe sexual

Item	Classe sexual	Equações
Proteína bruta	Machos não castrados	$PB_{NC} = 0,1675 \times PCVZ^{0,8434}$
	Machos castrados	$PB_{NC} = 0,5263 \times PCVZ^{0,6452}$
	Fêmeas	$PB_{NC} = 1,2411 \times PCVZ^{0,4921}$
Extrato etéreo	Machos não castrados	$EE_{NC} = 3,7171 \times \exp^{(0,004936 \times PCVZ)}$
	Machos castrados	$EE_{NC} = 4,8911 \times \exp^{(0,004671 \times PCVZ)}$
	Fêmeas	$EE_{NC} = 3,5533 \times \exp^{(0,006199 \times PCVZ)}$
Água	Machos não castrados	$A_{NC} = 1,5768 \times PCVZ^{0,6547}$
	Machos castrados	$A_{NC} = 3,1486 \times PCVZ^{0,5242}$
	Fêmeas	$A_{NC} = 7,3003 \times PCVZ^{0,3865}$

[1]PB_{NC} = proteína bruta nos componentes não carcaça (kg); PCVZ = peso de corpo vazio (kg); EE_{NC} = extrato etéreo nos componentes não carcaça (kg); A_{NC} = água nos componentes não carcaça (kg).

Tabela 5.16 - Equações de predição da composição de macrominerais dos componentes não carcaça para zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite em função da classe sexual

Item	Classe sexual	Equações
Cálcio	Machos não castrados	$Ca_{NC} = 43,71 \times PCVZ^{0,3510}$
	Machos castrados	$Ca_{NC} = 5,176 \times PCVZ^{0,8772}$
	Fêmeas	$Ca_{NC} = 69,36 \times PCVZ^{0,4342}$
Fósforo		$P_{NC} = 2,262 \times PCVZ^{0,4522}$
Magnésio		$Mg_{NC} = 10,99 \times PCVZ^{0,1736}$
Sódio	Machos não castrados	$Na_{NC} = 73,65 \times PCVZ^{0,1181}$
	Machos castrados	$Na_{NC} = 3,264 \times PCVZ^{0,6916}$
	Fêmeas	$Na_{NC} = 23,04 \times PCVZ^{0,3544}$
Potássio	Machos não castrados	$K_{NC} = 96,43 \times PCVZ^{0,0673}$
	Machos castrados	$K_{NC} = 5,147 \times PCVZ^{0,5781}$
	Fêmeas	$K_{NC} = 31,54 \times PCVZ^{0,2821}$

1CaNC = cálcio nos componentes não carcaça (g); PCVZ = peso de corpo vazio (kg); PNC = fósforo nos componentes não carcaça (g); MgNC = magnésio nos componentes não carcaça (g); NaNC = sódio nos componentes não carcaça (g); KNC = potássio nos componentes não carcaça (g).

RELAÇÃO ENTRE A MATÉRIA SECA DESENGORDURADA E A COMPOSIÇÃO CORPORAL

Reid et al. (1955) sugeriram que o EE corporal poderia ser estimado pelo conteúdo de água no corpo. Os autores também indicaram que a razão proteína/cinzas (proteína:cinzas) no corpo seria constante na matéria seca livre de gordura, sendo afetada apenas pela idade do animal. Nesse sentido, Marcondes et al. (2010) estudaram a relação entre a matéria seca desengordurada e a composição do PCVZ, utilizando um banco de dados de 272 animais. Como não houve efeitos de grupo genético ou sexo nos parâmetros de regressão, Marcondes et al. (2010) propuseram a seguinte equação para estimar o EE corporal baseado na percentagem de água:

$$\% EE_{CVZ} = 236,21 - 126,25 \times \log (A_{CVZ}) + 1,114 \times \% GV,$$
$$(R^2 = 0,96; RSME = 1,26),$$

onde EECVZ = percentagem de extrato etéreo no corpo vazio, ACVZ = percentagem de água no corpo vazio e GV = percentagem de gordura visceral no corpo vazio.

Conhecendo a proporção de gordura no corpo, seria possível estimar a concentração de proteína na matéria seca desengordurada do peso de corpo vazio do animal. No entanto, ao contrário de Reid et al. (1955), que correlacionaram proteína:cinzas com a idade, Marcondes et al. (2010) correlacionaram esta razão com o PCVZ. Isso ocorreu porque a idade pode ser uma medida relativa da composição corporal, pois diferentes planos nutricionais podem resultar em diferentes composições corporais em uma mesma idade. Assim, a equação sugerida por Marcondes et al. (2010) pode ser alternativamente utilizada:

$$\% PBMSD_{PCVZ} = 74,09 + 0,0098 \times PCVZ,$$

em que $PBMSD_{PCVZ}$ = percentagem de proteína bruta na matéria seca desengordurada do corpo vazio e PCVZ = peso de corpo vazio (kg). O teor

de cinzas (%) no corpo vazio com base na matéria seca desengordurada pode ser estimado como 100 – PB.

NOVAS METODOLOGIAS PARA PREDIZER A COMPOSIÇÃO CORPORAL DE BOVINOS

Técnicas que não requerem o abate do animal ou a dissecação da carcaça para obtenção de sua composição corporal têm sido estudadas. Tais técnicas podem ser úteis para formação de lotes homogêneos em confinamentos, reduzindo as diferenças dentro das baias quanto às exigências de nutrientes ou padrão de carcaça, bem como para definir o melhor momento para o abate.

Composição corporal obtida a partir do DXA

O uso da densitometria de raios-X de energia dupla (DXA) é uma técnica alternativa para determinar indiretamente a composição corporal de bovinos. Sua aplicação é comum na medicina humana com o objetivo de avaliar a composição mineral do osso, bem como a gordura e a massa muscular. Assim, alguns estudos avaliaram sua utilidade para determinação indireta da composição de carcaças de bovinos. Nesse sentido, Prados et al. (2016), utilizando um banco de dados com 116 observações (96 machos não castrados Nelore e Nelore × Angus), desenvolveram equações (Tabela 5.17) para estimar a composição da seção entre a 9ª e 11ª costelas com base nas medições da DXA (GE Lunar Prodigy Advance Dxa System, GE Healthcare, Madison, Wisconsin, EUA). Após serem escaneadas, as seções de costela foram dissecadas e suas composições químicas foram comparadas com os parâmetros obtidos pelo DXA.

Tabela 5.17 - Equações de predição da composição química da seção compreendida entre a 9ª e 11ª costelas usando densitometria de raios-X de energia dupla (DXA)

Variável[1]	Equações[2]	R^2
Extrato etéreo (EE)	$EE_{HH} = 122,40 + 1,12 \times G_{DXA}$	0,86
Livre de gordura (LG)	$LG_{HH} = 103,22 + 0,87 \times LG_{DXA}$	0,93
Tecido magro (TM)	$PB_{HH} = 37,08 + 0,91 \times TM_{DXA}$	0,95
Cinzas (C)	$C_{HH} = 18,72 + 1,02 \times BMC_{DXA}$	0,39

[1]EE_{HH} = extrato etéreo na seção HH; G_{DXA} = gordura medida pelo DXA; Livre de gordura = tecido magro adicionado do teor de minerais no osso, LG_{HH} = tecido livre de gordura na seção HH (água + proteína + cinzas); LG_{DXA} = livre de gordura medido pelo DXA (TM_{DXA} + BMC_{DXA}); PB_{HH} = proteína bruta na seção HH; TM_{DXA} = tecido magro medido pelo DXA; C_{HH} = cinzas na seção HH; BMC_{DXA} = conteúdo de mineral ósseo medido pelo DXA. [2] Todas as variáveis em gramas (Adaptada de Prados et al., 2016).

Prados et al. (2016) concluíram que as equações geradas são precisas, sendo recomendadas para predizer a composição química da seção entre a 9ª e a 11ª costelas de bovinos Nelore e Nelore × Angus. Contudo, os autores também destacaram que mais estudos seriam necessários para avaliar o uso da DXA para estimar a composição da carcaça.

Mais recentemente, Godoi (2021) desenvolveu equações para predizer a composição da carcaça e do corpo vazio com base na composição de diferentes seções da carcaça avaliadas por DXA. Para isso, a meia-carcaça de 15 fêmeas Nelore foi dividida em sete seções (S1 a S7): S1 - corte longitudinal após a segunda costela; S2 - corte longitudinal após a oitava costela; S3 - secção entre a 9ª e 11ª costelas (Hankins e Howe, 1946); S4 - a seção restante após a remoção de S3; S5 - décima segunda costela; S6 - corte longitudinal após o sacro; e S7 - o trecho remanescente após a retirada de S1 a S6 (Figura 5.1).

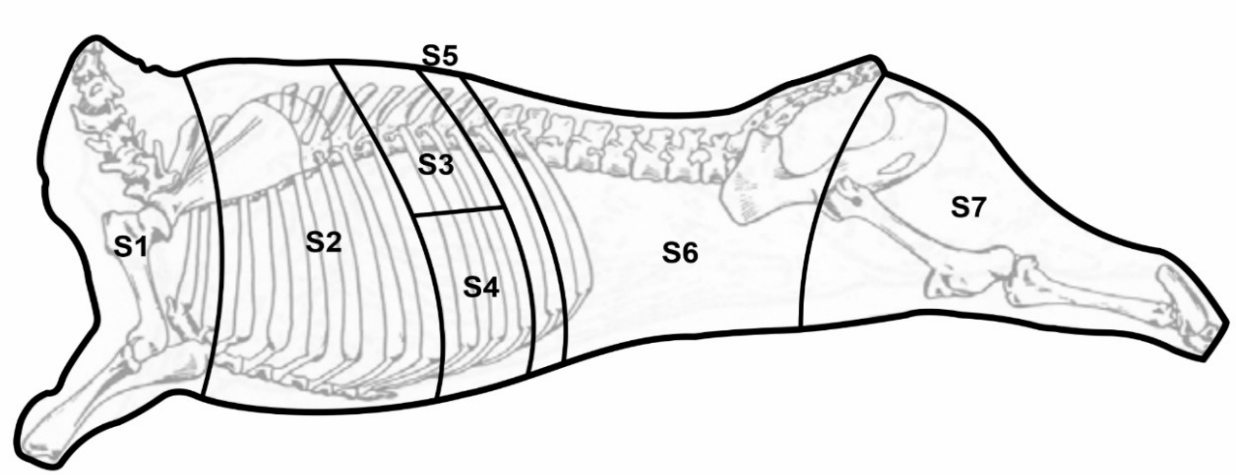


Figura 5.1 - Descrição das seções da carcaça avaliadas para predição da composição da carcaça e corpo vazio de novilhas Nelore (adaptada de Godoi, 2021).

Após a obtenção dos parâmetros da DXA (DXA massa magra, DXA gordura e DXA conteúdo mineral ósseo (BMC)), cada seção foi dissecada em músculo, gordura e ossos, e sua composição física foi registrada. O músculo, a gordura e os ossos de todas as seções foram somados para obtenção da composição física da carcaça. As amostras de músculo + gordura e ossos de cada seção foram analisadas para determinação dos teores de PB, EE e MM para obtenção da composição química. Em seguida, foi calculada a composição química da carcaça com base na composição química de cada seção e suas proporções relativas em cada carcaça. Amostras dos componentes não carcaça foram obtidas e analisadas quimicamente para, juntamente com a composição química da carcaça, determinar a composição química do corpo vazio.

Os procedimentos estatísticos foram realizados usando o SAS (Inst. Inc., Cary, NC), sendo o animal a unidade experimental. A composição física e química de cada seção da carcaça (de S1 a S7), bem como seus parâmetros da DXA (DXA massa magra, DXA gordura e DXA BMC de cada seção) foram utilizados para predizer a composição física e química da carcaça e a composição química do corpo vazio. O critério de informação de Akaike (AIC) e o critério de informação Bayesiano Swarz (BIC) foram usados para determinar as variáveis preditivas que seriam incluídas na equação. O método *leave-one-out cross-validation* foi utilizado para o desenvolvimento de equações lineares utilizando o PROC REG do SAS (9.4). Mais detalhes podem ser obtidos em Godoi (2021).

As equações propostas por Godoi (2021) para predição da composição física da carcaça de fêmeas Nelore a partir da composição física dos cortes da carcaça são apresentadas na Tabela 5.18, enquanto as equações para estimação da composição física da carcaça baseadas nas medidas DXA podem ser vistas na Tabela 5.19. As equações da S2 e S6 para o conteúdo de gordura, as equações da S6 e S7 para o conteúdo muscular e as equações da S2 e S7 para o conteúdo ósseo apresentaram AIC e BIC menores do que as equações de predição baseadas nas demais seções avaliadas.

Tabela 5.18 - Equações de predição da composição física da carcaça de fêmeas Nelore utilizando a composição física de cada seção da carcaça (adaptada de Godoi, 2021)

Variável	Seção	Equação[1]	R^2	RQME[2]	AIC[3]	BIC[4]
Gordura, kg	1	$Gord_{carc} = -1{,}599 + 4{,}227 \times Gord_S$	0,93	1,87	20,6	22,9
	2	$Gord_{carc} = 1{,}936 + 4{,}792 \times Gord_S$	0,97	1,22	7,72	9,67
	3	$Gord_{carc} = 3{,}999 + 16{,}96 \times Gord_S$	0,91	2,14	24,7	27,5
	4	$Gord_{carc} = 4{,}181 + 14{,}18 \times Gord_S$	0,84	2,88	33,6	36,2
	5	$Gord_{carc} = 5{,}013 + 20{,}646 \times Gord_S$	0,88	2,51	29,4	32,4
	6	$Gord_{carc} = 1{,}728 + 4{,}004 \times Gord_S$	0,98	0,91	-0,85	0,34
	7	$Gord_{carc} = -1{,}139 + 5{,}448 \times Gord_S$	0,95	1,64	16,7	19,7
Músculo, kg	1	$Musc_{carc} = -1{,}386 + 3{,}897 \times Musc_S$	0,92	2,98	34,6	36,7
	2	$Musc_{carc} = 8{,}867 + 4{,}74 \times Musc_S$	0,95	2,29	26,7	28,8
	3	$Musc_{carc} = 13{,}171 + 23{,}029 \times Musc_S$	0,79	4,86	49,3	51,6
	4	$Musc_{carc} = 14{,}893 + 24{,}93 \times Musc_S$	0,76	5,19	51,3	51,7
	5	$Musc_{carc} = 16{,}261 + 34{,}558 \times Musc_S$	0,84	4,19	44,8	47,4
	6	$Musc_{carc} = 2{,}275 + 5{,}452 \times Musc_S$	0,98	1,54	14,7	17,8
	7	$Musc_{carc} = -3{,}064 + 3{,}35 \times Musc_S$	0,99	1,22	7,83	10,6
Ossos, kg	1	$Ossos_{carc} = 1{,}169 + 2{,}805 \times Ossos_S$	0,84	0,77	-5,99	-7,35
	2	$Ossos_{carc} = 3{,}585 + 3{,}941 \times Ossos_S$	0,89	0,65	-11,3	-8,25
	3	$Ossos_{carc} = 4{,}942 + 15{,}774 \times Ossos_S$	0,66	1,13	5,51	7,65
	4	$Ossos_{carc} = 6{,}544 + 20{,}665 \times Ossos_S$	0,45	1,45	12,9	13,1
	5	$Ossos_{carc} = 5{,}06 + 38{,}604 \times Ossos_S$	0,65	1,14	5,79	6,84
	6	$Ossos_{carc} = 3{,}453 + 5{,}652 \times Ossos_S$	0,77	0,92	-0,64	0,54
	7	$Ossos_{carc} = -1{,}385 + 3{,}659 \times Ossos_S$	0,94	0,47	-21,1	-18,6

[1]$Gord_{carc}$= gordura na meia carcaça (kg); $Gord_S$ = gordura em cada seção (kg); $Musc_{carc}$= músculo na meia carcaça (kg); $Musc_S$ = músculo em cada seção; $Ossos_{carc}$= ossos na meia carcaça (kg); $Ossos_S$ = ossos em cada seção (kg);
[2]RQME = raiz do quadrado médio do erro.
[3]AIC = Critério de informação de Akaike.
[4]BIC = Critérios de informação Bayesiana Swarz.

Quando as medidas de DXA foram usadas para estimar a composição física da carcaça, as equações da S1 e S7 para os teores de gordura e ossos apresentaram valores de AIC e BIC menores do que as equações baseadas nas outras seções avaliadas. No entanto, menores valores de AIC e BIC foram observados para as equações da S2 e S7 para o conteúdo muscular quando comparadas às equações preditivas baseadas em outras seções.

Além disso, vale ressaltar que as equações da S7 apresentaram os menores erros preditivos (RQME) para todos os constituintes físicos avaliados por ambas as técnicas (composição física dos cortes da carcaça e medidas de DXA), exceto para a equação de predição do conteúdo de ossos baseada nas medidas de DXA. Portanto, os resultados sugerem que a composição física da carcaça (conteúdos de gordura, músculo e ossos) de fêmeas Nelore foi geralmente melhor predita pelas equações da S7, seja pela composição física ou pelas medidas de DXA das seções da carcaça.

Tabela 5.19 - Equações de predição da composição física da carcaça de fêmeas Nelore utilizando a densitometria de raios-X de dupla energia (DXA) das seções da carcaça, (adaptada de Godoi, 2021)

Variável	Seção	Equação[1]	R^2	RQME[2]	AIC[3]	BIC[4]
Gordura, kg	1	$Gord_{carc} = 1,954 + 4,571 \times DXAGord_S$	0,96	1,52	14,5	16,5
	2	$Gord_{carc} = 4,931 + 4,262 \times DXAGord_S$	0,91	2,19	25,4	25,6
	3	$Gord_{carc} = 3,644 + 11,983 \times DXAGord_S$	0,80	3,30	37,7	38,6
	4	$Gord_{carc} = 2,521 + 14,995 \times DXAGord_S$	0,82	3,11	35,9	37,1
	5	$Gord_{carc} = 6,801 + 13,269 \times DXAGord_S$	0,69	4,09	44,1	44,5
	6	$Gord_{carc} = 3,061 + 3,471 \times DXAGord_S$	0,91	2,15	24,8	24,9
	7	$Gord_{carc} = -1,345 + 5,148 \times DXAGord_S$	0,98	0,94	-0,10	1,84
Músculo, kg	1	$Musc_{carc} = -7,294 + 3,374 \times DXATM_S$	0,92	3,03	35,1	37,7
	2	$Musc_{carc} = 6,226 + 4,089 \times DXATM_S$	0,95	2,44	28,6	28,9
	3	$Musc_{carc} = 19,313 + 21,106 \times DXATM_S$	0,44	7,96	64,1	62,7
	4	$Musc_{carc} = 20,758 + 18,033 \times DXATM_S$	0,72	5,62	53,7	53,3
	5	$Musc_{carc} = 26,373 + 26,327 \times DXATM_S$	0,54	7,17	60,9	59,6
	6	$Musc_{carc} = 5,431 + 4,661 \times DXATM_S$	0,87	3,74	41,4	40,4
	7	$Musc_{carc} = -6,644 + 3,129 \times DXATM_S$	0,96	1,99	22,5	24,6
Ossos, kg	1	$Ossos_{carc} = 2,956 + 8,865 \times DXACMO_S$	0,90	0,61	-12,8	-11,1
	2	$Ossos_{carc} = 5,339 + 12,375 \times DXACMO_S$	0,81	0,85	-2,98	-0,32
	3	$Ossos_{carc} = 7,718 + 23,153 \times DXACMO_S$	0,58	1,27	9,10	11,2
	4	$Ossos_{carc} = 7,933 + 56,493 \times DXACMO_S$	0,43	1,48	13,5	13,7
	5	$Ossos_{carc} = 8,107 + 55,587 \times DXACMO_S$	0,52	1,29	9,41	10,1
	6	$Ossos_{carc} = 6,817 + 11,219 \times DXACMO_S$	0,66	1,12	5,26	6,46
	7	$Ossos_{carc} = 2,518 + 9,267 \times DXACMO_S$	0,81	0,85	-3,17	-0,74

[1]$Gord_{carc}$= gordura na meia carcaça (kg); $DXAGord_S$ = gordura em cada seção; $Musc_{carc}$= músculo na meia carcaça (kg); $DXATM_S$ = tecido magro em cada seção; $Ossos_{carc}$= ossos na meia carcaça (kg); $DXACMO_S$ = conteúdo mineral ósseo em cada seção.
[2]RQME = raiz do quadrado médio do erro.
[3]AIC = Critério de informação de Akaike.
[4]BIC = Critérios de informação Bayesiana Swarz.

As equações de predição da composição química da carcaça (EE, PB e cinzas) baseadas na composição química dos cortes da carcaça de fêmeas Nelore propostas por Godoi (2021) são apresentadas na Tabela 5.20. As equações da S1 e S2 para EE e PB e as equações S1 e S7 para cinzas apresentaram valores AIC e BIC inferiores quando comparadas às equações baseadas nas demais composições de seções.

Tabela 5.20 - Equações de predição da composição química da carcaça de fêmeas Nelore utilizando a composição química dos cortes da carcaça (adaptada de Godoi, 2021)

Variável	Seção	Equação[1]	R^2	RQME[2]	AIC[3]	BIC[4]
Extrato etéreo, kg	1	$EE_{carc} = -1{,}596 + 4{,}309 \times EE_S$	0,98	0,99	1,47	4,48
	2	$EE_{carc} = 1{,}372 + 4{,}686 \times EE_S$	0,97	1,16	6,20	8,75
	3	$EE_{carc} = 2{,}899 + 17{,}82 \times EE_S$	0,95	1,49	13,7	16,2
	4	$EE_{carc} = 2{,}710 + 17{,}686 \times EE_S$	0,91	1,99	22,4	24,7
	5	$EE_{carc} = 4{,}134 + 22{,}946 \times EE_S$	0,92	1,77	19,0	21,9
	6	$EE_{carc} = 2{,}500 + 4{,}036 \times EE_S$	0,97	1,18	6,89	8,54
	7	$EE_{carc} = -1{,}989 + 5{,}227 \times EE_S$	0,95	1,46	13,2	16,1
Proteína bruta, kg	1	$PB_{carc} = 0{,}216 + 3{,}562 \times PB_S$	0,91	0,82	-4,07	-3,64
	2	$PB_{carc} = 3{,}120 + 4{,}408 \times PB_S$	0,93	0,71	-8,31	-5,92
	3	$PB_{carc} = 3{,}993 + 20{,}311 \times PB_S$	0,73	1,39	11,8	13,6
	4	$PB_{carc} = 4{,}290 + 22{,}054 \times PB_S$	0,85	1,07	3,74	6,20
	5	$PB_{carc} = 4{,}857 + 30{,}464 \times PB_S$	0,87	0,92	-0,71	2,36
	6	$PB_{carc} = 2{,}720 + 4{,}533 \times PB_S$	0,88	0,94	-0,14	0,93
	7	$PB_{carc} = -0{,}433 + 3{,}478 \times PB_S$	0,83	1,12	5,30	4,57
Cinzas, kg	1	$CZ_{carc} = 0{,}359 + 3{,}010 \times CZ_S$	0,88	0,28	-36,0	-35,3
	2	$CZ_{carc} = 0{,}871 + 4{,}586 \times CZ_S$	0,85	0,31	-33,4	-31,2
	3	$CZ_{carc} = 0{,}811 + 19{,}929 \times CZ_S$	0,61	0,50	-19,0	-17,3
	4	$CZ_{carc} = 1{,}152 + 31{,}700 \times CZ_S$	0,59	0,52	-18,0	-16,8
	5	$CZ_{carc} = 1{,}656 + 33{,}258 \times CZ_S$	0,51	0,55	-16,0	-15,8
	6	$CZ_{carc} = 0{,}957 + 5{,}617 \times CZ_S$	0,67	0,46	-21,6	-20,5
	7	$CZ_{carc} = 0{,}483 + 2{,}570 \times CZ_S$	0,87	0,29	-35,0	-35,9

[1]EE_{carc}= extrato etéreo na meia carcaça (kg); EE_S = extrato etéreo em cada seção(kg); PB_{carc}= proteína bruta na meia carcaça (kg); PB_S = proteína bruta em cada seção (kg); CZ_{carc}= cinzas na meia carcaça (kg); CZ_S = cinzas em cada seção (kg).
[2]RQME = raiz do quadrado médio do erro.
[3]AIC = Critério de informação de Akaike.
[4]BIC = Critérios de informação Bayesiana Swarz.

Semelhantemente, as equações geradas a partir das medidas de DXA das S1 e S7 apresentam valores inferiores de AIC e BIC para todos os constituintes químicos avaliados (EE, PB e cinzas) em relação àquelas construídas a partir de dados de DXA das outras seções (Tabela 5.21). Ademais, é importante destacar que as equações da S1 apresentaram o menor RQME para todos os constituintes químicos da carcaça avaliados por ambas as técnicas (composição química das seções da carcaça ou medições DXA), exceto para a equação de PB baseada na composição química de sua seção e equação de EE baseada nas medições de DXA.

Tabela 5.21 - Equações de predição da composição química da carcaça de fêmeas Nelore utilizando a densitometria de raios X de dupla energia (DXA) dos cortes da carcaça (adaptada de Godoi, 2021)

Variável	Seção	Equação[1]	R^2	RQME[2]	AIC[3]	BIC[4]
Extrato etéreo, kg	1	$EE_{carc} = 1,406 + 4,08 \times DXAGord_S$	0,95	1,51	14,3	17,0
	2	$EE_{carc} = 3,997 + 3,825 \times DXAGord_S$	0,91	1,95	21,9	21,9
	3	$EE_{carc} = 2,679 + 10,888 \times DXAGord_S$	0,81	2,83	33,0	33,6
	4	$EE_{carc} = 1,722 + 13,534 \times DXAGord_S$	0,83	2,69	31,5	32,6
	5	$EE_{carc} = 5,474 + 12,146 \times DXAGord_S$	0,71	3,50	39,4	40,1
	6	$EE_{carc} = 2,121 + 3,159 \times DXAGord_S$	0,94	1,59	15,8	14,9
	7	$EE_{carc} = -1,533 + 4,593 \times DXAGord_S$	0,97	1,08	4,05	6,98
Proteína bruta, kg	1	$PB_{carc} = -0,886 + 0,872 \times DXATM_S$	0,93	0,70	-8,98	-6,57
	2	$PB_{carc} = 3,144 + 1,000 \times DXATM_S$	0,86	1,01	2,01	0,69
	3	$PB_{carc} = 6,307 + 5,193 \times DXATM_S$	0,40	2,09	24,0	22,8
	4	$PB_{carc} = 6,793 + 4,337 \times DXATM_S$	0,63	1,64	16,7	16,0
	5	$PB_{carc} = 7,771 + 6,875 \times DXATM_S$	0,56	1,80	19,4	16,7
	6	$PB_{carc} = 2,916 + 1,144 \times DXATM_S$	0,80	1,21	7,46	6,26
	7	$PB_{carc} = -0,226 + 0,779 \times DXATM_S$	0,91	0,81	-4,49	-4,21
Cinzas, kg	1	$CZ_{carc} = -0,162 + 3,635 \times DXACMO_S$	0,89	0,27	-37,8	-35,9
	2	$CZ_{carc} = 0,703 + 5,29 \times DXACMO_S$	0,86	0,30	-34,6	-32,7
	3	$CZ_{carc} = 1,717 + 9,917 \times DXACMO_S$	0,62	0,50	-19,2	-17,7
	4	$CZ_{carc} = 1,778 + 24,665 \times DXACMO_S$	0,48	0,59	-14,6	-14,7
	5	$CZ_{carc} = 1,900 + 23,564 \times DXACMO_S$	0,55	0,54	-16,9	-16,9
	6	$CZ_{carc} = 1,426 + 4,591 \times DXACMO_S$	0,65	0,48	-20,4	-19,8
	7	$CZ_{carc} = -0,499 + 3,598 \times DXACMO_S$	0,87	0,29	-35,5	-32,9

[1]EE_{carc}= extrato etéreo na meia carcaça (kg); $DXAGord_S$ = gordura em cada seção; PB_{carc}= proteína bruta na meia carcaça (kg); $DXATM_S$ = tecido magro em cada seção; CZ_{carc}= cinzas na meia carcaça (kg); $DXACMO_S$ = conteúdo mineral ósseo em cada seção.
[2]RQME = raiz do quadrado médio do erro.
[3]AIC = Critério de informação de Akaike.
[4]BIC = Critérios de informação Bayesiana Swarz.

As equações propostas por Godoi (2021) para predizer a composição química do corpo vazio de fêmeas Nelore utilizando a composição química dos cortes da carcaça ou medidas de DXA são apresentadas nas Tabelas 5.22 e 5.23, respectivamente. Os menores valores de AIC e BIC foram observados para as equações S1 e S2 quando se utiliza a composição química dos cortes da carcaça para predizer os teores de EE, PB e cinzas no corpo vazio, enquanto S1 e S7 apresentaram os menores valores de AIC e BIC quando as medições DXA foram usadas para prever os respectivos componentes químicos no corpo vazio.

Tabela 5.22 - Equações de predição da composição química do corpo vazio de fêmeas Nelore utilizando a composição química dos cortes da carcaça (adaptada de Godoi, 2021)

Variável	Seção	Equação[1]	R^2	RQME[2]	AIC[3]	BIC[4]
Extrato etéreo, kg	1	$EE_{PCVZ} = 0,249 + 12,717 \times EE_S$	0,94	4,75	48,6	51,4
	2	$EE_{PCVZ} = 8,089 + 14,122 \times EE_S$	0,97	3,22	36,9	38,3
	3	$EE_{PCVZ} = 13,562 + 52,524 \times EE_S$	0,91	5,91	55,2	57,0
	4	$EE_{PCVZ} = 12,12 + 53,302 \times EE_S$	0,91	5,79	54,5	57,7
	5	$EE_{PCVZ} = 17,113 + 67,93 \times EE_S$	0,90	6,33	57,2	59,6
	6	$EE_{PCVZ} = 12,239 + 11,938 \times EE_S$	0,94	4,99	50,0	52,2
	7	$EE_{PCVZ} = -0,978 + 15,444 \times EE_S$	0,92	5,66	53,8	56,3
Proteína bruta, kg	1	$PB_{PCVZ} = -2,258 + 12,68 \times PB_S$	0,86	3,73	41,3	42,7
	2	$PB_{PCVZ} = 7,967 + 15,744 \times PB_S$	0,88	3,41	38,6	39,6
	3	$PB_{PCVZ} = 10,124 + 74,84 \times PB_S$	0,74	4,98	50,0	51,8
	4	$PB_{PCVZ} = 12,648 + 77,433 \times PB_S$	0,78	4,51	47,1	49,7
	5	$PB_{PCVZ} = 14,32 + 108,439 \times PB_S$	0,81	4,29	45,5	48,4
	6	$PB_{PCVZ} = 6,473 + 16,221 \times PB_S$	0,84	3,95	43,1	44,3
	7	$PB_{PCVZ} = -3,991 + 12,225 \times PB_S$	0,76	4,84	49,2	47,0
Cinzas, kg	1	$CZ_{PCVZ} = 4,198 + 6,238 \times CZ_S$	0,70	1,01	2,10	3,14
	2	$CZ_{PCVZ} = 5,134 + 9,726 \times CZ_S$	0,72	0,97	1,08	3,47
	3	$CZ_{PCVZ} = 4,67 + 44,782 \times CZ_S$	0,58	1,18	6,83	9,12
	4	$CZ_{PCVZ} = 5,594 + 69,094 \times CZ_S$	0,52	1,18	6,88	8,85
	5	$CZ_{PCVZ} = 6,359 + 78,81 \times CZ_S$	0,52	1,27	9,09	9,66
	6	$CZ_{PCVZ} = 5,076 + 12,45 \times CZ_S$	0,62	1,15	6,07	7,14
	7	$CZ_{PCVZ} = 4,51 + 5,279 \times CZ_S$	0,69	1,04	2,94	2,62

[1]EE_{PCVZ}= extrato etéreo no corpo vazio (kg); EE_S = extrato etéreo em cada seção (kg); PB_{PCVZ}= proteína bruta no corpo vazio (kg); PB_S = proteína bruta em cada seção (kg); CZ_{PCVZ}= cinzas no corpo vazio(kg); CZ_S = cinzas em cada seção (kg).
[2]RQME = raiz do quadrado médio do erro.
[3]AIC = Critério de informação de Akaike.
[4]BIC = Critérios de informação Bayesiana Swarz.

Assim, os resultados de Godoi (2021) sugeriram que, em geral, as equações da seção S1, construídas a partir da composição química e medidas de DXA dessa seção da carcaça, estimaram melhor todos os componentes químicos da carcaça e do corpo vazio de fêmeas Nelore, quando comparadas às outras seções avaliadas. Embora não tenham apresentado os menores valores de AIC e BIC para a maioria dos componentes físicos da carcaça, as equações da seção S1 mostraram boa precisão, com valores de R^2 entre 84,3% e 95,6%, sugerindo que talvez também seja razoável estimar a composição física da carcaça de fêmeas Nelore por meio das equações geradas a partir desta seção.

Tabela 5.23 - Equações de predição da composição química do corpo vazio de fêmeas Nelore utilizando densitometria de raios X de dupla energia (DXA) de seções de carcaça (adaptada de Godoi, 2021)

Variável	Seção	Equação[1]	R^2	RQME[2]	AIC[3]	BIC[4]
Extrato etéreo, kg	1	$EE_{PCVZ} = 8,305 + 12,264 \times DXAGord_S$	0,95	4,57	47,4	49,7
	2	$EE_{PCVZ} = 16,301 + 11,431 \times DXAGord_S$	0,90	6,21	56,6	55,0
	3	$EE_{PCVZ} = 11,804 + 32,993 \times DXAGord_S$	0,83	8,22	65,1	65,4
	4	$EE_{PCVZ} = 8,974 + 40,948 \times DXAGord_S$	0,84	7,79	63,4	63,4
	5	$EE_{PCVZ} = 21,198 + 35,742 \times DXAGord_S$	0,68	11,0	73,8	73,8
	6	$EE_{PCVZ} = 11,311 + 9,301 \times DXAGord_S$	0,90	6,16	56,4	54,5
	7	$EE_{PCVZ} = -0,462 + 13,789 \times DXAGord_S$	0,97	3,41	38,6	40,7
Proteína bruta, kg	1	$PB_{PCVZ} = -8,92 + 3,283 \times DXATM_S$	0,99	1,23	8,07	10,8
	2	$PB_{PCVZ} = 7,014 + 3,683 \times DXATM_S$	0,87	3,57	30,0	39,9
	3	$PB_{PCVZ} = 16,539 + 20,902 \times DXATM_S$	0,48	7,12	60,7	59,8
	4	$PB_{PCVZ} = 19,301 + 16,844 \times DXATM_S$	0,71	5,36	52,2	52,1
	5	$PB_{PCVZ} = 24,387 + 24,845 \times DXATM_S$	0,54	6,68	58,8	57,3
	6	$PB_{PCVZ} = 5,163 + 4,333 \times DXATM_S$	0,86	3,75	41,5	41,1
	7	$PB_{PCVZ} = -5,5946 + 2,88 \times DXATM_S$	0,93	2,70	31,7	32,2
Cinzas, kg	1	$Cinzas_{PCVZ} = 2,252 + 8,403 \times DXACMO_S$	0,89	0,61	-13,0	-10,0
	2	$Cinzas_{PCVZ} = 4,478 + 11,793 \times DXACMO_S$	0,81	0,82	-4,19	-1,77
	3	$Cinzas_{PCVZ} = 6,946 + 20,936 \times DXACMO_S$	0,52	1,27	9,04	10,5
	4	$Cinzas_{PCVZ} = 6,202 + 64,855 \times DXACMO_S$	0,62	1,12	5,15	6,79
	5	$Cinzas_{PCVZ} = 7,075 + 53,605 \times DXACMO_S$	0,54	1,21	7,56	7,08
	6	$Cinzas_{PCVZ} = 5,694 + 11,129 \times DXACMO_S$	0,71	0,97	1,01	2,82
	7	$Cinzas_{carc} = 1,216 + 9,407 \times DXACMO_S$	0,92	0,50	-18,8	-15,9

[1]EE_{PCVZ}= extrato etéreo no corpo vazio (kg); $DXAGord_S$ = gordura em cada seção; PB_{PCVZ}= proteína bruta no corpo vazio (kg); $DXATM_S$ = tecido magro em cada seção; $Cinzas_{PCVZ}$= cinzas no corpo vazio (kg); $DXACMO_S$ = conteúdo mineral ósseo em cada seção.
[2]RQME = raiz do quadrado médio do erro.
[3]AIC = Critério de informação de Akaike.
[4]BIC = Critérios de informação Bayesiana Swarz.

Contudo, é importante destacar que a maioria das equações para predizer as composições física e química da carcaça e a composição química do corpo vazio apresentaram valores elevados de R^2, sejam elas construídas a partir das composições das seções de carcaça ou medidas de DXA. Assim, com base nos valores de R^2, as composições física e química da carcaça e a composição química do corpo vazio poderiam ser estimadas por qualquer uma das seções de carcaça avaliadas (S1 a S7), possibilitando a escolha da seção de acordo com as necessidades de cada estudo. Entretanto, vale ressaltar que a precisão e acurácia das estimativas podem variar dependendo da seção da carcaça escolhida.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As equações propostas nas últimas edições desta publicação (BR-CORTE, 2010; BR-CORTE, 2016) foram validadas e, portanto, são recomendadas para predizer a composição da carcaça e do corpo vazio de bovinos zebuínos e cruzados de corte e de leite em substituição à dissecação de carcaça, resultando em redução de custos e mão de obra.

O uso de equações para a estimação da composição dos componentes não carcaça parece ser uma abordagem precisa. Além disso, novo método, como DXA, representa alternativa promissora para estimar a composição corporal de bovinos. No entanto, mais estudos devem ser realizados para aumentar a precisão e, avaliar essas equações, usando um banco de dados independente antes de serem adotadas de forma ampla e confiável.

REFERÊNCIAS

Alleoni, G. F.; Boin, C.; Leme, P. R.; Vieira, P. F.; Nardon, R. F.; Demarchi, J. J. A. A.; Otsuk, I. P.; Avaliação da gravidade específica e de outras medidas corporais e da carcaça para estimar a composição corporal de novilhos Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 26:375-381, 1997.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F., Gionbelli, M. P., Rotta, P. P., Marcondes, M. I., Chizzotti, M. L. *Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle – BR-CORTE*, 3 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2016.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. *Nutrient Requirements of Zebu and crossbred cattle – BR-CORTE*, 2 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2010.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Magalhães, K. A. *Exigências Nutricionais de Zebuínos e Tabelas de Composição de Alimentos – BR-CORTE*. 1. ed. – Viçosa: UFV, DZO. 142p. 2006.

Butterfield, R. M., & Berg, R. T. (1966). A classification of bovine muscles, based on their relative growth patterns. *Research in Veterinary Science*, 7(3), 326-332.

Chizzotti, M. L. *Exigências nutriticionais de animais Nelore, puros e cruzados, de diferentes classes.* 2007. Tese (Doutorado em Zootecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 101p. 2007.

Cole, J. W.; Ramsey, C. B.; Epley, R. H. Simplified method for predicting pounds of lean in beef carcasses. *Journal of Animal Science*, 21:355-361, 1962.

Costa E Silva L. F.; Marcondes, M. I.; Valadares Filho, S. C.; Ribeiro, A. M. F.; Prados, L. F.; Nascimento, F. B.; Gionbelli, M. P.; Santos. R. M. Prediction of non-carcass components in cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:907-1914, 2012.

Costa E Silva L. F.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Marcondes, M. I.; Rotta, P. P.; Prados, L. F.; Zanetti, D. Evaluation of equations to predict body composition in Nellore bulls. *Livestock Science*, 151:46–57, 2013.

Costa E Silva, L.F. 2015. *Mineral requirements for Nellore cattle and equations to predict milk yield and dry matter intake for lactating Nellore cows and suckling Nellore calves*. 2015. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG. 2015.

Costa e Silva, L.F. *Exigências nutricionais, validação de equações para a estimação da composição do corpo vazio e uso da creatinina para estimar a proporção de tecido muscular em bovinos Nelore*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 126p, 2011.

Costa, M. A. L; Valadares Filho, S. C.; Paulino, M. F.; Valadares, R. F. D.; Cecon, P. R.; Paulino, P. V. R.; Moraes, E. H. B. K.; Magalhães K. A. Desempenho, digestibilidade e características de carcaça de novilhos Zebuínos alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34:268-279, 2005.

Clark, J. L.; Hedrick, H. B.; Thompson. G. B. Determination of body composition of steers by ^{40}K. *Journal of Animal Science,* 42:352-356, 1976.

Crouse, J. D.; Dikeman, M. E. Methods of estimating beef carcass chemical composition. *Journal of Animal Science*, v.38, n.6, p.1190-1196, 1974.

Duchesne, C.; Macgregor, J. F. Jackknife and bootstrap methods in the identification of dynamic models. *Journal of Process Control*, 11:553–564, 2001.

Ferreira, M. A.; Valadares Filho, S. C.; Veras, A. S. C.; Araújo, G. G. L.; Signoretti, R. D. Predição da composição corporal por intermédio de método indireto. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30:242-246, 2001.

Ferrell, C. L.; Kohlmeier, R. H.; Crouse, J. D.; Glimp, H. Influence of dietary energy and protein biological type of steer upon rate of gain and carcass characteristics. *Journal of Animal Science,* 46:255-270, 1978.

Fonseca, M. A.; Valadares Filho, S. C.; Tedeschi, L. O.; Chizzotti, M. L.; Machado, M. G.; Abreu, D. C. 2014. Evaluation of predictive equations developed to assess body composition of F1 Nellore x Angus bulls and steers. *Animal Production Science*.

Gionbelli, M. P. (2010). *Desempenho produtivo e exigências nutricionais de fêmeas Nelore em crescimento.* Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 106 p, 2010.

Godoi, L. A. *Corn processing in feedlot diets for Nellore cattle: intake, digestion sites and different techniques to estimate digestibility; and nutritional requirements and body composition of Nellore heifers by dual-energy X-ray absorptiometry or by carcass sections*. 2021. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG. 2021.

Gonçalves, L. C.; Silva, J. F. C.; Oliveira, A. I. G.; Castro, A. C. G. Métodos para determinação da composição corporal e estudo da área corporal de novilhos. *Revista Brasileira de Zootecnia,* 20:405-412, 1991.

Hankins, O. G.; Howe, P. E. *Estimation of the composition of beef carcasses and cuts*. USDA, p. 1-20 (Technical Bulletin). 1946.

Henrique, W.; Sampaio, A. A. M.; Leme, P. R.; Alleoni, G. F.; Lanna, D. P. D. Estimativa da composição química corporal de tourinhos Santa Gertrudis a partir da composição química e física das 9-10-11ª costelas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32:709-718, 2003.

Jorge, A. M.; Fontes, C. A. A.; Paulino, M. F.; Gomes Junior, P. Utilização de método indireto para predição da composição química corporal de zebuínos. *Revista Brasileira de Zootecnia,* 29:1862-1867, 2000.

Kraybill, H. F.; Bitter, H. L.; Hankins, O. G. Body composition of cattle. II. Determination of fat and water content from measurement of body specific gravity. *Journal of Applied Physiology*, 4:575-583, 1952.

Lanna, D. P. D.; Boin, C.; Alleoni, G. F.; Leme, P. R. Estimativa da composição química corporal de tourinhos Nelore através da gravidade específica. *Revista Brasileira de Zootecnia,* 24:351-362, 1995.

Lush, J. L. 1926. Practical methods of estimating proportions of fat and bone in cattle slaughtered in commercial packing plants. *Journal of Agriculture Research,* 57:79-97.

Machado, P. A. S. *Desempenho produtivo e exigências nutricionais de bovinos de corte em pastagem de brachiaria decumbens, suplementados no período de transição águas-secas.* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 73 p, 2009.

Marcondes, M. I. 2010. *Exigências nutricionais e predição da composição corporal de bovinos nelore puros e cruzados*. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brazil. 248p.

Marcondes, M. I. *Desempenho de bovinos Nelore alimentados individualmente ou em grupo, exigências nutricionais e avaliação proteica de alimentos para ruminantes*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 36 p, 2007.

Marcondes, M. I.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Detmann, E.; Valadares, R. F. D.; Santos, T. R.; Diniz, L. L. Predição da composição corporal e da carcaça a partir da seção entre a 9a e 11a costelas em bovinos Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:1597–1604, 2009.

Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Valadares Filho, S. C.; Tedeschi, L. O. 2010. Prediction of Nellore empty body composition using indirect measurements. In: SAUVANT, D.(Ed). *Proceedings of Modeling nutrient digestion and utilization in farm animals*. 1.ed. Paris, FR: EAAP Publisher.

Marcondes, M. I.; Tedeschi, L. O.; Valadares Filho, S. C.; Chizzotti, M. L. Prediction of physical and chemical body compositions of purebred and crossbred Nellore cattle using the composition of a rib section. *Journal of Animal Science,* 90:1280–1290, 2012.

Missio, R. L.; Brondani, I. L.; Restle, J.; Silva, J. H. S.; Silveira, M. F.; Silva, V. S. Partes não-integrantes da carcaça de tourinhos alimentados com diferentes níveis de concentrado na dieta. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:906-915, 2009.

Moraes, E. H. B. K. D. (2006). *Desempenho e exigências de energia, proteína e minerais de bovinos de corte em pastejo, submetidos a diferentes estratégias de suplementação*. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG. 2006.

Moulton, C. R. 1923. Age and chemical development in mammals. *Journal of Biological Chemistry,* 57:79-97.

Neves, M. L. M. W. 2013. *Exigências nutricionais e componentes não carcaça de bovinos mestiços leiteiros*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brazil. 150p.

Nour, A. Y. M.; Thonney, M. L.; Stouffer, J. R.; White Jr, W. R. C. Muscle, fat and bone in serially slaughtered large dairy or small beef cattle fed corn or corn silage diets in one of two locations. *Journal of Animal Science,* 52:512-521. 1981.

Nour, A. Y. M.; Thonney, M. L. Carcass soft tissue and bone composition of early and late maturing steers fed two diets in two housing types and serially slaughtered over a wide weight range. *Journal of Agricultural Science,* 109:345-356, 1987.

Nour, A. Y. M.; Thonney, M. L. Technical Note: Chemical composition of Angus and Holstein carcasses predicted from rib section composition. *Journal of Animal Science*, 72:1239-1241, 1994.

Paixão, M. L. *Desempenho produtivo e exigências nutricionais de bovinos de corte em pastagens de brachiaria decumbens com suplementação proteica*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 110p, 2008.

Panaretto, B. A.; Till, A. R. Body composition in vivo. II. The composition of mature goats and its relationship to the antiprine, tritiated water, and N-acetyl-4-aminoantipyrine spaces. *Australian Journal of Agricultural Reseach*, 14:926-943, 1963.

Paulino, P. V. R. 2002. *Exigências nutricionais e validação da seção HH para predição da composição corporal de zebuínos*. 2002. 150p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

Paulino, P. V. R.; Costa, M. A. L.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, M. F.; Valadares, R. F. D.; Magalhães, K. A.; Detmann, E.; Porto, M. O.; Moraes, K. A. K. Validação das equações desenvolvidas por Hankins e Howe para predição da composição da carcaça de Zebuínos e desenvolvimento de equações para estimativa da composição corporal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34:327-339, 2005a.

Paulino, P. V. R.; Valadares Filho, S. C.; Costa, M. A. L.; Paulino, M. F.; Magalhães, K. A.; Detmann, E.; Valadares, R. F. D.; Porto, M. O.; Moraes, K. A. K. Validation of the 9-11th rib cut to estimate the chemical composition of the dressed carcass and of the whole empty body of Zebu cattle. *Livestock Production Science*, 93:245-253, 2005b.

Paulino, P. V. R. 2006. *Desempenho, composição corporal e exigências nutricionais de bovinos Nelore de diferentes classes sexuais*. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, 159p. Tese (Doutorado em zootecnia).

Prados, L. F., Zanetti, D., Amaral, P. M., Mariz, L. D. S., Sathler, D. F. T., Valadares Filho, S. C., Silva, F. F., Silva, B. C., Pacheco, M. C., Meneguelli, H. A., Chizzotti, M. L. Techinical note: Prediction of chemical rib section composition by dual energy x-ray absorptiometry in Zebu beef cattle. *Journal of Animal Science*, 94:2479-2484, 2016.

Peron, A. J.; Fontes, C. A. A.; Lana, R. P.; Queiroz, A. C.; Silva, D. J.; Freitas, J. A. Predição da composição corporal e da carcaça de bovinos através de métodos indiretos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 22:227-237, 1993.

Porto, M. O. *Multiples supplements to beef cattle in calves, growing and finishing, in pasture of Brachiaria decumbens.* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 159 p, 2009.

Powell, W. E.; Huffman, D. L. Predicting chemical composition of beef carcasses from easily obtainable carcass variables. *Journal of Animal Science*, 36:1069-1076, 1973.

Prados, L. F. 2012. *Desempenho e exigências nutricionais de bovinos alimentados com dietas contendo diferentes níveis de cálcio e fósforo.* Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brazil. 97p.

Preston, R. L.; Kock, S. W. *In vivo prediction of body composition in cattle from urea space measurements*. In: Proceedings of the society for experimental biology and medicine, 1057-1061, 1973.

Prior, R. L.; Kohlmeier, R. H.; Cundiff, L. V.; Dikeman, M. E.; Crouse, J. D. Influence of dietary energy and protein on growth and carcass composition in different biological types of cattle. *Journal of Animal Science*, 45:132-146, 1977.

Reid, J. T.; Wellington, G. H.; Dunn, H. O. Some relationships among the major chemical components of the bovine body and their application to nutritional investigations. *Journal of Dairy Science,* 38:1344-1359, 1955.

Rodrigues, F. C. 2014. *Turnover proteíco, avaliação e predição da composição química e do corpo vazio de bovinos ¾ Zebu x ¼ Holandês*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brazil. 44p.

Silva, F. F. 2001. *Desempenho, características de carcaça, composição corporal e exigências nutricionais (de energia, proteína, aminoácidos e macrominerais) de novilhos Nelore, nas fases de recria e engorda, recebendo diferentes níveis de concentrado e proteína*. 2001. (Dissertação) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Silva, F. A. S. 2015. *Desempenho, produção de metano entérico, eficiência de utilização da energia, metabolismo protéico muscular e exigências nutricionais de novilhas Holandês x Zebu alimentadas com silagem de milho ou cana-de-açúcar em duas proporções*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brazil. 82p.

Silva F. A. S, Valadares Filho S. C., Costa e Silva L. F., Fernandes J. G., Lage B. C., Chizzotti M. L., Felix T. L. Nutrient requirements and evaluation of equations to predict chemical body composition of dairy crossbred steers. *Animal Bioscience*, 34:558-566, 2021. doi: 10.5713/ajas.19.0829.

Souza, E. J. 2010. *Desempenho e exigências nutricionais de fêmeas Nelore, F1 Nagus x Nelore e F1 Simental × Nelore em dietas contendo alto e baixo nível de concentrado.* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2010.

Trowbridge, P. F.; Haigh, L. D. Studies in animal nutrition. I. *Changes in form and weight on different planes of nutrition.* Montana Agriculture Experimental Station. 111p. (Research Bulletin, 54). 1921.

Trowbridge, P. F., Haigh, L. D. Studies in animal nutrition. II. Changes in *proportions of carcass and offal on different planes of nutrition.* Montana Agriculture Experimental Station. 111p. (Research Bulletin, 43). 1922.

Valente, E. E. L. *Suplementação de bovinos de corte em pastejo com diferentes relações proteína:carboidrato da fase de amamentação ao abate*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG, 2012.

Véras, A. S. C.; Valadares Filho, S. C.; Silva, J. F. C.; Paulino, M. F.; Cecon, P. R.; Valadares, R. F. D.; Ferreira, M. A.; Silva, C. M.; Silva, B. C. Predição da composição química corporal de bovinos Nelore e F1 Simental × Nelore a partir da composição química da seção Hankins e Howe (seção HH). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30:1112-1119, 2001.

Williams, J. E.; Wagner, D. G.; Walters, L. E.; Horn, G.W.; Waller, G. R.; Sims, P. L.; Guenther, J. J. Effect of production systems on performance, body composition and lipid and mineral profiles of soft tissue in cattle. *Journal of Animal Science*, 57:1020-1028, 1983.

Zanetti, D. 2014. *Exigências nutricionais, frequência de alimentação e níveis de cálcio e fósforo para bovinos Holandês x Zebu em confinamento.* Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brazil. 78p.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-192-0.2023.C006.p.139-164

6

Predição do peso de carcaça, espessura de gordura subcutânea e perda de peso corporal durante o transporte de bovinos de corte

Flávia Adriane de Sales Silva, Pedro del Bianco Benedeti, Breno de Castro Silva, Gutierrez José de Freitas Assis, Débora Evelyn de Freitas Assis, Victor Graciliano Luccas da Fonseca, Dhones Rodrigues de Andrade, Sebastião de Campos Valadares Filho, Mario Luiz Chizzotti

INTRODUÇÃO

O pecuarista de corte, independente da fase que executa (cria, recria, engorda ou ciclo completo), tem como objetivo final a produção de carne. Assim, sua participação na cadeia produtiva da carne bovina geralmente se encerra com o abate do animal, sendo o pagamento baseado no peso da carcaça (PCarc). No entanto, o rendimento de carcaça (RC) muitas vezes gera divergências entre produtores e frigoríficos.

São frequentes as reclamações de produtores quanto a variações muito grandes nos RC para animais de mesmo tipo e pesados em condições semelhantes na propriedade antes do embarque e com relação aos RC obtidos em diferentes frigoríficos. Para a maioria dos produtores, os menores rendimentos obtidos nos frigoríficos estariam relacionados a realização muito severa (em grande extensão) da limpeza ou "toalete" da carcaça e a problemas de pesagens das carcaças. Por outro lado, os frigoríficos argumentam que os menores RC podem ocorrer devido a erros de pesagem na fazenda, manejo e problemas relacionados ao transporte (transporte de longa distância e contusões, por exemplo), menor grau de acabamento (gordura subcutânea da carcaça) e tipo bovino (bovinos cruzados de leite, por exemplo).

Em termos gerais, a carcaça corresponde ao animal abatido, sangrado, esfolado, eviscerado, desprovido de cabeça, patas, rabo, órgãos genitais, gordura peri renal e inguinal, ferida de sangria, medula óssea espinhal e diafragma (Pascoal et al., 2011; MAPA, 1989). Além disso, em alguns frigoríficos, há também a retirada de outros constituintes da carcaça, como o cupim (quando presente) e bife do vazio, influenciando o PCarc e, consequentemente, o RC. Dessa forma, as grandes variações quanto ao RC relatadas também podem estar relacionadas ao método específico de limpeza da carcaça no frigorífico. Nesse contexto, vários fatores podem afetar o RC, como grupo genético, classe sexual, nutrição, peso corporal (PC) ao abate, manejo pré-abate e transporte.

Os requisitos mínimos dos frigoríficos quanto à qualidade da carcaça incluem PC acima de 180 kg para fêmeas e 225 kg para machos não castrados e castrados (Assis, 2021). Contudo, carcaças com melhores características de qualidade (maior grau de acabamento e marmoreio, por exemplo) podem ser direcionadas para mercados específicos e gerar maior remuneração aos produtores. Em muitos países, as carcaças de bovinos são geralmente comercializadas com base no genótipo, gênero e idade de abate do animal. Outros fatores como conformação, cor da carne e da gordura, grau de acabamento, marmoreio e pH também podem ser considerados na determinação da qualidade da carcaça e sua respectiva remuneração (Costa et al., 2002; Arboitte et al., 2004; Gomide et al., 2014).

Nesse contexto, a espessura de gordura subcutânea (EGS), normalmente medida entre a 12ª e 13ª costelas, é um importante indicador da qualidade da carcaça e está positivamente correlacionada com RC e adiposidade e grau de acabamento da carcaça (Berg e Butterfield, 1976; Tarouco et al., 2005; Silva et al., 2006). Além disso, uma adequada EGS é necessária para evitar redução do PCarc, queda rápida na temperatura da carcaça e escurecimento da carne durante o processo de resfriamento, permitindo uma melhor apresentação visual dos cortes bovinos e suas características sensoriais (Luchiari Filho, 2000; Vaz e Restle, 2000; Moreira et al., 2018). Por outro lado, o

excesso de gordura de cobertura também é prejudicial à qualidade da carcaça, pois a deposição excessiva de gordura de cobertura geralmente está associada a redução do rendimento dos cortes bovinos e aumento dos custos operacionais devido à maior toalete necessária (Abraham et al., 1968; Costa et al., 2002; Neto et al., 2010). Assim, uma EGS de 3 a 6 mm é geralmente exigida pelos frigoríficos (Luchiari Filho, 2000). Em geral, as carcaças bovinas que não atendem a EGS exigida estão sujeitas a penalidades na remuneração.

No entanto, o PCarc, e consequentemente o RC, assim como a EGS são geralmente medidos após o abate dos animais, não permitindo ajustes de manejo ainda dentro do ciclo produtivo. Nesse sentido, o desenvolvimento de métodos alternativos para prever essas características *in vivo* pode permitir que os produtores definam melhor as estratégias de manejo e o ponto de abate correto visando produzir carcaças de maior qualidade e remuneração, além de reduzir os custos de produção. Assim, a comissão da edição atual do BR-CORTE propôs um novo capítulo para discutir os principais fatores que influenciam o rendimento e a composição da carcaça bovina. Subsequentemente, são apresentadas equações para predizer o PCarc e a EGS, bem como um estudo sobre a perda de peso corporal durante o transporte de bovinos de corte.

FATORES QUE INFLUENCIAM O RENDIMENTO E A COMPOSIÇÃO DA CARCAÇA

Grupo genético e classe sexual

Diferentes grupos genéticos e classes sexuais de bovinos apresentam diferentes potenciais de produção de carne, peso corporal à maturidade (PCmat), taxas de ganho de peso e composição do ganho de peso (Berg e Butterfield, 1976; Valadares Filho et al., 2016). Em geral, raças do grupo *Bos taurus taurus* continentais (Simental e Charolês, por exemplo) são consideradas de grande porte e de elevado PCmat (tardios), as raças do grupo *Bos taurus indicus* (Nelore, por exemplo) são consideradas de porte médio e de precocidade intermediária e as raças do grupo *Bos taurus taurus* britânico (Angus e Hereford, por exemplo), são consideradas de pequeno porte e precoces.

Considerando animais de mesmo PC, bovinos de raças de elevado PCmat geralmente têm maiores taxas de ganho de peso e depositam proporcionalmente mais músculo e menos gordura na carcaça em relação a bovinos de raças precoces (Nour et al., 1983; Hassen et al., 1998; Williams et al., 2010). Nesse sentido, diferenças no RC entre os grupos genéticos são observadas quando o momento de abate é determinado pelo grau de acabamento da carcaça, pois animais mais tardios apresentam grau de acabamento desejado com maiores PC e, consequentemente, apresentam maior RC (Camfield et al., 1996; Euclides Filho et al., 1997; Clímaco et al., 2011).

O potencial de produção de carne da raça também pode interferir no RC. Considerando animais de mesmo PC, carcaças de bovinos de raças de corte (Angus, por exemplo) apresentam maior relação tecido mole:osso e proporcionalmente maiores quantidades de gordura que as carcaças de bovinos de raças leiteiras (Holandês, por exemplo; Nour et al., 1981; Nour et al., 1983). Essas diferenças provavelmente ocorrem porque a seleção genética em bovinos leiteiros tem sido focada na produção de leite ao invés da deposição de tecidos. Assim, bovinos de raças que foram geneticamente melhoradas para a produção de carne, em um mesmo PC, apresentam maior RC que aqueles selecionados para a produção de leite (Nour et al., 1981; Bertrand et al., 1983; Nour et al., 1983).

A associação de características desejáveis de duas ou mais raças (heterose) através da utilização de cruzamentos também promove alterações no padrão de crescimento e conformação dos animais quando comparado àqueles das raças puras que os deram origem. Os benefícios do cruzamento entre raças taurinas e zebuínas de corte, vem sendo constantemente relatados na literatura (Fitzhugh et al., 1975; Gray et al., 1978; Williams et al., 2010) e incluem melhores desempenho produtivo e características de carcaça.

Nesse sentido, maior PCarc e, algumas vezes RC, é esperado em animais oriundos de cruzamentos entre raças de corte taurinas e

zebuínas em relação aos de raças zebuínas puras, visto que a presença de raças taurinas no genótipo dos animais cruzados geralmente resulta em maiores taxas de crescimento e deposição de gordura na carcaça (Crouse et al., 1989; Plasse et al., 1995; Yar et al., 2022). Maiores PCarc e EGS têm sido relatados para machos castrados (Oliveira et al., 2011) e fêmeas (Lage et al., 2012) Simental × Nelore e Angus × Nelore em relação aos animais de mesma classe sexual da raça Nelore. Semelhantemente, Amaral et al. (2018) reportaram maiores ganhos de carcaça e EGS para machos Angus × Nelore não castrados em relação àqueles da raça Nelore.

Por outro lado, bovinos cruzados de origem leiteira (Holandês × Zebu) também são comumente criados e destinados a produção de carne no Brasil. No entanto, a presença da raça Holandesa no genótipo dos animais cruzados de origem leiteira (Holandês × Zebu) geralmente resulta em um padrão de crescimento e conformação diferente quando comparado às raças selecionadas para produção de carne e seus cruzamentos. Diversos estudos disponíveis na literatura descrevem menores RC para bovinos mestiços de origem leiteira (Holandês × Zebu) quando comparados a animais de raças selecionadas para produção de carne (Nelore e Angus, por exemplo) e seus cruzamentos (Jorge et al., 1999; Fernandes et al., 2004; Rocha Junior et al., 2010). Contudo, alguns trabalhos não encontraram diferenças entre os RC de bovinos cruzados de origem leiteira (Holandês × Zebu) e aqueles de raças zebuínas de corte (Alves et al., 2004; Costa et al., 2007).

A classe sexual também influencia a taxa de ganho de peso, a composição do ganho e, consequentemente, a composição corporal e as características da carcaça (Berg e Butterfield, 1976; Valadares Filho et al., 2016). Machos não castrados tendem a apresentar maior taxa de crescimento, com composição do ganho caracterizada por maior teor de proteína e menos gordura quando comparados a machos castrados e fêmeas, dentro de um mesmo grupo contemporâneo (Berg e Butterfield, 1976; Fortin et al., 1980; Paulino et al., 2009).

Contudo, fêmeas tendem a depositar mais gordura no úbere e nos órgãos internos (Paulino et al., 2009). Além disso, machos castrados geralmente depositam mais gordura abdominal e renal do que os machos não castrados com PC semelhantes (Paulino et al., 2009). Assim, geralmente observa-se, para animais de mesmo PC, maiores PCarc e, muitas vezes maiores RC, para machos não castrados e menores para fêmeas, sendo que os machos castrados geralmente ocupam uma posição intermediária (Hassen et al., 1998; Vittori et al., 2006; Paulino et al., 2008). Vaz et al. (2010) verificaram que, mesmo em idade jovem, os machos apresentam maior rendimento de carcaça, uma vez que as fêmeas possuem maior peso do trato digestivo.

Peso corporal no momento do abate

O peso do animal no momento do abate é um fator importante na determinação do peso e rendimento de carcaça. O PC tem correlação positiva com o PCarc (Lôbo et al., 2002; Silva et al., 2003; Cruz et al., 2004). Além disso, o RC aumenta linearmente com o aumento do PC ao abate (May et al., 1992; Bruns et al., 2004; Restle et al., 2005). O RC aumenta com o aumento do PC tanto devido à maior deposição de gordura na carcaça quanto porque a proporção de PC que consiste no trato digestivo e seu conteúdo diminuem (Berg e Butterfield, 1976; Waldo et al., 1990; Owens et al., 1993). May et al. (1992), avaliando as características de carcaça de machos Angus × Hereford castrados, abatidos em série de 0 a 196 dias de confinamento, e Arboitte et al. (2004), avaliando as características de carcaça de machos castrados 5/8 Nelore × 3/8 Charolês terminados em confinamento e abatidos com 425, 467 e 510 kg observaram aumento linear no RC e EGS dos animais. Ainda, Restle et al. (2005) observaram uma redução da contribuição dos órgãos internos para o PC ao abate (kg/100 kg PC ao abate) à medida que o PC ao abate de machos 5/8 Nelore × 3/8 Charolês castrados aumentou de 425 para 510 kg.

Entretanto, Hicks et al. (1987) e Bruns et al. (2004) descreveram um comportamento positivo e quadrático da EGS com o aumento do peso de abate. Diferenças quanto a duração dos estudos e, consequentemente, quanto à amplitude de PC ao abate avaliados podem ter sido responsáveis pelas diferenças no padrão de deposição de gordura subcutânea da carcaça observados.

Estratégias nutricionais

O tipo de dieta a qual o bovino é submetido pode influenciar o RC (Berg e Butterfield, 1976; Owens et al., 1993). O conteúdo do trato gastrintestinal e o peso relativo dos compartimentos gastrintestinais é maior quando os bovinos ingerem dietas com maiores proporções de volumosos em relação a dietas mais concentradas (ARC, 1980; Owens et al., 1993; Véras et al., 2001). Além disso, o maior aporte de nutrientes (e energia) obtido quando dietas mais concentradas são ingeridas geralmente resulta em maiores taxas de ganho de peso e de carcaça, maior deposição de gordura na carcaça e maior PCarc (Nour et al., 1983; Oliveira et al., 2009; Marcondes et al., 2011). Diversos estudos demonstraram que o RC aumenta linearmente com o aumento do conteúdo de concentrado da dieta (Gesualdi Júnior et al., 2000; Ribeiro et al., 2001; Leme et al., 2003; Oliveira et al., 2011). Nesse sentido, quanto maior a quantidade de alimentos concentrados na dieta, maior será o RC esperado.

Transporte e manejo

Bovinos de corte são transportados pelo menos uma vez na vida quando são enviados para o abate. Manejo, carga/descarga, mistura de animais, acelerações e vibrações do veículo, exposição a novos ambientes e temperaturas extremas durante o transporte podem causar estresse (Schwartzkopf-Genswein et al., 2016). Como resultado, os animais frequentemente sofrem perda de PC, lesões na carcaça e alteração na qualidade da carne (Bhatt et al., 2021).

No Brasil, a perda de PC pode ser o efeito econômico mais importante, devido a comercialização dos bovinos ser feita com base no PC ou PCarc. Esse efeito geralmente ocorre principalmente devido à privação de alimento e água (Marques et al., 2012), mas também devido ao aumento da transpiração, defecação e micção. Entretanto, Schwartzkopf-Genswein et al. (2016) relataram em uma revisão da literatura que a perda de PC relacionada ao transporte não foi atribuída apenas à perda de enchimento do trato gastrointestinal, mas também à perda de tecidos corporais, que pode exceder 60% das perdas de PC, dependendo da duração do período de jejum. Jones et al. (1988), avaliando os efeitos do jejum, mistura de animais, transporte e espera, simulando o que o animal seria exposto durante cenários específicos de transporte, concluíram que o principal efeito do jejum e transporte em bovinos de corte foi a perda de PCarc e esvaziamento do trato gastrointestinal, que foi maior para 72 horas em comparação com a jornada de 48 horas de transporte. Ainda, elevada temperatura ambiente, excesso de manejo e manejo aversivo geralmente aumenta a perda de peso de bovinos (Coffey et al., 2001; González et al., 2012; Van Engen e Coetzee, 2018).

O manejo inadequado, especialmente pré-abate, também pode causar hematomas e limitar o bem-estar dos bovinos (Paranhos da Costa et al., 2012; Mendonça et al., 2019). O hematoma pode ser definido como uma lesão tecidual com ruptura de vasos sanguíneos e acúmulo de sangue e soro sob a pele (Strappini et al., 2012), o que geralmente deprecia as carcaças, pois as partes afetadas podem precisar ser descartadas. Os hematomas podem causar perda de carcaça e, consequentemente, afetar negativamente o RC e o resultado econômico.

Dois estudos realizados no Uruguai (Huertas et al., 2010; Huertas et al., 2015) constataram que 60% do total de carcaças bovinas avaliadas apresentava pelo menos um hematoma. Além disso, a ocorrência de hematomas nas carcaças resultou em média de remoção de 2,0 e 1,6 kg de carne por lesão nos estudos de Huertas et al. (2010) e Huertas et al. (2015), respectivamente. Contudo, Zanardi et al. (2022) e Strappini et al. (2010) observaram uma prevalência relativamente baixa de hematomas em frigoríficos da Itália e do Chile, onde aproximadamente 20% dos bovinos apresentavam pelo menos um hematoma.

Vários estudos têm sido realizados para avaliar os efeitos do manejo pré-abate (procedimentos de manejo, tipo de veículo e duração do transporte, por exemplo), grupo genético e classe sexual sobre a predisposição à ocorrência de hematomas (Strappini et al., 2010; Mendonça et al., 2016; Bethancourt-Garcia et al., 2019; Mendonça et al., 2019). Os resultados desses estudos indicam que a ocorrência de hematomas em carcaças de bovinos está relacionada à distância percorrida, onde o transporte de bovinos por

longas distâncias resulta em mais hematomas do que a viagem por trajetos mais curtos. Além disso, caminhões com maior capacidade de carga causaram maior número de hematomas graves. Além disso, a ocorrência de hematomas na carcaça foi maior para as fêmeas (vacas, principalmente) quando comparados aos machos, assim como a presença de animais com chifres dentro dos grupos de bovinos transportados aumentou o risco de hematomas.

Limpeza ou toalete

O PCarc que é considerado para cálculo do RC nos frigoríficos comerciais é o peso obtido após ocorrer todo o processo de abate e limpeza ou toalete das carcaças, os quais geralmente variam de um país para outro e/ou de um frigorífico para o outro. Nesse contexto, a pesagem da carcaça quente (PCQ) ou fria (PCF), lavada ou não lavada e com os rins presentes ou ausentes alterará o PCarc obtido. Além disso, a retirada de hematomas, abcessos (decorrentes da vacinação contra febre aftosa, por exemplo) ou excesso de gordura da carcaça pode reduzir o PCarc e, consequentemente, o RC.

Em 2014, um levantamento realizado pela ScotConsultoria em frigoríficos de 28 praças brasileiras, descreveu que os valores de RC mais frequentemente observados variaram de 52 a 54% para machos criados a pasto e confinamento, respectivamente; e entre 48% e 49% para vacas e entre 50% e 51% para novilhas criadas a pasto e em confinamento, respectivamente. No entanto, resultados experimentais de abates comparativos, nos quais as carcaças não passaram pelo processo de toalete, muitas vezes descrevem maiores RC, que podem chegar a 60%.

Diferenças entre RC experimental e comercial também podem estar relacionadas ao período de jejum de 12 a 16 h para se obter o PC em jejum (PCJ) em experimentos, enquanto em operações comerciais os produtores geralmente pesam os animais sem a realização de jejum, registrando o PC cheio dos animais.

As comparações entre valores de RC experimentais e comerciais muitas vezes podem levar à desconfiança dos produtores quanto aos procedimentos de obtenção do RC pelos frigoríficos. Assim, o RC obtido em condições experimentais não deve ser comparado com o observado em condições comerciais sem a realização de ajustes. Nesse sentido, para permitir a comparação entre os dados experimentais e comerciais, seria necessário estabelecer o efeito jejum, da limpeza ou toalete sobre o RC.

Além disso, a eficiência biológica tem sido utilizada atualmente como indicador da eficiência da produção em confinamento. Este indicador é calculado como a quantidade de alimento necessário para produzir 1 ou 15 kg de carcaça (1 arroba). Nesse caso, a eficiência do processo produtivo é calculada *a posteriori*, após o abate dos animais, que não permite ajustes ou modificações durante o ciclo produtivo. Portanto, a estimação do PCarc a partir do PC de bovinos possibilitaria aos nutricionistas fazer ajustes mais precisos sobre nutrição e manejo durante o ciclo produtivo, bem como, auxiliaria na definição do melhor momento para o abate. Assim, equações lineares e não lineares para predizer o PCarc a partir do PC serão propostas a seguir.

ESTIMATIVA DO PESO DE CARCAÇA

Equações lineares

Em um estudo recente, Benedeti et al. (2021) propuseram uma equação para a predição do PCarc de bovinos baseada nas condições de abate, classe sexual, grupo genético e PCJ dos animais. Um banco de dados composto por 1112 animais (Tabela 6.1) abrangendo machos não castrados, machos castrados e fêmeas de diferentes grupos genéticos (Zebu, cruzado de corte e cruzado de leite) e abatidos em duas condições de abate (experimental e comercial) foi usado para desenvolver uma equação de predição do PCarc (Eq. 6.1).

Tabela 6.1 - Estatística descritiva dos dados utilizados para desenvolver o modelo linear para predizer o peso da carcaça de bovinos de corte, adaptada de Benedeti et al. (2021)

Item	n	Peso corporal em jejum, kg	Peso de carcaça, kg
Estudos	30		
Animais	1112	429 ± 111	234 ± 67,3
Classe sexual			
Machos não castrados	785	462 ± 95,7	255 ± 59,7
Machos castrados	186	393 ± 107	215 ± 61,4
Fêmeas	141	297 ± 82,2	158 ± 43,4
Grupo genético			
Zebu	776	433 ± 114	235 ± 70,3
Cruzado de corte	164	419 ± 98,3	230 ± 58,0
Cruzado de leite	171	423 ± 108	234 ± 65,2
Procedimento de abate			
Comercial	636	503 ± 68,1**	280 ± 42,6
Experimental	476	374 ± 106	208 ± 65,3

*Experimental = dados de animais abatidos em condições experimentais sem realização de limpeza ou toalete das carcaças; Comercial = dados de animais abatidos em frigorífico comercial.

**Peso corporal em jejum de animais abatidos em frigorifico comercial foi estimado de acordo com Gionbelli et al. (2016); $PCJ = 0,880 \times PC^{1,0175}$.

Os autores encontraram efeito significativo ($P < 0,05$) do procedimento de abate apenas no intercepto e efeitos significativos ($P < 0,05$) de classe sexual, grupo genético e PCJ na inclinação da regressão linear do PCarc; assim, sugeriram a seguinte equação:

$$PCarc\ (kg) = -11,03 + CA + (0,6094 + CS + GG) \times PCJ \quad \text{Eq. 6.1,}$$

onde PCarc = peso da carcaça; CA = condições de abate, se frigorífico comercial = -10,98, se abatedouro experimental = 0; CS = classe sexual, se macho castrado = 0, se macho não castrado = 0,008169 e se fêmea = -0,00612; GG = grupo genético, se Zebu = 0, se cruzado de leite = -0,03301, se cruzado de corte = -0,01595.

Portanto, em um mesmo PCJ, maiores estimativas de PCarc serão observadas para bovinos abatidos em condições experimentais quando comparadas às condições comerciais, devido à ausência de processo de limpeza ou toalete, que reduzem o PCarc. Além disso, o PCarc estimado será maior para machos não castrados, seguidos de machos castrados e fêmeas, respectivamente, quando considerados animais com o mesmo PCJ. Com relação ao efeito do grupo genético, os animais cruzados de leite e de corte apresentam menores estimativas para o PCarc em relação aos animais Zebu, provavelmente devido ao maior consumo de matéria seca em animais cruzados.

A validação da equação linear para o PCarc foi realizada utilizando um banco de dados independente contendo bovinos abatidos em condições experimental e comercial (Tabela 6.2). O conjunto de dados experimental foi composto por 70 observações, abrangendo apenas machos não castrados de dois grupos genéticos (Zebu e cruzado de corte). O conjunto de dados comercial foi composto por 10 médias de 746 bovinos, abrangendo machos não castrados e fêmeas Zebu e cruzados de corte.

Tabela 6.2 - Estatística descritiva dos dados utilizados para validar o modelo linear (Eq. 6.1) para predizer o peso da carcaça de bovinos zebuínos e cruzados de corte, adaptada de Benedeti et al. (2021)

Item	Banco de dados*	
	Experimental	Comercial
Estudos, n	2	-
Animais, n	70	10**
Classe sexual, %		
Machos não castrados	100	92,2
Fêmeas	-	7,77
Grupo genético, %		
Zebu	65,7	79,4
Cruzado de corte	34,3	20,6
Peso corporal em jejum, kg	452 ± 67,4	471 ± 33,6***

*Experimental = dados independentes de animais abatidos em condições experimentais; Comercial = dados independentes de animais abatidos em frigorífico comercial.
**10 médias de 746 animais.
***Peso corporal em jejum de animais abatidos em frigorifico comercial foi estimado de acordo com Gionbelli et al. (2016); PCJ = 0,880 × $PC^{1,0175}$.

Os PCarc preditos foram comparados com os valores observados utilizando-se o seguinte modelo de regressão: Y = β0 + β1 × X, onde X = valores preditos; Y = valores observados; β0 e β1 = intercepto e inclinação, respectivamente. A regressão foi avaliada de acordo com as seguintes hipóteses estatísticas: H0: β0 = 0 e H0: β1 = 1 e Ha: não H0. Se as hipóteses nulas não forem rejeitadas, pode-se concluir que a equação estima corretamente o PCarc de bovinos confinados. As estimativas também foram avaliadas usando o quadrado médio do erro de predição (QMEP) e seus componentes (Kobayashi & Salam, 2000): QMEP = SB + MaF + MoF = $1/n \sum_{i=1}(x_i - y_i)^2$; SB = $(x_i - y_i)^2$; MaF = $(s_x - s_y)^2$; Mof = $2s_x s_y(1-r)$; onde x são valores preditos; y são valores observados; QMEP é o quadrado médio do erro de predição; SB é o viés; MoF é o componente relativo ao modelo de flutuação aleatória; MaF é o componente relativo à magnitude da flutuação aleatória; sx e sy são os desvios padrão dos valores preditos e observados, respectivamente; e r é a correlação linear de Pearson entre os valores preditos e observados. A eficiência de predição foi determinada pela estimativa do coeficiente de correlação e concordância ou índice de reprodutibilidade (CCC) descrito por Tedeschi (2006). Todos os cálculos foram obtidos usando o *Model Evaluation System* (MES; Tedeschi, 2006). Para todas as comparações, o nível de 0,05 foi estabelecido como o nível crítico de probabilidade para erro do tipo I. Mais detalhes sobre este estudo podem ser encontrados em Benedeti et al. (2021).

Resumidamente, a análise de validação demonstrou que a equação linear estimou com acurácia e precisão os PCarc de bovinos de corte em condições de abate experimental ou comercial (Tabela 6.3), visto que a hipótese nula de um respectivo intercepto e inclinação igual a 0 e 1 (P > 0,05) não foi rejeitada; e o CCC foi próximo de 1 (CCC de 0,979 e 0,961 para condições experimental e comercial, respectivamente). No entanto, a validação comercial apresentou o menor valor de QMEP. A partição do QMEP mostrou que as proporções de SB foram de 12,7 e 78,2%, enquanto as proporções de MaF foram de 0,006 e 8,31% nas avaliações experimental e comercial, respectivamente.

Tabela 6.3 - Média e estatística descritiva para a relação entre o peso de carcaça* observado e predito de zebuínos de corte pelo modelo linear, adaptada de Benedeti et al. (2021)

Item**	Experimental***		Comercial***	
	Observado	Predito	Observado	Predito
Média, kg	268	265	258	264
Desvio padrão, kg	40,4	39,7	23,0	24,8
Máximo, kg	322	327	285	298
Mínimo, kg	105	117	215	217
R	-	0,982	-	0,994
CCC	-	0,979	-	0,961
Regressão				
Intercepto				
Estimativa	-	3,33	-	15,6
Erro padrão	-	6,23	-	9,75
P-valor (H_0: a=0)	-	0,595	-	0,148
Inclinação				
Estimativa	-	1,00	-	0,919
Erro padrão	-	0,023	-	0,037
P-valor (H_0: b=1)	-	0,943	-	0,058
QMEP	-	65,4	-	44,5
SB	-	8,32	-	34,8
MaF	-	0,004	-	3,68
MoF	-	57,1	-	6,01

*Equação: PCarc (kg) = -11,03 + CA + (0,6094 + CS + GG) × PCJ, R^2 = 0,98,
**CA = condições de abate, se frigorífico comercial = -10,98, se abatedouro experimental = 0; CS = classe sexual, se macho castrado = 0, se macho não castrado = 0,008169 e se fêmea = -0,00612; GG = grupo genético, se Zebu = 0, se cruzado de leite = -0,03301, se cruzado de corte = -0,01595; PCJ = peso corporal em jejum; R = coeficiente de determinação; CCC = coeficiente de correlação e concordância; QMEP = quadrado médio do erro de predição; SB = viés; MoF = componente relativo ao modelo de flutuação aleatória; MaF é o componente relativo à magnitude da flutuação aleatória.
***Experimental = dados independentes de animais abatidos em condições experimentais; Comercial = dados independentes de animais abatidos em frigorífico comercial.

Assim, embora a avaliação experimental tenha apresentado maior QMEP, ela apresentou o menor SB, indicando que apresentou maior capacidade de simular a variação em torno da média. Tais resultados podem estar relacionados aos diferentes bancos de dados de validação (experimental e comercial). O banco de dados experimental continha apenas machos não castrados, enquanto o comercial continha machos não castrados e fêmeas. Contudo, a equação linear pode ser considerada adequada para estimar o PCarc de bovinos confinados devido à sua boa precisão e exatidão.

Equações não lineares

O PCarc é influenciado por fatores como PC, taxa de ganho de peso, composição do ganho, composição da carcaça e do corpo e a contribuição do tamanho e enchimento do trato gastrointestinal (Berg e Butterfield, 1976; Owens et al., 1993), bem como processos de limpeza ou toalete específicos de diferentes plantas frigoríficas, os quais deveriam ser levados em conta nas equações preditivas. Benedeti et al. (2021) consideraram com sucesso tais efeitos sobre PCarc ao utilizar, além do PCJ, classe sexual, grupo genético e condições de abate como variáveis preditivas na equação linear descrita na seção anterior. No entanto, a consideração de muitos fatores pode levar à superparametrização da estimativa do PCarc, aumentando a complexidade dos cálculos. Além disso, Benedeti et al (2021) utilizaram um fator de ajuste fixo para tipo de planta de abate na estimativa do PCarc, não levando em consideração as diferenças quanto ao processo de limpeza ou toalete entre diferentes animais e frigoríficos.

A maioria dos fatores (taxa e composição do ganho, composição corporal, enchimento do trato gastrintestinal, etc.) que influenciam o PCarc são correlacionados com

PC e/ ou ganho de PC (Valadares Filho et al., 2016). Ainda, é bem conhecido que a curva de crescimento de bovinos, como PC e deposição de tecidos, tem sido bem descrita por modelos não lineares simples, como equações alométricas (NASEM, 2016; Valadares Filho et al., 2016; Domínguez-Viveros et al., 2020), as quais também poderiam ser usadas para predizer o momento ideal de abate. Assim, visando permitir um cálculo mais simples e preciso do PCarc para bovinos de diferentes grupos genéticos e classes sexuais, abatidos em diferentes condições, os autores realizaram um estudo com o objetivo de: 1) desenvolver uma equação não linear para predizer o PCarc experimental de bovinos (ePCarc); 2) avaliar a contribuição de cada componente removido durante a limpeza ou toalete para a obtenção do PCarc comercial (cPCarc), bem como desenvolver uma equação para predizer o cPCarc a partir do ePCarc; e 3) avaliar a qualidade de ajuste das equações geradas para predizer ePCarc e cPCarc de bovinos de corte.

Peso de carcaça experimental

Uma meta-análise foi realizada usando dados de 19 estudos realizados na Universidade Federal de Viçosa (UFV), totalizando 682 bovinos confinados entre machos não castrados, machos castrados e fêmeas de diferentes grupos genéticos (Zebu, cruzados de corte e cruzados de leite). O banco de dados continha informações individuais sobre PCJ e PCarc de bovinos obtidos em condições experimentais (ePCarc), sem nenhum procedimento de limpeza realizado antes da pesagem da carcaça (Tabela 6.4).

Tabela 6.4 - Estatística descritiva dos dados utilizados para desenvolver o modelo não linear para predizer o peso da carcaça experimental de bovinos de corte

Item	n	Peso corporal em jejum, kg	Peso de carcaça, kg
Estudos	19	-	-
Animais	682	380 ± 94,9	221 ± 58,9
Classe sexual			
Macho não castrado	472	401 ± 83,9	237 ± 52,5
Macho castrado	95	368 ± 103,6	204 ± 56,5
Fêmea	115	303 ± 88,9	168 ± 50,3
Grupo genético			
Zebu	477	376 ± 93,3	222 ± 59,2
Cruzado de corte	52	397 ± 105,9	231 ± 65,7
Cruzado de leite	153	388 ± 95,4	214 ± 55

Antes do abate, os animais foram mantidos em jejum por 12 a 16 horas, mas com livre acesso à água. O manejo pré-abate dos animais foi conduzido de acordo com as boas práticas de bem-estar animal no Brasil. O abate experimental foi realizado por insensibilização e corte da jugular para sangria total. Maiores detalhes sobre os procedimentos de abate experimental podem ser obtidos em Silva et al. (2021).

Os dados foram codificados por classe sexual (macho não castrado, macho castrado e fêmea) e grupo genético (Zebu, cruzado de corte e cruzado de leite). Inicialmente, os dados foram testados quanto à normalidade. Em seguida, um modelo misto, incluindo os efeitos fixos de PCJ, grupo genético e classe sexual, e efeito aleatório de estudo foram utilizados para avaliar modelos lineares e não lineares com ou sem intercepto que melhor se ajustavam à relação entre ePCarc e PCJ com base no critério de informação de Akaike (AIC). Essas análises foram realizadas com o procedimento MIXED do SAS (versão 9.4, Inst. Inc., Cary, NC), e o nível de 0,05 foi estabelecido como o nível crítico de probabilidade para um erro tipo I.

Uma equação não linear com intercepto apresentou o menor AIC para predizer ePCarc. Além disso, efeitos significativos ($P<0,05$) de grupo genético e classe sexual foram observados para o expoente, mas não ($P>0,05$) para o intercepto do modelo não linear para o ePCarc. Assim, a seguinte equação não linear foi sugerida para estimar o ePCarc:

$$ePCarc\ (kg) = 0,41764 \times PCJ^{\beta 1} \qquad \text{Eq. 6.2,}$$

onde ePCarc = peso de carcaça experimental (kg); PCJ = peso corporal em jejum (kg); β1 = efeitos de grupo genético e classe sexual, se macho não castrado Zebu = 1,0583, se macho não castrado cruzado de corte = 1,0561, se macho não castrado cruzado de leite = 1,0479, se macho castrado Zebu = 1,0549, se macho castrado cruzado de corte = 1,0527, se macho castrado cruzado de leite = 1,0445, se fêmea Zebu = 1,0533, se fêmea cruzada de corte = 1,0511, e se fêmea cruzada de leite = 1,0429 (Tabela 6.5).

Tabela 6.5 - Coeficientes para a equação não linear para predição do peso da carcaça experimental (Eq.6.2)

Grupo genético	Classe sexual	β1
Zebu	Macho não castrado	1,0583
	Macho castrado	1,0549
	Fêmea	1,0533
Cruzado de corte	Macho não castrado	1,0561
	Macho castrado	1,0527
	Fêmea	1,0511
Cruzado de leite	Macho não castrado	1,0479
	Macho castrado	1,0445
	Fêmea	1,0429

As taxas de ganho de carcaça de acordo com grupo genético e classe sexual podem ser obervadas pelo expoente (β1) da equação gerada para estimar ePCarc a partir do PCJ. Os expoentes maiores que 1 observados no presente estudo indicaram ganho de carcaça em uma taxa maior que o ganho de peso em jejum (GPJ), independentemente do grupo genético e classe sexual. Contudo, os valores de β1 foram maiores para zebuínos e menores para bovinos cruzados de leite, enquanto os cruzados de corte foram intermediários entre os demais grupos genéticos. Esses resultados indicaram que, dentro de cada grupo genético, zebuínos e cruzados de leite apresentaram as maiores e menores proporções de GPJ em tecidos da carcaça, respectivamente, quando comparados aos cruzados de corte.

Ainda, o ePCarc estimado será maior para machos não castrados, seguidos por machos castrados e fêmeas, respectivamente, se considerar animais com PCJ semelhantes dentro de cada grupo genético avaliado. Conforme discutido anteriormente, com PCJ similares, os machos não castrados apresentam maior proporção de proteína e menor deposição de gordura do que machos castrados e fêmeas. Os machos castrados geralmente depositam mais gordura abdominal e renal do que os machos não castrados de PC semelhante. Além disso, fêmeas tendem a depositar mais gordura no úbere e órgãos internos, o que geralmente resulta em proporcionalmente menor deposição de tecidos da carcaça em relação aos machos não castrados. Portanto, em um mesmo PC, o PCarc é maior nos machos não castrados e menor nas fêmeas, enquanto os machos castrados geralmente apresentam PCarc intermediário.

Esses resultados corroboram com a discussão feita anteriormente, onde: 1) bovinos de corte puros e cruzados de corte, de mesmo PC, costumam apresentar maior PCarc quando comparados aos cruzados de leite; e 2) Em PCJ iguais, o PCarc geralmente é maior em machos não castrados e menor em fêmeas, enquanto os machos castrados geralmente ficam em uma posição intermediária.

Ajuste para o peso de carcaça comercial

Um banco de dados composto por 5 estudos (Alhadas et al., 2021; Andrade, 2021; Lage, não publicado; Matos, não publicado; Pacheco, não publicado; Silva, não publicado) desenvolvido na UFV, totalizando 192 animais abrangendo machos não castrados e fêmeas zebuínos e cruzados de corte foram utilizados para avaliar a contribuição do procedimento de limpeza ou toalete no PCarc comercial (cPCarc), bem como para desenvolver uma equação para predizer o cPCarc de bovinos de corte (Tabela 6.6) a partir do ePCarc. O abate foi realizado de forma semelhante ao descrito anteriormente para a estimativa de ePCarc. No entanto, todas as carcaças foram pesadas antes

e após o procedimento de limpeza, e o peso de cada constituinte da carcaça removido durante esse processo foi registrado individualmente. Assim, o banco de dados continha informações individuais sobre PCarc antes (ePCarc) e após o procedimento de limpeza (cPCarc), bem como o peso de cada componente da carcaça geralmente removido durante o procedimento comercial de limpeza ou toalete, que foram: ferida da sangria, ligamento nucal, gânglios linfáticos, medula óssea, ponta do vergalho (quando presente), e a limpeza de excesso de gordura e todas as partes danificadas ou contaminadas (limpeza geral). Ainda, a soma de todos os componentes da carcaça removidos durante o procedimento de limpeza (limpeza total) foi calculada e incluída no conjunto de dados.

Tabela 6.6 - Estatística descritiva dos dados utilizados para desenvolver a equação para estimar o ajuste para o peso da carcaça comercial de bovinos de corte

Item	Banco de dados	Classe sexual		Grupo genético	
		Macho não castrado	Fêmea	Zebu	Cruzado de corte
Estudos, n	5	4	1	4	1
Animais, n	192	170	22	143	49
Peso corporal em jejum, kg	422 ± 85,5	424 ± 88,3	412 ± 60,1	400 ± 74,0	488 ± 83,6
Peso da carcaça antes da limpeza, kg	252 ± 52,4	254 ± 53,7	237 ± 38,3	238 ± 45,2	292 ± 51,4
Peso da carcaça após a limpeza, kg	237 ± 49,8	239 ± 51,2	222 ± 34,7	223 ± 41,8	279 ± 48,6
Componentes da Limpeza					
Ferida da sangria; kg	2,26 ± 1,162	2,22 ± 1,206	1,58 ± 0,669	2,59 ± 1,126	1,31 ± 0,613
Ligamento nucal, kg	0,63 ± 0,233	0,66 ± 0,233	0,44 ± 0,097	0,72 ± 0,193	0,37 ± 0,114
Gânglios linfáticos, kg	0,95 ± 0,510	0,95 ± 0,527	0,90 ± 0,360	1,12 ± 0,480	0,45 ± 0,122
Medula óssea, kg	0,34 ± 0,136	0,34 ± 0,141	0,32 ± 0,088	0,38 ± 0,126	0,22 ± 0,086
Ponta do vergalho, kg	0,48 ± 0,400	0,48 ± 0,400	-	0,51 ± 0,460	0,42 ± 0,161
Limpeza geral*, kg	9,62 ± 3,488	9,49 ± 3,442	10,6 ± 3,76	9,35 ± 3,707	10,4 ± 2,63
Limpeza total, kg	14,2 ± 4,33	14,1 ± 4,34	14,8 ± 4,31	14,6 ± 4,63	13,2 ± 3,10

*Remoção do excesso de gordura e todas as partes danificadas ou contaminadas.

Os dados foram codificados por grupo genético (Zebu e cruzados de corte) e classe sexual (macho não castrado e fêmea). Inicialmente, os dados foram testados quanto à normalidade. Posteriormente, os efeitos fixos de grupo genético e classe sexual sobre a limpeza total (kg) foram testados usando um modelo misto, considerando a variação aleatória entre os estudos. Em seguida, um modelo misto incluindo os efeitos fixos de grupo genético e classe sexual e o efeito aleatório de estudo foram utilizados para avaliar modelos lineares (Eq. 6.1) e não lineares (Eq. 6.4) com ou sem intercepto, que melhor se ajustavam à relação entre cPCarc e ePCarc com base no critério de informação de Akaike (AIC). Essas análises foram realizadas com o procedimento MIXED do SAS (versão 9.4, Inst. Inc., Cary, NC), e o nível de 0,05 foi estabelecido como o nível crítico de probabilidade para um erro tipo I.

Não foram observados efeitos de grupo genético ou classe sexual (P>0,05) na limpeza total (kg). Além disso, uma equação linear sem intercepto apresentou o menor valor de AIC para predizer o cPCarc a partir do ePcarc. Ainda, nenhum efeito de grupo genético ou classe sexual foi observado (P>0,05) para a inclinação da equação. Assim, a equação desenvolvida para estimar cPCarc foi:

$$cPCarc\ (kg) = 0{,}9391 \times ePCarc \quad \text{Eq.6.3,}$$

onde cPCarc = peso de carcaça comercial (kg) e ePCarc = peso de carcaça experimental (kg).

Assim, após substituir o ePCarc na Eq.6.3, o cPCarc pode ser calculado da seguinte forma:

$$cPCarc\ (kg) = 0{,}9391 \times (0{,}41764 \times PCJ^{\beta 1}) \quad \text{Eq.6.4}$$

onde cPCarc = peso de carcaça comercial (kg); PCJ = peso corporal em jejum (kg); β1 = apresentado na Tabela 6.5.

A equação resultante para o cPCarc corrobora com os resultados observados para a limpeza ou toalete descritos, onde nenhum

efeito de grupo genético ou classe sexual foi observado para limpeza total e inclinação da equação do cPcarc. Embora possam ser observadas diferenças numéricas de algum componente individual da carcaça removido durante o procedimento de limpeza, machos não castrados e fêmeas zebuínas, e cruzados de corte apresentaram uma contribuição semelhante da limpeza total sobre o cPCarc (14,2 kg, em média).

Validação da equação de predição do peso da carcaça comercial

Um banco de dados independente contendo bovinos abatidos em condições experimental e comercial foi utilizado para validar a equação de cPCarc (Tabela 6.7). O conjunto de dados experimental foi composto por 1196 observações de 10 estudos, abrangendo machos não castrados e fêmeas zebuínas, e cruzados de corte. Neste caso, foi realizada a retirada dos mesmos componentes da carcaça descritos para o procedimento de limpeza descritos na seção anterior para obtenção dos valores de cPCarc observados na condição experimental. O conjunto de dados comercial foi composto por 30 médias de 1.431 bovinos, abrangendo machos não castrados, machos castrados e fêmeas zebuínas e cruzados de corte. O banco de dados usado na análise de validação não foi incluído no conjunto de dados usado para ajustar a equação testada.

Tabela 6.7 - Estatística descritiva dos dados utilizados para validar o modelo não linear para predição do peso da carcaça comercial de bovinos de corte

Item	Banco de dados	
	Experimental	Comercial
Estudos, n	10	-
Animais, n	1196	1431
Classe sexual, %		
Macho não castrado	99,0	70,4
Macho castrado	-	4,19
Fêmea	1,00	25,4
Grupo genético, %		
Zebu	90,7	47,9
Cruzado de corte	9,32	52,1
Peso corporal em jejum, kg	488 $\pm$ 53,5	454 $\pm$ 52,5

As análises de validação foram realizadas conforme descrito para a avaliação da Eq.6.1.

A análise de validação demonstrou que a Eq.6.4 estimou com acurácia e precisão o cPCarc, pois a hipótese nula de um respectivo intercepto e inclinação igual a 0 e 1 não foi rejeitada (P>0,05) e os valores de R e CCC foram próximos de 1 para ambos os bancos de dados experimental e comercial (Tabela 6.8; Figura 6.1).

No entanto, uma qualidade superior de ajuste foi observada quando o cPCarc foi avaliado com o conjunto de dados experimental, que apresentou os maiores valores de R^2 e CCC e o menor QMEP. Além disso, o desmembramento do QMEP mostrou que as proporções de SB foram de 0,01 e 18,3%, enquanto as proporções de MoF foram de 99,8 e 67,9% nas comparações dos bancos de dados experimental e comercial, respectivamente.

Tabela 6.8 - Média e estatística descritiva para a relação entre peso de carcaça comercial observado e predito de bovinos de corte pelo modelo não linear

Item*	Procedimento de abate			
	Experimental		Comercial	
	Observado	Predito	Observado	Predito
Média, kg	275	274	254	250
Desvio padrão, kg	33,6	32,8	20,6	21,1
Máximo, kg	378	373	278	291
Mínimo, kg	138	138	215	205
R^2	-	0,94	-	0,89
CCC	-	0,97	-	0,92
Regressão				
Intercepto				
Estimativa	-	1,64	-	23,7
Erro padrão	-	1,922	-	15,23
P-valor	-	0,394	-	0,131
Inclinação				
Estimativa	-	0,99	-	0,92
Erro padrão	-	0,007	-	0,061
P-valor	-	0,424	-	0,212
QMEP	-	64,8	-	65,4
SB	-	0,01	-	18,3
MaF	-	0,03	-	2,59
MoF	-	64,7	-	44,4

*R^2 = coeficiente de determinação; CCC = coeficiente de correlação e concordância; QMEP = quadrado médio do erro de predição; SB = viés; MoF = componente relativo ao modelo de flutuação aleatória; MaF = componente relativo à magnitude da flutuação aleatória.

O maior R^2 e CCC e o menor QMEP indicaram uma precisão e reprodutibilidade superiores na avaliação experimental. Além disso, os erros de predição para cPCarc foram menos associados com a tendência central (SB) em condições experimentais do que comerciais. Ou seja, os erros de predição para cPCarc em condições experimentais apresentaram uma proporção menor associada ao modelo do que aqueles para condições comerciais.

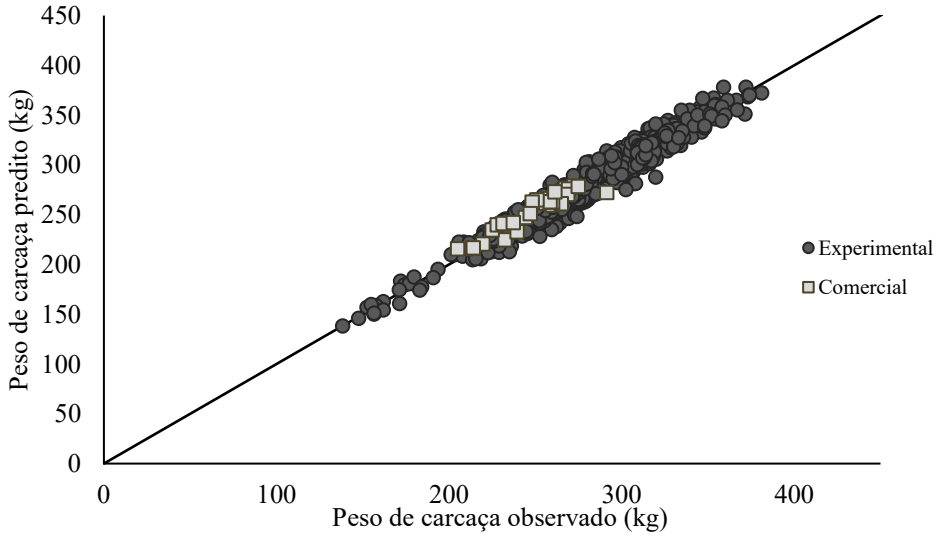


Figura 6.1 - Relação entre o peso de carcaça comercial observado e predito de bovinos de corte pelo modelo não linear.

A qualidade do ajuste das equações pode ser reduzida quando elas são aplicadas para estimar variáveis em condições diferentes daquelas usadas para gerar a equação. Embora a equação tenha sido proposta para predizer o cPCarc, todos os dados usados para gerar esta equação foram obtidos em condições experimentais, nas quais o procedimento de limpeza geralmente realizado em frigoríficos comerciais foi reproduzido para estimar o cPCarc a partir do ePCarc. Além disso, os animais não foram transportados, visto que o abatedouro estava localizado próximo ao confinamento experimental. Conforme discutido anteriormente, existem diferenças nos procedimentos de limpeza realizados nos diferentes frigoríficos, o que pode afetar o PCarc obtido. Diferentemente do procedimento de limpeza realizado no presente estudo, o cupim também pode ser retirado durante a limpeza de alguns frigoríficos, por exemplo. Além disso, o transporte de bovinos para frigoríficos comerciais pode levar a perdas de carcaça por lesões e/ou jejum, cuja incidência e/ou severidade parecem ser dependentes da distância percorrida, tipo de veículo, grupo genético e classe sexual do animal (Schwartzkopf-Genswein et al., 2016). Assim, variações no procedimento específico de manejo e limpeza realizado nos animais do banco de dados comercial e no banco de dados utilizado para gerar a equação podem ter contribuído para menor qualidade do ajuste ao se estimar o cPCarc em condições comerciais.

Além disso, o banco de dados experimental continha machos não castrados (99%) e fêmeas (1,00%), enquanto o comercial continha machos não castrados (70,4%), machos castrados (4,20%) e fêmeas (25,4%). Ainda, o banco de dados experimental utilizado na validação foi composto majoritariamente por bovinos Zebu (90,7%), enquanto a maioria dos bovinos do banco de dados comercial foram cruzados de corte (52,1%). Isso também pode explicar a melhor qualidade de ajuste da validação realizada com o banco de dados experimental, uma vez que machos não castrados e zebuínos representaram 88,5 e 74,5%, respectivamente, dos dados utilizados para desenvolver a equação de cPCarc proposta. Ademais, o banco de dados utilizado para gerar a equação de cPCarc não continha machos castrados. Contudo, a equação proposta pode ser considerada adequada para estimar cPCarc devido à sua boa precisão e acurácia em condições experimentais e comerciais.

ESTIMAÇÃO DA ESPESSURA DE GORDURA SUBCUTÂNEA

Assis (2021) propôs uma equação para estimar a EGS de bovinos de corte. Para isso, foi realizada uma meta-análise com dados de 744 bovinos de 21 estudos abrangendo machos não castrados, machos castrados e fêmeas de diferentes grupos genéticos (Zebu, cruzado de corte e cruzado de leite), abatidos em condições experimentais e comerciais (Tabela 6.9). O banco de dados continha informações individuais sobre PCJ, PCarc, EGS medida entre a 12ª e 13ª costelas e ganho médio diário (GMD) durante a fase de terminação.

Tabela 6.9 - Estatística descritiva dos dados usados para desenvolver modelo para predizer a espessura de gordura subcutânea de bovinos de corte

Item	n	Peso de carcaça (kg)	Ganho médio diário (kg/dia)	Espessura de gordura subcutânea (mm)
Estudos	21	-	-	-
Animais	744	248 ± 64,0	1,10 ± 0,413	4,04 ± 2,073
Classe sexual				
Macho não castrado	571	265 ± 53,9	1,18 ± 0,367	4,06 ± 1,949
Macho castrado	95	217 ± 64,4	0,80 ± 0,370	4,12 ± 2,442
Fêmea	78	162 ± 47,6	0,86 ± 0,532	3,73 ± 2,441
Grupo genético				
Zebu	589	257 ± 63,8	1,08 ± 0,398	4,27 ± 1,983
Cruzado de corte	41	209 ± 43,2	1,42 ± 0,331	5,16 ± 2,409
Cruzado de leite	114	219 ± 57,7	1,15 ± 0,463	2,47 ± 1,583
Condição de abate				
Comercial	342	288 ± 39,8	1,17 ± 0,361	4,88 ± 1,761
Experimental	402	215 ± 61,6	1,04 ±0,453	3,32 ± 2,049

Assim, um modelo misto incluindo os efeitos fixos de grupo genético, classe sexual e condição de abate (comercial ou experimental) e efeito aleatório de estudo foi testado para desenvolver a equação de EGS. A estrutura do componente de variância foi selecionada para determinar o modelo com melhor ajuste com base no AIC. Essas análises foram realizadas com o procedimento MIXED do SAS (versão 9.4, Inst. Inc., Cary, NC), e o nível de 0,05 foi estabelecido como o nível crítico de probabilidade para um erro tipo I. Mais detalhes sobre este estudo podem ser encontrados em Assis (2021).

Uma equação linear com intercepto apresentou o menor valor de AIC (AIC = 2840) para predizer a EGS a partir do GMD e PCarc. Além disso, não foram observados efeitos de grupo genético, classe sexual ou condição de abate (P>0,05) sobre o intercepto ou sobre o coeficiente associado à variável preditiva GMD. No entanto, interações entre grupo genético e classe sexual foram observadas para o coeficiente associado à variável PCarc. Assim, Assis (2021) sugeriu a seguinte equação para predizer a EGS:

$$EGS\ (mm) = -2{,}37 + 0{,}709 \times GMD + PCarc \times G \quad (R^2 = 0{,}49,\ RMSE = 1{,}67) \qquad \text{Eq.6.5,}$$

onde EGS = espessura de gordura subcutânea (mm), GMD = ganho médio diário (kg/dia), PCarc = peso de carcaça (kg), e G = interação entre os efeitos de grupo genético e classe sexual (se macho não castrado Zebu = 0,0238, se macho castrado Zebu = 0,03043, se fêmea Zebu = 0,03545, se macho não castrado cruzado de corte = 0,02705, se macho castrado cruzado de corte = 0,03368, se fêmea cruzada de corte = 0,03871, se macho não castrado cruzado de leite = 0,01770, se macho castrado cruzado de leite = 0,02433 e se fêmea cruzada de leite = 0,02935).

O modelo proposto é ajustado para o efeito de interação entre grupo genético e classe sexual, bem como para o efeito de taxa de ganho; portanto, a equação proposta considerou indiretamente os efeitos do nível de consumo e do tipo de dieta sobre o PCarc e EGS de bovinos. A variável GMD foi responsável pela maior parte da variação da EGS.

Validação da equação de predição da espessura de gordura subcutânea

Brasileiro (2023) avaliou a qualidade de ajuste da equação de predição da EGS proposta por Assis (2021). O banco de dados de validação foi composto por 43 médias de tratamentos oriundas de 16 trabalhos publicados na literatura (Tabela 6.10). O banco de dados usado na validação não foi incluído no banco de dados usado para ajustar a equação de predição da EGS.

Tabela 6.10 - Estatística descritiva dos dados utilizados para validar o modelo de predição da espessura de gordura de bovinos de corte descrito pela Eq.6.5

Item	n	Peso de carcaça, kg	Ganho médio diário, kg/d
Estudos	16	-	-
Animais	1142	278 ± 30,2	1,36 ± 0,248
Classe sexual			
Machos não castrados	1051	284 ± 24,5	1,38 ± 0,219
Machos castrados	91	237 ± 40,8	1,21 ± 0,407
Grupo genético			
Zebu	939	276 ± 29,5	1,34 ± 0,249
Cruzado de corte	203	287 ± 34,9	1,49 ± 0,212

A análise de validação foi realizada conforme descrito nas seções anteriores deste capítulo. A Eq. 6.5, proposta por Assis (2021), estimou acuradamente a EGS de bovinos de corte (Tabela 6.11; Figura 6.2), pois a hipótese nula de um respectivo intercepto e inclinação igual a 0 e 1 (P > 0,05) não foi rejeitada; e apresentou alto CCC (CCC = 0,76). Ainda, os erros de predição a EGS foram majoritariamente (mais de 71% do QMEP) associados aos erros aleatórios (MoF), em vez da tendência central (SB) e devido à regressão linear ou viés sistemático (MaF).

.

Tabela 6.11 - Média e estatística descritiva para a relação entre a espessura de gordura subcutânea observada e predita de bovinos de corte

Item*	Espessura de gordura subcutânea	
	Observado	Predito
Média, kg	5,18	5,53
Desvio padrão, kg	0,98	0,903
Máximo, kg	7,55	7,61
Mínimo, kg	3,04	3,49
R^2	-	0,65
CCC	-	0,76
Regressão		
Intercepto		
Estimativa	-	0,29
Erro padrão	-	0,556
P-valor	-	0,610
Inclinação		
Estimativa	-	0,89
Erro padrão	-	0,099
P-valor	-	0,256
QMEP	-	0,45
SB	-	0,12
MaF	-	0,01
MoF	-	0,32

*R^2 = coeficiente de determinação; CCC = coeficiente de correlação e concordância; QMEP = quadrado médio do erro de predição; SB = viés; MoF = componente relativo ao modelo de flutuação aleatória; MaF = componente relativo à magnitude da flutuação aleatória.

A equação proposta por Assis (2021), Eq.6.5, estimou com acurácia e precisão e, portanto, é recomendada para estimar a EGS de machos não castrados e castrados zebuínos e cruzados de corte. A equação de EGS pode contribuir para a tomada de decisão na pecuária de corte, permitindo a produção de carcaças mais homogêneas. Contudo, mais estudos devem ser realizados para avaliar a qualidade de ajuste para predizer a EGS de outras categorias de bovinos, como machos cruzados de leite e fêmeas zebuínas e cruzadas de corte.

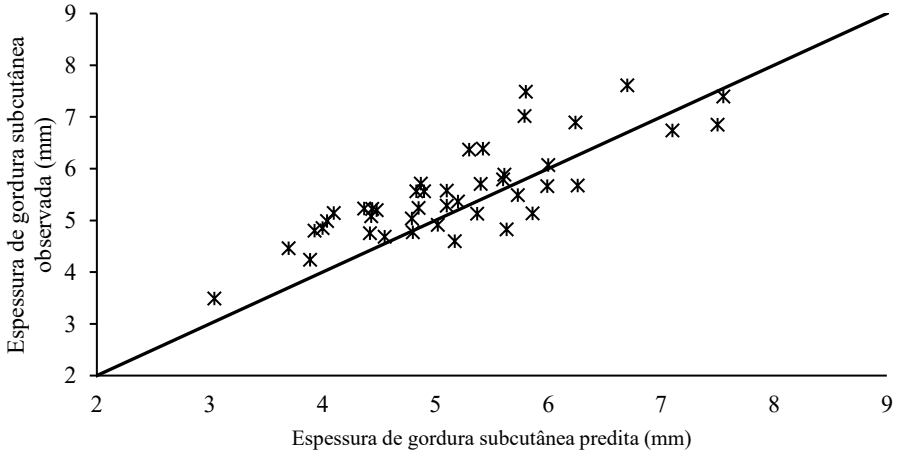


Figura 6.2 - Relação entre a espessura de gordura subcutânea observada e predita de bovinos de corte.

PERDA DE PESO DURANTE O TRANSPORTE

Andrade (2021) avaliou os efeitos do transporte sobre a perda de peso total (kg) e a taxa (kg/h) de perda de peso corporal, bem como a taxa fracional de perda de peso corporal (% peso corporal/h) de bovinos de corte em condições brasileiras. Para isso, foram utilizados 20 machos Nelore não castrados em crescimento. Resumidamente, todos os animais foram pesados (peso antes do transporte), transportados por 8,45 h em um caminhão comercial de bovinos por 320,9 km e pesados imediatamente após o término do transporte (peso após o transporte). Em seguida, foram calculadas a perda de peso total (kg), a perda de peso em função da duração do transporte (kg/h) e a taxa fracional de perda de peso (% PC/h; Tabela 6.12).

Tabela 6.12 - Perda de peso de bovinos de corte durante o transporte no Brasil, adaptada de Andrade (2020)

Peso corporal (PC)		Perda de peso		
Antes do transporte (kg)	Depois do transporte (kg)	kg	kg/h	% PC/h
274	261	13,0	1,54	0,56
272	265	7,00	0,83	0,31
255	244	11,0	1,3	0,51
250	235	15,0	1,78	0,71
236	229	7,50	0,89	0,38
265	253	12,0	1,42	0,54
273	259	14,0	1,66	0,61
265	250	15,0	1,78	0,67
246	234	12,0	1,42	0,58
241	227	14,0	1,66	0,69
300	283	17,0	2,01	0,67
297	280	17,0	2,01	0,68
252	243	9,00	1,07	0,42
233	221	12,0	1,42	0,61
245	229	16,0	1,89	0,77
302	287	15,0	1,78	0,59
250	239	11,0	1,3	0,52
278	263	15,0	1,78	0,64
230	225	5,00	0,59	0,26
235	223	12,0	1,42	0,60
Média		12,5	1,48	0,57

Em média, a perda de peso experimentada pelos animais foi de: 12,5 kg, 1,48 kg/h e 0,57 % PC/h. Considerando a duração total do transporte (8,45 h), os machos Nelore não castrados em crescimento do estudo de Andrade (2021) perderam aproximadamente 4,80 % PC, em média.

Schwartzkopf-Genswein e Grandin (2019) resumiram estudos realizados na América do Norte, avaliando os efeitos do transporte sobre a produtividade e saúde de bovinos. Os autores relataram que durações de transporte entre 2 e 48 horas resultaram em valores de perda de peso entre 0 e 8% PC. Muitos fatores, como categoria animal, manejo durante embarque e desembarque, experiência e treinamento dos motoristas, densidade do transporte, condições ambientais e do veículo e distância e duração do transporte foram associados à severidade da perda de peso.

González et al. (2012), avaliando os fatores que afetam a redução do peso de bovinos durante o transporte, relataram perda de PC de 4,90 a 7,94 % PC em bovinos (bezerros, em crescimento, em terminação e descarte) transportados por longas distâncias (> 400 km) durante 11,6 a 14,9 h no Canadá. Ainda, os autores descobriram que bezerros, bovinos em crescimento e de descarte, bem como bovinos embarcados durante a tarde e início da noite, parecem ser mais afetados pelo transporte do que bovinos em terminação e

carregados durante a noite e pela manhã, respectivamente, devido ao maior jejum.

Além disso, perda de peso de 4,6; 6,5 e 7,0% do PC foram observadas em machos castrados transportados por 5, 10 e 15 h, respectivamente (Warriss et al., 1995). Estudos realizados no Chile corroboram com os resultados descritos anteriormente, onde foram relatadas perdas de peso de cerca de 3,5 e 12,5 % PC em bezerros de corte desmamados, transportados durante viagens curtas (3 h) e longas (63 h), respectivamente (Werner et al., 2013; Bravo et al., 2018).

Assim, os bovinos estarão sujeitos a perda peso quando forem transportados, porém, a taxa de perda de peso (% PC/h) durante o transporte parece ser variável, em que a maior proporção de perda de PC ocorrerá nas primeiras horas de privação de alimentação e água (Knowles et al., 1999; Coffey et al., 2001). As taxas de perda de peso calculadas por Warriss et al. (1995) foram de 0,92, 0,65 e 0,46 % PC/h para machos castrados transportados por 5, 10 e 15 h, respectivamente, enquanto Andrade (2021) descreveu uma taxa média de perda 0,57 % PC/h para machos Nelore não castrados que viajaram por 8,45 h.

Estudos avaliando os efeitos do transporte sobre o desempenho produtivo (principalmente a perda de PC) de bovinos de corte em condições brasileiras são escassos. No entanto, os resultados de Andrade (2021) parecem corroborar com a discussão realizada anteriormente ao longo deste capítulo. Entretanto, deve-se ter cautela ao considerar os resultados aqui apresentados, pois a perda de peso de bovinos devido ao transporte depende de muitos fatores, como categoria animal, manejo e condições ambientais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As equações apresentadas no presente capítulo estimaram corretamente e, portanto, são recomendadas para estimar o PCarc e a EGS de bovinos de corte. Espera-se que essas equações contribuam para a produção de carcaças mais homogêneas e auxiliem na tomada de decisão no sistema de produção de bovinos de corte.

SUMÁRIO DAS EQUAÇÕES E ESTIMATIVAS

As equações descritas abaixo são recomendadas para predição do PCarc e EGS de bovinos de corte.

Peso de carcaça:
Equação linear

$$PCarc\ (kg) = -11{,}03 + CA + (0{,}6094 + CS + GG) \times PCJ \quad \text{Eq. 6.1,}$$

onde PCarc = peso da carcaça; CA = condições de abate, se frigorífico comercial = -10,98, se abatedouro experimental = 0; CS = classe sexual, se macho castrado = 0, se macho não castrado = 0,008169 e se fêmea = -0,00612; GG = grupo genético, se Zebu = 0, se cruzado de leite = -0,03301, se cruzado de corte = -0,01595.

Equação não linear

$$cPCarc\ (kg) = 0{,}9391 \times (0{,}41764 \times PCJ^{\beta 1}) \quad \text{Eq. 6.4,}$$

onde cPCarc = peso de carcaça comercial (kg); PCJ = peso corporal em jejum (kg); β1 = efeitos de grupo genético e classe sexual, se macho não castrado Zebu = 1,0583, se macho não castrado cruzado de corte = 1,0561, se macho não castrado cruzado de leite = 1,0479, se macho castrado Zebu = 1,0549, se macho castrado cruzado de corte = 1,0527, se macho castrado cruzado de leite = 1,0445, se fêmea Zebu = 1,0533, se fêmea cruzada de corte = 1,0511, e se fêmea cruzada de leite = 1,0429.

Espessura de gordura subcutânea:

$$EGS\ (mm) = -2{,}37 + 0{,}709 \times GMD + PCarc \times G \quad \text{Eq.6.5,}$$

onde EGS = espessura de gordura subcutânea (mm), GMD = ganho médio diário (kg/d), PCarc = peso de carcaça (kg), e G = interação entre os efeitos de grupo genético e classe sexual (se macho não castrado Zebu = 0,0238, se macho castrado Zebu = 0,03043, se fêmea Zebu = 0,03545, se macho não castrado cruzado de corte = 0,02705, se macho castrado cruzado de corte = 0,03368, fêmea cruzada de corte = 0,03871, se macho não castrado cruzado de leite = 0,01770, se macho castrado cruzado de leite = 0,02433 e se fêmea cruzada de leite = 0,02935).

Nas Tabelas 6.13 (equação PCarc linear, Eq.6.1), 6.14 (equação PCarc não linear, Eq.6.4) e 6.15 (equação EGS, Eq.6.5), são apresentadas estimativas do PCarc e EGS de bovinos Zebu, cruzados de corte e cruzados de leite de diferentes classes sexuais, abatidos em condições experimentais e comerciais.

Tabela 6.13 - Estimativas de peso de carcaça[1] de bovinos de corte de diferentes pesos corporais em jejum (PCJ), a partir da Eq. 6.1, Benedeti et al. (2021)

Item	Experimental[2]			Comercial[2]		
	Zebu	Cruzado de corte	Cruzado de leite	Zebu	Cruzado de corte	Cruzado de leite
350 kg de PCJ						
Fêmea, kg	200	195	189	189	184	178
Macho castrado, kg	202	197	191	191	186	180
Macho não castrado, kg	205	200	194	194	189	183
450 kg de PCJ						
Fêmea, kg	260	253	246	249	242	235
Macho castrado, kg	263	256	248	252	245	237
Macho não castrado, kg	267	260	252	256	249	241
550 kg de PCJ						
Fêmea, kg	321	312	303	310	301	292
Macho castrado, kg	324	315	306	313	304	295
Macho não castrado, kg	329	320	310	318	309	299

[1]PCarc (kg) = -11,03 + CA + (0,6094 + CS + GG) × PCJ; onde PCarc = peso da carcaça; CA = condições de abate, se frigorífico comercial = -10,98, se abatedouro experimental = 0; CS = classe sexual, se macho castrado = 0, se macho não castrado = 0.008169 e se fêmea = -0,00612; GG = grupo genético, se Zebu = 0, se cruzado de leite = -0,03301, se cruzado de corte = -0,01595; PCJ = peso corporal em jejum.
[2]Experimental = dados independentes de animais abatidos em condições experimentais; Comercial = dados independentes de animais abatidos em frigorífico comercial.

Tabela 6.14 - Estimativas de peso de carcaça[1] de bovinos de corte de diferentes pesos corporais em jejum (PCJ), a partir das Eq. 6.2 e 6.3

Item	Experimental[2]			Comercial[2]		
	Zebu	Cruzado de corte	Cruzado de leite	Zebu	Cruzado de corte	Cruzado de leite
350 kg de PCJ						
Fêmea, kg	200	197	188	188	185	176
Macho castrado, kg	202	199	190	189	187	178
Macho não castrado, kg	206	203	194	193	191	182
450 kg de PCJ						
Fêmea, kg	260	257	244	244	241	229
Macho castrado, kg	263	259	247	247	244	232
Macho não castrado, kg	268	265	252	252	249	236
550 kg de PCJ						
Fêmea, kg	322	317	301	302	298	283
Macho castrado, kg	325	320	304	305	301	286
Macho não castrado, kg	332	327	311	312	307	292

[1]cPCarc (kg) = 0,9391 × (0,41764 × $PCJ^{\beta 1}$); onde cPCarc = peso de carcaça comercial (kg); PCJ = peso corporal em jejum (kg); β1 = efeitos de grupo genético e classe sexual, se macho não castrado Zebu = 1,0583, se macho não castrado cruzado de corte = 1,0561, se macho não castrado cruzado de leite = 1,0479, se macho castrado Zebu = 1,0549, se macho castrado cruzado de corte = 1,0527, se macho castrado cruzado de leite = 1,0445, se fêmea Zebu = 1,0533, se fêmea cruzada de corte = 1,0511, e se fêmea cruzada de leite = 1,0429.
[2]cPCarc = 0,9391 × ePCarc, onde cPCarc = Peso de carcaça comercial (kg).

Tabela 6.15 - Estimativas da espessura de gordura subcutânea[1] de bovinos de corte com diferentes pesos de carcaça (cPCarc) e ganho médio diário (GMD), a partir da Eq. 6.5

Item	Zebu			Cruzado de corte			Cruzado de leite		
cPCarc, kg	200	260	320	200	260	320	200	260	320
0,5 kg de GMD									
Fêmea, mm	5,07	7,20	9,33	5,73	8,05	10,37	3,85	5,62	7,38
Macho castrado, mm	4,07	5,90	7,72	4,72	6,74	8,76	2,85	4,31	5,77
Macho não castrado, mm	2,74	4,17	5,60	3,39	5,02	6,64	1,52	2,59	3,65
1,0 kg de GMD									
Fêmea, mm	5,43	7,56	9,68	6,08	8,40	10,73	4,21	5,97	7,73
Macho castrado, mm	4,43	6,25	8,08	5,08	7,10	9,12	3,21	4,66	6,12
Macho não castrado, mm	3,10	4,53	5,96	3,75	5,37	7,00	1,88	2,94	4,00
1,5 kg de GMD									
Fêmea, mm	5,78	7,91	10,04	6,44	8,76	11,08	4,56	6,32	8,09
Macho castrado, mm	4,78	6,61	8,43	5,43	7,45	9,47	3,56	5,02	6,48
Macho não castrado, mm	3,45	4,88	6,31	4,10	5,73	7,35	2,23	3,30	4,36

[1] EGS (mm) = -2,37 + 0,709 × GMD + PCarc × G; onde EGS = espessura de gordura subcutânea (mm), GMD = ganho médio diário (kg/d), PCarc = peso de carcaça (kg), e G = interação entre os efeitos de grupo genético e classe sexual (se macho não castrado Zebu = 0,0238, se macho castrado Zebu = 0,03043, se fêmea Zebu = 0,03545, se macho não castrado cruzado de corte = 0,02705, se macho castrado cruzado de corte = 0,03368, fêmea cruzada de corte = 0,03871, se macho não castrado cruzado de leite = 0,01770, se macho castrado cruzado de leite = 0,02433 e se fêmea cruzada de leite = 0,02935).

REFERÊNCIAS

Abraham, H. C., Z. L. Carpenter, G. T. King, and O. D. Butler. 1968. Relationships of carcass weight, conformation and carcass measurements and their use in predicting beef carcass cutability. *J Anim Sci*. 27:604–610. doi:0.2527/jas1968.273604x.

Agricultural Research Council. *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. 1980. Commonwealth Agricultural Bureau. The Gresham Press, London.

Alves, D. D., M. F. Paulino, A. A. Backes, S. de C. Valadares Filho, and L. N. Rennó. 2004. Características de carcaça de bovinos zebu e cruzados holandês-zebu (F1) nas fases de recria e terminação. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 33:1274–1284. doi:10.1590/S1516-35982004000500020.

Amaral, P. M., L. D. S. Mariz, D. Zanetti, L. F. Prados, M. I. Marcondes, S. A. Santos, E. Detmann, A. P. Faciola, and S. C. Valadares Filho. 2018. Effect of dietary protein content on performance, feed efficiency and carcass traits of feedlot Nellore and Angus × Nellore cross cattle at different growth stages. *Journal of Agricultural Science.* 156:110–117. doi:10.1017/S0021859617000958.

Andrade, D. R. de. 2021. *Desempenho e exigências nutricionais de bovinos alimentados com dietas contendo diferentes blends vitamínicos*. Available from: https://locus.ufv.br//handle/123456789/28052

Arboitte, M. Z., J. Restle, D. C. Alves Filho, L. L. Pascoal, P. S. Pacheco, and D. C. Soccal. 2004. Características da carcaça de novilhos 5/8 Nelore-3/8 Charolês abatidos em diferentes estádios de desenvolvimento. *Revista Brasileira de Zootecnia.* 33:969–977. doi:10.1590/S1516-35982004000400017.

Assis, G. J. de F. 2021. *Análise de imagens na caracterização biométrica e avaliação da carcaça de bovinos.* Tese (Doutorado) Programa de Pós Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

Benedeti, P. D. B., S. C. Valadares Filho, M. L. Chizzotti, M. I. Marcondes, and F. A. de S. Silva. 2021. Development of equations to predict carcass weight, empty body gain, and retained energy of Zebu beef cattle. *Animal.* 15. doi:10.1016/j.animal.2020.100028.

Berg, R. T., and R. M. Butterfield. 1976. *New concepts of cattle growth*. Macarthur Press, Sydney.

Bertrand, J. K., R. L. Willham, and P. J. Berger. 1983. Beef, Dairy and Beef × Dairy Carcass Characteristics. *Journal Animal Science*. 57:1440–1448. doi:10.2527/jas1983.5761440x.

Bethancourt-Garcia, J. A., R. Z. Vaz, F. N. Vaz, W. B. Silva, L. L. Pascoal, F. S. Mendonça, C. C. da Vara, A. J. C. Nuñez, and J. Restle. 2019. Pre-slaughter factors affecting the incidence of severe bruising in cattle carcasses. *Livestock Science*. 222:41–48. doi:10.1016/j.livsci.2019.02.009.

Bhatt, N., N. Singh, A. Mishra, D. Kandpal, R. Rajneesh, and S. Jamwal. 2021. A detailed review of transportation stress in livestock and its mitigation techniques. *International Journal of Livestock Research.* 1. doi:10.5455/ijlr.20201109102902.

Bravo, V., C. Gallo, and G. Acosta-Jamett. 2018. Effects of short transport and prolonged fasting in beef calves. *Animals*. 8. doi:10.3390/ani8100170.

Bruns, K. W., R. H. Pritchard, and D. L. Boggs. 2004. The relationships among body weight, body composition, and intramuscular fat content in steers1. *Journal Animal Science*. 82:1315–1322. doi:10.2527/2004.8251315x.

Brasileiro, L.A.A., 2023. *Avaliação de equações na predição de peso de carcaça e espessura de gordura subcutânea em bovinos.* Dissertação (Mestrado). Programa de Mestrado Profissional em Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

Camfield, P. K., A. H. Brown, P. K. Lewis, L. Y. Rakes, and Z. B. Johnson. 1996. *Effects of Frame Size and Time-on-Feed on Carcass Characteristics, Sensory Attributes, and Fatty Acid Profiles of Steers*.

Clímaco, S. M., E. L. de A. Ribeiro, I. Y. Mizubuti, L. das D. F. da Silva, M. A. A. de F. Barbosa, and A. M. Bridi. 2011. Desempenho e características de carcaça de bovinos de corte de quatro grupos genéticos terminados em confinamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 40:1562–1567.

Coffey, K. P., W. K. Coblentz, J. B. Humphry, and F. K. Brazle. 2001. REVIEW: Basic Principles and Economics of Transportation Shrink in Beef Cattle. *Prof Animal Science*. 17:247–255. doi:10.15232/S1080-7446(15)31636-3.

Costa, D., J. B. R. de Abreu, R. de C. Mourão, J. C. G. da Silva, V. C. Rodrigues, J. C. Sousa, and R. A. F. de S. Marques. 2007. Características de carcaça de novilhos inteiros Nelore e F1 Nelore × Holandês. *Ciência Animal Brasileira*. 8:685–694.

Costa, E. C. da, J. Restle, F. N. Vaz, D. C. Alves Filho, R. A. L. C. Bernardes, and F. Kuss. 2002. Características da Carcaça de Novilhos Red Angus Superprecoces Abatidos com Diferentes Pesos. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 31:119–128. doi:10.1590/S1516-35982002000100014.

Crouse, J. D., L. v. Cundiff, R. M. Koch, M. Koohmaraie, and S. C. Seideman. 1989. Comparisons of and Inheritance for Carcass Beef Characteristics and Meat Palatability. *Journal Animal Science*. 67:2661. doi:10.2527/jas1989.67102661x.

Cruz, G. M. da, R. R. Tullio, S. N. Esteves, M. M. de Alencar, and C. A. Cordeiro. 2004. Peso de abate de machos não-castrados para produção do bovino jovem. 2. Peso, idade e características da carcaça. *Revista Brasileira de Zootecnia.* 33:646–657. doi:10.1590/S1516-35982004000300013.

Domínguez-Viveros, J., F. A. Rodríguez-Almeida, G. N. Aguilar-Palma, F. Castillo-Rangel, J. F. Saiz-Pineda, and C. Villegas-Gutiérrez. 2020. Fitting of non-linear models to characterize the growth of five zebu cattle breeds. *Livestock Science*. 242. doi:10.1016/j.livsci.2020.104303.

Euclides Filho, K., V. P. B. Euclides, G. R. Figueiredo, and et al. 1997. Avaliação de animais Nelore e de seus mestiços com Charolês, Fleckvieh, e Chianina, em três dietas. 2. Características de carcaça. *Revista Brasileira de Zootecnia.* 26:73–79.

Fernandes, H. J., M. F. Paulino, R. G. R. Martins, S. de C. Valadares Filho, R. de A. Torres, L. M. Paiva, and A. T. S. da Silva. 2004. Composição corporal de garrotes inteiros de três grupos genéticos nas fases de recria e terminação. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 33:1581–1590. doi:10.1590/S1516-35982004000600026.

Fitzhugh, H. A., C. R. Long, and T. C. Cartwright. 1975. Systems Analysis of Sources of Genetic and Environmental Variation in Efficiency of Beef Production: Heterosis and Complementarity. *Journal Animal Science*. 40:421–432. doi:10.2527/jas1975.403421x.

Fortin, A., S. Simpfendorfer, J. T. Reid, H. J. Ayala, R. Anrique, and A. F. Kertz. 1980. Effect of level of energy intake and influence of breed and sex on the chemical composition of cattle. *Journal Animal Science*. 51:604–614. doi:10.2527/jas1980.513604x.

Gesualdi Júnior, A., M. F. Paulino, S. de C. Valadares Filho, J. F. Coelho da Silva, C. M. Veloso, and P. R. Cecon. 2000. Níveis de concentrado na dieta de novilhos F1 Limousin x Nelore: características de carcaça. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 29:1467–1473. doi:10.1590/S1516-35982000000500027.

Gomide, L. A. de M., E. M. Ramos, and P. R. Fontes. 2014. *Tecnologia de Abate e tipificação de carcaças*. Segunda. Editora UFV, Viçosa.

González, L. A., K. S. Schwartzkopf-Genswein, M. Bryan, R. Silasi, and F. Brown. 2012. Factors affecting body weight loss during commercial long haul transport of cattle in North America1. *Journal Animal Science*. 90:3630–3639. doi:10.2527/jas.2011-4786.

Gray, E. F., F. A. Thrift, and C. W. Absher. 1978. Heterosis Expression for Preweaning Traits under Commercial Beef Cattle Conditions. *Journal Animal Science*. 47:370–374. doi:10.2527/jas1978.472370x.

Hassen, A., D. E. Wilson, and G. H. Rouse. 1998. *Evaluation of Carcass, Live, and Real-Time Ultrasound Measures in Feedlot Cattle*: I. Assessment of Sex and Breed Effects.

Hicks, R. B., F. N. Owens, D. R. Gill, and et al. 1987. *The effect of slaughter date on carcass gain and carcass characteristics of feedlot steers*.

Huertas, S. M., F. van Eerdenburg, A. Gil, and J. Piaggio. 2015. Prevalence of carcass bruises as an indicator of welfare in beef cattle and the relation to the economic impact. *Vet Med Sci*. 1:9–15. doi:10.1002/vms3.2.

Huertas, S. M., J. Piaggio, S. Huertas, A. Gil, and F. van Eerdenburg. 2010. Transportation of beef cattle to slaughterhouses and how this relates to animal welfare and carcase bruising in an extensive production system. *Animal* Welfare. 19:281–285.

Jones, S. D. M., A. L. Schaefer, A. K. W. Tong, and B. C. Vincent. 1988. The effects of fasting and transportation on beef cattle. 2. Body component changes, carcass composition and meat quality. *Livestock Prodoction Science*. 20:25–35. doi:10.1016/0301-6226(88)90051-6.

Jorge, A. M., C. A. de A. Fontes, M. F. Paulino, P. Gomes Júnior, and J. N. Ferreira. 1999. Desempenho produtivo de animais de quatro raças zebuínas, abatidos em três estádios de maturidade: 2. características da carcaça. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 28:381–387. doi:10.1590/S1516-35981999000200023.

Knowles, T. G., S. N. Brown, J. E. Edwards, A. J. Phillips, and P. D. Warriss. 1999. Effect on young calves of a one-hour feeding stop during a 19-hour road journey. *Veterinary Record*. 144:687–692. doi:10.1136/vr.144.25.687.

Lage, J. F., P. V. R. Paulino, S. C. V. Filho, E. J. O. Souza, M. S. Duarte, P. D. B. Benedeti, N. K. P. Souza, and R. B. Cox. 2012. Influence of genetic type and level of concentrate in the finishing diet on carcass and meat quality traits in beef heifers. *Meat Science*. 90:770–774. doi:10.1016/j.meatsci.2011.11.012.

Leme, P. R., S. da L. e Silva, A. S. C. Pereira, S. M. Putrino, D. P. D. Lanna, and J. C. M. Nogueira Filho. 2003. Utilização do bagaço de cana-de-açúcar em dietas com elevada proporção de concentrados para novilhos Nelore em confinamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 32:1786–1791. doi:10.1590/S1516-35982003000700029.

Lôbo, R. N. B., Jo. A. M. Martins, C. H. M. Malhado, R. M. Filho, and A. A. A. Moura. 2002. Correlaçõess entre características de crescimento, abate e medidas corporais em tourinhos da raça Nelore. *Revista Ciência Agronômica*. 33:5–12.

Luchiari Filho, A. 2000. *Pecuária da carne bovina*. R Vieira Gráfica e Editora, São Paulo.

Marcondes, M. I., S. de C. Valadares Filho, I. M. de Oliveira, P. V. R. Paulino, R. F. D. Valadares, and E. Detmann. 2011. Eficiência alimentar de bovinos puros e mestiços recebendo alto ou baixo nível de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 40:1313–1324. doi:10.1590/S1516-35982011000600021.

Marques, R. S., R. F. Cooke, C. L. Francisco, and D. W. Bohnert. 2012. Effects of twenty-four hour transport or twenty-four hour feed and water deprivation on physiologic and performance responses of feeder cattle 1. *Journal Animal Science*. 90:5040–5046. doi:10.2527/jas2012-5425.

May, S. G., H. G. Dolezal, D. R. Gill, F. K. Ray, and D. S. Buchanan. 1992. Effect of days fed, carcass grade traits, and subcutaneous fat removal on postmortem muscle characteristics and beef palatability. *Journal Animal Science*. 70:444–453. doi:10.2527/1992.702444x.

Mendonça, F. S., R. Z. Vaz, W. S. Leal, J. Restle, L. L. Pascoal, M. B. Vaz, and G. D. Farias. 2016. Genetic group and horns presence in bruises and economic losses in cattle carcasses. *Semina: Ciencias Agrarias*. 37:4265–4274. doi:10.5433/1679-0359.2016v37n6p4265.

Mendonça, F. S., R. Z. Vaz, F. N. Vaz, W. S. Leal, I. D. B. Silveira, J. Restle, A. A. Boligon, and F. F. Cardoso. 2019. Causes of bruising in carcasses of beef cattle during farm, transport, and slaughterhouse handling in Brazil. *Animal Science Journal*. 90:288–296. doi:10.1111/asj.13151.

Moreira, A. D., G. R. Siqueira, J. F. Lage, J. M. B. Benatti, M. H. Moretti, G. Z. Miguel, I. M. de Oliveira, and F. D. de Resende. 2018. Castration methods in crossbred cattle raised on tropical pasture. *Animal Production Science*. 58:1307. doi:10.1071/AN16580.

NASEM. 2016. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Eighth Rev. The National Academies Press, Washington, DC.

Neto, O. C., V. C. Rodrigues, D. Pereira Borges Da Costa, F. Dias Medeiros, D. H. Vieira, A. M. Camargo, and F. Teixeira De Pádua. 2010. Avaliação de algumas características da carcaça de bovinos e bubalinos. *Revista Brasileira de Medicina Veterinária*. 32:151–160.

Nour, A. Y. M., M. L. Thonney, and J. R. Stouffer. 1981. Muscle , fat and bone in serially slaughtered large dairy or small beef cattle fed corn or corn silage diets in one of two locations. 52:512–521. doi:10.2527/jas1981.523512x.

Nour, A. Y. M., M. L. Thonney, J. R. Stouffer, and W. R. C. White Jr. 1983. Changes in carcass weight and characteristics with increasing weight of large and small cattle. *Journal Animal Science*. 57:1154–1165. doi:10.2527/jas1983.5751154x.

Oliveira, E. A. de, A. A. M. Sampaio, A. R. M. Fernandes, W. Henrique, R. V. Oliveira, and G. M. Ribeiro. 2009. Desempenho e características de carcaça de tourinhos Nelore e Canchim terminados em confinamento recebendo dietas com cana-de-açúcar e dois níveis de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 38:2465–2472. doi:10.1590/S1516-35982009001200024.

Oliveira, I. M. de, P. V. R. Paulino, S. de C. Valadares Filho, E. Detmann, M. F. Paulino, L. A. de M. Gomide, M. de S. Duarte, and V. R. M. Couto. 2011. Carcass traits of Nellore, F1 Simmental × Nellore and F1 Angus × Nellore steers fed at maintenance or ad libitum with two concentrate levels in the diet. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 40:2938–2946. doi:10.1590/S1516-35982011001200042.

Owens, F. N., P. Dubeski, and C. F. Hanson. 1993. Factors that alter the growth and development of ruminants. *Journal Animal Science*. 71:3138–3150. doi:10.2527/1993.71113138x.

Paranhos da Costa, M. J. R., S. M. Huertas, C. Gallo, and O. A. Dalla Costa. 2012. Strategies to promote farm animal welfare in Latin America and their effects on carcass and meat quality traits. *Meat Science*. 92:221–226. doi:10.1016/j.meatsci.2012.03.005.

Pascoal, L. L., F. N. Vaz, R. Z. Vaz, J. Restle, P. S. Pacheco, and J. P. A. dos Santos. 2011. Relações comerciais entre produtor, indústria e varejo e as implicações na diferenciação e precificação de carne e produtos bovinos não-carcaça. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 40:82–92.

Paulino, P. V. R., S. de C. Valadares Filho, E. Detmann, R. F. D. Valadares, M. A. Fonseca, and M. I. Marcondes. 2009. Deposição de tecidos e componentes químicos corporais em bovinos Nelore de diferentes classes sexuais. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 38:2516–2524. doi:10.1590/S1516-35982009001200030.

Paulino, P. V. R., S. de C. Valadares Filho, E. Detmann, R. F. D. Valadares, M. A. Fonseca, R. M. L. Véras, and D. M. Oliveira. 2008. Desempenho produtivo de bovinos Nelore de diferentes classes sexuais alimentados com dietas contendo dois níveis de oferta de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 37:1079–1087. doi:10.1590/S1516-35982008000600019.

Plasse, D., H. Fossi, R. Hoogesteijn, O. Verde, R. Rodríguez, C. M. Rodríguez, and P. Bastidas. 1995. Growth of F1Bos taurus × Bos indicus versus Bos indicus beef cattle in Venezuela. I. Weights at birth, weaning and 18 months. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 112:117–132. doi:10.1111/j.1439-0388.1995.tb00548.x.

Restle, J., L. F. G. de Menezes, M. Z. Arboitte, L. L. Pascoal, P. S. Pacheco, and J. T. Pádua. 2005. Características das partes não-integrantes da carcaça de novilhos 5/8Nelore 3/8Charolês abatidos em três estádios de desenvolvimento. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 34:1339–1348. doi:10.1590/S1516-35982005000400031.

Ribeiro, T. R., J. C. Pereira, M. V. M. de Oliveira, A. C. de Queiroz, P. R. Cecon, M. I. Leão, and R. C. de A. e Melo. 2001. Características da Carcaça de Bezerros Holandeses para Produção de Vitelos Recebendo Dietas com Diferentes Níveis de Concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 30:2154–2162. doi:10.1590/S1516-35982001000800026.

Rocha Junior, V. R., F. V. e Silva, R. C. de Barros, S. T. dos Reis, M. D. da Costa, A. S. Souza, L. A. Caldeira, T. S. de Oliveira, and L. L. dos S. Oliveira. 2010. Desempenho e características de carcaça de bovinos Nelore e mestiços terminados em confinamento. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*. 11:865–875.

Schwartzkopf-Genswein, K., J. Ahola, L. Edwards-Callaway, D. Hale, and J. Paterson. 2016. SYMPOSIUM PAPER: Transportation issues affecting cattle well-being and considerations for the future. *Professional Animal Scientist*. 32:707–716. doi:10.15232/pas.2016-01517.

Schwartzkopf-Genswein, K., and T. Grandin. 2019. Cattle transport in North America. In: *Livestock handling and transport*. CABI, UK. p. 153–183.

Silva, F. A. de S., S. de C. Valadares Filho, L. F. Costa e Silva, J. G. Fernandes, B. C. Lage, M. L. Chizzotti, and T. L. Felix. 2021. Nutrient requirements and evaluation of equations to predict chemical body composition of dairy crossbred steers. *Animal Bioscience*. 34:558–566. doi:10.5713/ajas.19.0829.

Silva, S. da L. e, P. R. Leme, A. S. C. Pereira, and S. M. Putrino. 2003. Correlações entre características de carcaça avaliadas por ultra-som e pós-abate em novilhos Nelore, alimentados com altas proporções de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 32:1236–1242. doi:10.1590/S1516-35982003000500026.

Silva, S. da L. e, P. R. Leme, S. M. Putrino, and D. P. D. Lanna. 2006. Alterações nas características de carcaça de tourinhos Nelore, avaliadas por ultra-som. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 35:607–612. doi:10.1590/S1516-35982006000200038.

Strappini, A. C., K. Frankena, J. H. M. Metz, B. Gallo, and B. Kemp. 2010. Prevalence and risk factors for bruises in Chilean bovine carcasses. *Meat Science*. 86:859–864. doi:10.1016/j.meatsci.2010.07.010.

Strappini, A. C., K. Frankena, J. H. M. Metz, C. Gallo, and B. Kemp. 2012. Characteristics of bruises in carcasses of cows sourced from farms or from livestock markets. In: *Animal*. Vol. 6. p. 502–509.

Tarouco, J. U., J. F. P. Lobato, A. K. Tarouco, and G. dos S. Massia. 2005. Relação entre medidas ultra-sônicas e espessura de gordura subcutânea ou área de olho de lombo na carcaça em bovinos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 34:2074–2084. doi:10.1590/S1516-35982005000600033.

Tedeschi, L. O. 2006. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agric Syst*. 89:225–247. doi:10.1016/j.agsy.2005.11.004.

Valadares Filho, S. de C., L. F. Costa e Silva, M. P. Gionbelli, P. P. Rotta, M. I. Marcondes, M. L. Chizzotti, and L. F. Prados. 2016. *Nutrient Requirements of Zebu and Crossbred Cattle* - BR-CORTE. 3 rd. Suprema Gráfica Ltda.

Van Engen, N. K., and J. F. Coetzee. 2018. Effects of transportation on cattle health and production: A review. *Anim Health Res Rev*. 19:142–154. doi:10.1017/S1466252318000075.

Vaz, F. N., and J. Restle. 2000. Aspectos qualitativos da carcaça e da carne de machos Hereford, inteiros ou castrados, abatidos aos quatorze meses. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 29:1894–1901. doi:10.1590/S1516-35982000000600040.

Vaz, F. N., J. Restle, M. Z. Arboitte, L. L. Pascoal, C. Faturi, and G. Joner. 2010. Fatores relacionados ao rendimento de carcaça de novilhos ou novilhas superjovens, terminados em pastagem cultivada. *Ciência Animal Brasileira*. 11. doi:10.5216/cab.v11i1.6747.

Véras, A. S. C., S. de C. Valadares Filho, J. F. Coelho da Silva, M. F. Paulino, P. R. Cecon, R. F. D. Valadares, M. de A. Ferreira, and C. M. S. Fontes. 2001. Efeito do nível de concentrado sobre o peso dos órgãos internos e do conteúdo gastrintestinal de bovinos Nelore não-castrados. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 30:1120–1126. doi:10.1590/S1516-35982001000400029.

Vittori, A., A. C. de Queiroz, F. D. de Resende, A. Gesualdi Júnior, G. F. Alleoni, A. G. Razook, L. A. de Figueiredo, and A. C. L. de S. Gesualdi. 2006. Características de carcaça de bovinos de diferentes grupos genéticos, castrados e não-castrados, em fase de terminação. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 35:2085–2092. doi:10.1590/S1516-35982006000700028.

Waldo, D. R., G. A. Varga, G. B. Huntington, B. P. Glenn, and H. F. Tyrrell. 1990. Energy components of growth in Holstein steers fed formaldehyde- and formic acid-treated alfalfa or orchard grass silages at equalized intakes of dry matter. *Journal Animal Science*. 68:3792. doi:10.2527/1990.68113792x.

Warriss, P., S. Brown, T. Knowles, S. Kestin, J. Edwards, S. Dolan, and A. Phillips. 1995. Effects on cattle of transport by road for up to 15 hours. *Veterinary Record*. 136:319–323. doi:10.1136/vr.136.13.319.

Werner, M., C. Hepp, C. Soto, P. Gallardo, H. Bustamante, and C. Gallo. 2013. Effects of a long distance transport and subsequent recovery in recently weaned crossbred beef calves in Southern Chile. *Livestock Science*. 152:42–46. doi:10.1016/j.livsci.2012.12.007.

Williams, J. L., I. Aguilar, R. Rekaya, and J. K. Bertrand. 2010. Estimation of breed and heterosis effects for growth and carcass traits in cattle using published crossbreeding studies. *Journal Animal Science*. 88:460–466. doi:10.2527/jas.2008-1628.

Yar, M. K., M. H. Jaspal, S. Ali, M. Ijaz, I. H. Badar, and J. Hussain. 2022. Carcass characteristics and prediction of individual cuts and boneless yield of Bos indicus and Bos indicus × Bos taurus bulls differing in age. *Livestock Science*. 264. doi:10.1016/j.livsci.2022.105041.

Zanardi, E., S. de Luca, G. L. Alborali, A. Ianieri, M. O. Varrà, C. Romeo, and S. Ghidini. 2022. Relationship between Bruises on Carcasses of Beef Cattle and Transport-Related Factors. *Animals*. 12. doi:10.3390/ani12151997

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-192-0.2023.C007.p.165-176

7

Respirometria e exigências nutricionais de zebuínos e cruzados de leite, em diferentes níveis de alimentação e estádios fisiológicos

Ana Luiza da Costa Cruz Borges, Ricardo Reis e Silva, Alexandre Lima Ferreira, Helena Ferreira Lage, Paolo Antônio Dutra Vivenza, Pedro Henrique Araújo de Carvalho, Marcelina Pereira da Fonseca, Lúcio Carlos Gonçalves, Norberto Mário Rodriguez †

As informações geradas pela técnica de respirometria são baseadas na mensuração das trocas respiratórias pelos animais, permitindo a avaliação da energia líquida dos alimentos e do metabolismo animal. Estima-se a produção de calor a partir da medição do consumo de oxigênio e da produção de gás carbônico e metano durante 24h, em ambiente controlado. Todas as medições são precedidas de um ensaio de digestibilidade aparente com coleta total de fezes e de urina. Utilizam-se diferentes níveis nutricionais, tais como restrito para manutenção do peso, intermediário e *ad libitum*, com diferentes proporções de volumoso e concentrado. O jejum alimentar é utilizado como ferramenta para estudo do metabolismo basal dos animais. O conhecimento da produção de calor pelo animal em diferentes fases fisiológicas, com diferentes dietas, permite a estimativa dos valores de eficiência de utilização da energia metabolizável para mantença, ganho de peso, gestação e lactação.

INTRODUÇÃO

A calorimetria é baseada nas leis que regem a termodinâmica, em que "a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada" e "a quantidade de energia liberada ou absorvida em um sistema não depende dos caminhos transcorridos durante sua transformação, mas apenas da energia contida nos reagentes e nos produtos finais" (Lavoisier, 1780). Na calorimetria indireta, também conhecida como respirometria, as trocas gasosas realizadas entre o organismo e o meio são medidas. Conhecendo-se o consumo de oxigênio (O_2) e a produção de dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4), calculam-se as perdas energéticas por gases e calor. O Laboratório de Calorimetria e Metabolismo da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Belo Horizonte, Minas Gerais, foi o primeiro laboratório a construir câmaras respirométricas na América Latina. Desde 2009, foram realizados experimentos para avaliar o metabolismo energético e a produção de metano. Os resultados obtidos são expressos em energia líquida (EL), que pode ser energia líquida para mantença (ELm), energia líquida para produção de leite (EL_l), energia líquida para ganho de peso (ELg) e energia líquida para gestação (ELgest). Determina-se o que de fato foi utilizado pelo animal nas funções produtivas descritas. Calculam-se os fatores de conversão dos nutrientes digestíveis totais (NDT) para energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM), e desta última para cada função fisiológica ou EL. Determinam-se os valores de *k* (eficiência de conversão da EM em EL) para mantença (*km*), produção de leite (k_l), ganho de peso ou crescimento (*kg*) e gestação (*kgest*).

RESPIROMETRIA EM SISTEMA DE CIRCUITO ABERTO

Na respirometria em circuito aberto, o animal é alojado em uma câmara com sistema de vedação que não permite qualquer troca gasosa entre o ar no interior da mesma e o ar externo, a não ser pelo próprio sistema de circulação de ar. Um fluxômetro de massa corrige o fluxo de ar em função da temperatura, pressão e umidade, sendo a concentração de CO_2 no interior da câmara nunca superior a 1%. Durante as 24 horas de medições, o equipamento analisador (marca *Sable*) realiza leitura a cada cinco minutos das concentrações de CO_2, O_2 e CH_4, no ar atmosférico e no ar que sai da câmara. Estas concentrações, multiplicadas pelo volume de ar que passou pela câmara durante o tempo de mensuração, permitem calcular quanto de O_2 foi consumido e quanto de CO_2 e CH_4 foram produzidos (Rodriguez et al., 2007).

Um fator de correção deve ser gerado para ajuste das leituras, que devem estar dentro de valores adequados de quociente respiratório. A calibração dos analisadores de gás é realizada sempre que o equipamento for utilizado, e consiste em injetar, a fluxo constante, gases com concentrações conhecidas no sistema de análise. Com o objetivo de calibrar os analisadores para o valor zero de concentração dos gases é utilizado nitrogênio puro. Para calibrar os analisadores de O_2 é utilizado ar atmosférico - assumindo-se que este apresenta concentração de O_2 constante (20,948%) e mistura de gases com concentrações conhecidas, CO_2 a 5% diluído em nitrogênio, e metano a 1%, também diluído em nitrogênio.

RESPIROMETRIA PARA DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO DE CALOR

Um ensaio de digestibilidade aparente é realizado imediatamente antes de toda medição na câmara respirométrica. A coleta total de fezes é realizada por cinco dias e de urina por 24h. Em seguida, o animal é confinado por 24h na câmara respirométrica. Os procedimentos e a especificação do sistema foram descritos por Rodriguez et al. (2007). As determinações da produção de calor são realizadas com os animais alimentados em nível de produção de acordo com o tratamento estabelecido (manutenção do peso, intermediário e *ad libitum*), nas diferentes fases fisiológicas, ou após jejum de 48h de sólidos. Os volumes (L/dia) de O_2 consumido, CO_2 e CH_4 produzidos em 24h e o nitrogênio urinário excretado (Nu, g/dia) são utilizados para estimar a produção de calor (PCalor), conforme a equação de Brouwer (1965): PCalor (kcal) = (3,866 x VO_2) + (1,200 x VCO_2) – (0,518 x VCH_4) – (1,431 x Nu). A EM da dieta é determinada subtraindo-se da energia bruta consumida (EB) as perdas energéticas das fezes, urina e metano. Quantifica-se a energia perdida na forma de metano assumindo-se a perda de 9,45 kcal/L CH_4 produzido (Brouwer, 1965). As concentrações de ED e EM da dieta, expressas em Mcal/kg MS são obtidas durante ensaio de metabolismo.

A medição das trocas gasosas na câmara é realizada pelo menos duas vezes com cada animal, sendo uma vez com o animal alimentado e outra vez com o animal submetido a 48 horas de jejum de sólidos. Dessa forma, conhece-se a produção de calor do animal alimentado e em jejum, sendo esta última correspondente ao valor de energia líquida necessária para a mantença do animal. A diferença entre os valores obtidos com o animal alimentado e em jejum corresponderá ao incremento calórico, e conhecendo-se o teor de EM da dieta pode-se então determinar o valor de EL da mesma (Kleiber, 1972).

Uma vez que alguns autores mencionam valores altos para estimativa da exigência de ELm a partir da produção de calor em jejum, também foi realizada nos experimentos a regressão da produção de calor em diferentes planos alimentares, em função do consumo de energia metabolizável, estimando-se a exigência líquida para mantença por extrapolação.

BANCO DE DADOS

O banco de dados de mensurações de trocas respiratórias compreende uma série de experimentos realizados no Laboratório de Calorimetria e Metabolismo da UFMG usando câmaras respirométricas, a partir de 2009. Foram consideradas 202 avaliações, tendo sido descartadas aquelas que não se ajustaram adequadamente. Os animais eram pertencentes aos grupos genéticos zebuínos (Nelore, Gir e Guzerá) e cruzados de leite (F1 Holandês × Gir). Os volumosos utilizados foram feno de *Tifton-85* (*Cynodon spp*) e silagens de sorgo (*Sorghum bicolor*), milho (*Zea mays*) e de capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq cv. Tanzania), em proporções de volumoso:concentrado variando de 100:0 a 50:50. O concentrado era composto de milho farelado, farelo de soja e suplemento mineral. Os animais foram alimentados nos planos nutricionais manutenção, *ad libitum* e intermediário (ganhos leves, 0,5 a 0,6 kg/dia). A Tabela 7.1 descreve o banco de dados utilizado.

Tabela 7.1 - Características do banco de dados utilizado no desenvolvimento e validação das equações de produção de metano

Fonte	Título/Ano	N	Classe sexual	Grupo genético	Raças	Plano nutricional
Ochoa, Sandra Lúcia Posada	Doutorado, 2010	5	Macho não castrado	Zebuíno	Nelore	Mantença Restrito[2] *Ad libitum*
Silva, Ricardo Reis	Doutorado, 2011	18	Fêmea vazia	Zebuíno, Cruzado de leite	Gir HolxGir[1] Holandês	Mantença
Lage, Helena Ferreira	Mestrado, 2011	12	Fêmea vazia	Zebuíno, Cruzado de leite	Gir HolxGir[1]	Mantença
Fonseca, Marcelina Pereira da	Mestrado, 2012	20	Macho não castrado	Cruzado de leite	HolxGir[1]	*Ad libitum*
Vivenza, Paolo Antônio Dutra	Doutorado, 2016	12	Fêmea lactante	Zebuíno, Cruzado de leite	Gir HolxGir[1]	Mantença Restrito[2] *Ad libitum*
Ferreira, Alexandre Lima	Doutorado, 2014	15	Macho não castrado	Cruzado de leite	HolxGir[1]	Mantença Restrito[2] *Ad libitum*
Pancoti, Carlos Giovani	Doutorado, 2015	18	Fêmea vazia	Zebuíno, Cruzado de leite	Gir HolxGir[1] Holandês	*Ad libitum*
Lage, Helena Ferreira	Doutorado, 2015	12	Fêmea gestante	Zebuíno, Cruzado de leite	Gir HolxGir[1]	Restrito[2]
Carvalho, Pedro Henrique de Araújo	Mestrado, 2016	12	Fêmea lactante	Zebuíno, Cruzado de leite	Gir HolxGir[1]	Mantença Restrito[2] *Ad libitum*
Souza, André Santos	Doutorado, 2016	12	Fêmea	Zebuíno	Nelore Guzerá	Mantença Restrito[2] *Ad libitum*
Duque, Anna Carolinne Alvim	Doutorado, 2016	12	Fêmea	Zebuíno	Guzerá	Mantença Restrito[2] *Ad libitum*
Silva, Juliana Sávia	Doutorado, 2016	20	Macho não castrado	Cruzado de leite	HolxGir[1]	Restrito *Ad libitum*

[1]Animais F1 Holandês × Gir.
[2]Restrito = nível de alimentação intermediário entre o consumo *ad libitum* e o consumo em nível de mantença.

A relação entre as variáveis independentes e dependentes foi estimada utilizando-se o modelo estatístico:

$$Y = B_0 + B_1X_{1ij} + b_0 + b_1X_{1ij} + B_2X_{2ij} + \ldots + B_nX_{nij} + e_{ij},$$

em que B_0, B_1X_{1ij}, e B_2X_{2ij}, . . . , B_nX_{nij} são efeitos fixos (intercepto e efeitos das variáveis independentes); b_0, intercepto, b_1, *slope* ee_{ij}, efeitos aleatórios dos experimentos (i=1, ..., n estudos e j=1, ..., n_i valor). Para as análises estatísticas utilizou-se o programa Minitab 16. Equações de regressão múltipla foram desenvolvidas utilizando-se modelo misto irrestrito. Para escolha das variáveis a serem incluídas no modelo foram utilizados os procedimentos de regressão *stepwise* e *bestsubsets*. Cada variável foi testada quanto ao seu efeito aleatório do intercepto para seleção de melhor ajuste com base no menor RQMR (raiz do quadrado médio do resíduo) e CP de Mallows. A presença de colinearidades entre as variáveis independentes foi avaliada. As equações que apresentaram melhor ajuste foram selecionadas.

A estatística descritiva (mínimo, máximo, média, mediana, erro padrão da média) para todas as variáveis no desenvolvimento das equações de predição da produção de metano e fracionamento energético encontram-se na Tabela 7.2.

Tabela 7.2 - Estatística descritiva das variáveis: produção de metano (CH_4), consumo de matéria seca (CMS), CMS por peso metabólico, peso corporal (PC), consumo de fibra em detergente neutro (CFDN), CFDN por peso corporal metabólico, CFDN digestível (CFDNDig), consumo de energia bruta (CEB), consumo de energia digestível (CED), consumo de energia metabolizável (CEM) e energia bruta do metano ($EBCH_4$) para bovinos zebuínos (n = 95) e cruzado de leite (n = 107)

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	EPM
CH_4, L/dia	73,9	313	165	122	4,60
CMS, kg/dia	2,92	13,4	6,08	5,70	0,21
CMS, g/$PC^{0,75}$	41,0	214	96,5	94,3	2,30
PC, kg	180	683	366	381	9,70
CFDN, kg/dia[1]	1,27	9,21	3,18	3,84	0,11
CFDN, g/$PC^{0,75}$	16,3	72,4	38,6	40,6	1,20
CFDNDig, kg/dia	0,70	4,39	1,94	1,78	0,08
CEB, Mcal/dia	12,8	89,1	38,4	32,5	1,47
CED, Mcal/dia	9,10	62,8	27,6	24,5	1,17
CEM, Mcal/dia	8,05	53,4	23,4	20,3	0,98
$EBCH_4$, Mcal/dia	0,70	6,58	2,31	1,83	0,09

[1]FDN = fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína.

RESULTADOS

Animal, raça, classe sexual e estádio fisiológico foram avaliados e não apresentaram efeito significativo sobre a produção de metano. De modo contrário, verificou-se significância para efeito de autor, que foi considerado para o desenvolvimento das equações a seguir. Excluiu-se o banco de dados de determinado experimento quando houve pequeno ajuste destes com os modelos em desenvolvimento. Utilizando-se as variáveis selecionadas pelos procedimentos *stepwise* e *best subsets*, foram obtidas equações para estimativa da produção de metano, apresentadas na Tabela 7.3, juntamente com a solução dos efeitos fixos das equações de regressão para a predição da produção diária de metano (CH_4) expressa em litros/dia e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Avaliando-se os parâmetros obtidos das regressões, observa-se que os coeficientes de determinação ajustados (R^2) foram elevados e os valores de RQMR foram relativamente baixos. Quando analisado como efeito fixo no modelo de regressão, o consumo de matéria seca (CMS) explicou 87,7% da variação na produção de metano, não havendo melhorias no modelo de predição com a inclusão de outras variáveis preditoras. O mesmo ocorreu com o consumo de EB (CEB). Adicionalmente, foi testado efeito quadrático para CMS e, apesar de significativo ($P<0,001$), não houve melhora no ajuste do modelo de regressão, o que sugere o uso do modelo mais simples. Na Figura 7.1 verifica-se a produção de metano em função do CMS.

Tabela 7.3 - Solução dos efeitos fixos de equações de regressão com base nas variáveis: consumo de matéria seca (CMS), consumo de energia bruta (CEB), teor de proteína bruta na dieta (PB) e proporção de volumoso na dieta (V)

Equações		1	2	3
Intercepto	Estimativa	37,52	30,87	-439,0
	EP	4,773	5,238	199,2
	Valor P	<0,001	<0,001	0,030
CMS (kg/dia)	Estimativa	19,33	---	21,71
	EP	0,7629	---	1,528
	Valor P	<0,001	---	<0,001
CEB (Mcal/dia)	Estimativa	---	4,777	---
	EP	---	0,1969	---
	Valor P	---	<0,001	---
PB (g/kg)	Estimativa	---	---	1,155
	EP	---	---	0,445
	Valor P	---	---	0,011
V (%)[1]	Estimativa	---	---	417,3
	EP	---	---	189,1
	Valor P	---	---	0,030
RQMR (L/dia)		17,25	17,89	17,79
R^2		0,877	0,867	0,806

[1]V (%) = porcentagem de volumoso na dieta, expressa em escala de 0 a 1.

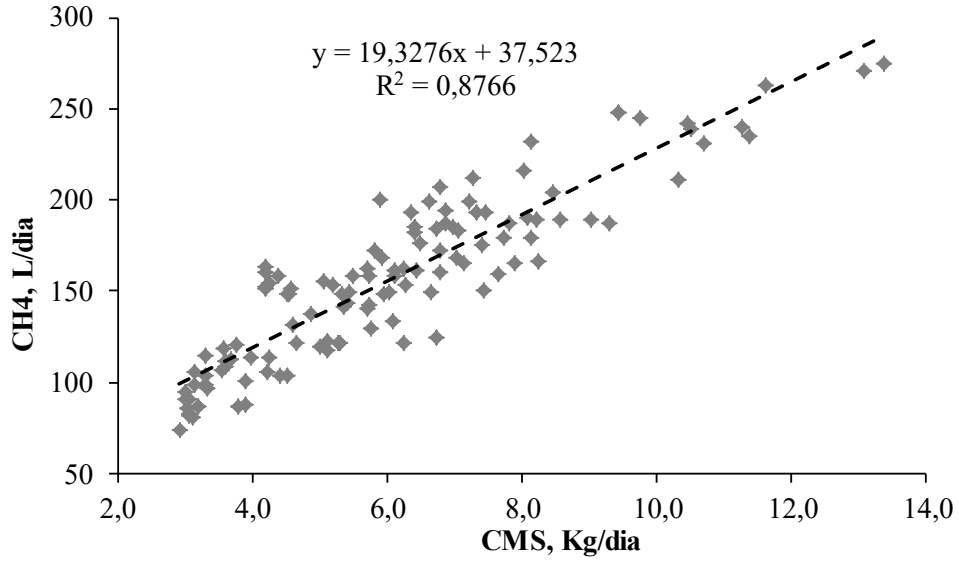


Figura 7.1- Relação entre a produção diária de metano e o consumo de matéria seca. Os pontos representam as avaliações consideradas para o desenvolvimento do modelo (n=125).

Alguns autores corroboraram essa forte relação positiva, considerando o CMS como fator preponderante para produção de metano, independente da dieta consumida (Kriss 1930, Axelsson 1949, Shibata et al., 1993). Algumas equações foram desenvolvidas relacionando produção de metano à composição dietética (Moe e Tyrell, 1979; Bratzler e Forbes, 1940), e ao CED, CEB e ao nível de alimentação (Blaxter e Clapperton, 1965). Mais recentemente, Ramin e Huhtanen (2013) desenvolveram equações mais complexas associando variáveis como CMS, consumo de matéria orgânica (CMO), consumo de extrato etéreo (CEE), relação carboidratos não fibrosos:carboidratos totais (CNF:CHOT) e digestibilidade da matéria orgânica (DMO), cujas equações apresentaram baixos valores de RQMR (21,0 - 21,1 L/dia), atestando a

acurácia da estimativa. Entretanto, considerando-se a maior facilidade de determinação e maior disponibilidade de informações quanto à variável CMS, recomenda-se a utilização da equação apresentada na Figura 7.1 para predição da produção de metano entérico por bovinos em crescimento em condições tropicais.

Com o objetivo de avaliar as relações entre a quantidade de energia perdida na forma de metano e os consumos de EB (Figura 7.2) e ED (Figura 7.3) realizaram-se análises de regressão entre estes valores, as quais foram significativas e cujos erros de predição foram de 0,546 e 0,532 Mcal, respectivamente.

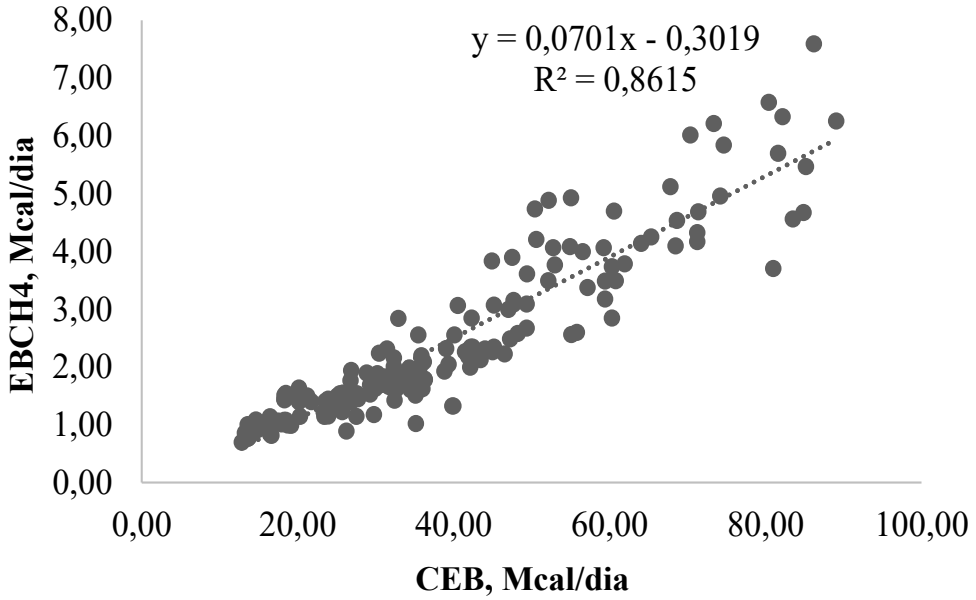


Figura 7.2 - Relação entre perda de energia bruta na forma de metano e o consumo de energia bruta. Os pontos representam todas as avaliações contidas no banco de dados.

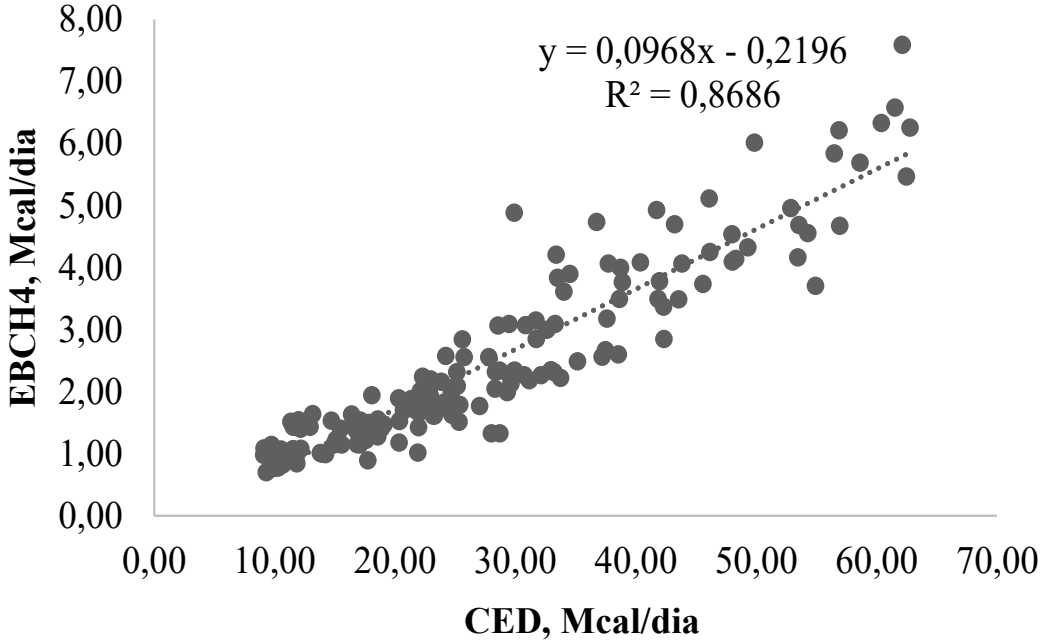


Figura 7.3 - Relação entre perda de energia bruta na forma de metano e o consumo de energia digestível. Os pontos representam todas as avaliações contidas no banco de dados.

Mcallister et al. (1996) mencionaram a importância da disponibilidade de nutrientes para a microbiota ruminal como fator primordial que define o limite superior de produção. Desse modo, quando há menor eficiência de crescimento microbiano, ou seja, menor eficiência de síntese de proteína microbiana, ocorrerá baixa relação proteína:energia nos nutrientes absorvidos e, consequentemente, maior produção de metano. Portanto, a emissão de metano em relação à produtividade do ruminante depende da eficiência fermentativa no rúmen e da eficiência de conversão do alimento em produtos animais. Leng et al. (1993) citaram que bovinos submetidos a dietas de baixa qualidade perderam cerca de 15 a 18% da ED na forma de metano, ao passo que o fornecimento de dietas balanceadas reduziu a emissão de metano em torno de 7%.

Diversos estudos demonstraram que aumentando a produtividade animal há uma redução na proporção de metano produzido por unidade de produto. Segundo a Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (EPA, 2005) aumentar a produtividade da pecuária para se conseguir menores emissões de metano por unidade de produto é a maneira mais promissora e rentável para redução das emissões. Correlações moderadas foram obtidas (- 0,49; P=0,03) no estudo de Ferreira (2014), demonstrando que o nível de ingestão relativo à mantença foi inversamente relacionado à produção de metano. O aumento da ingestão em uma unidade acima da mantença resultou em decréscimo de 0,73 unidades percentuais na produção de metano (% CEB).

Moss (1994) citou que em forragens de baixa qualidade a adição de nutrientes para os microrganismos incrementa a eficiência do crescimento microbiano, pois aumenta a eficiência do processo fermentativo no rúmen com decréscimo na atividade metanogênica por unidade de carboidratos degradados. Entretanto, há aumento na produção de metano por animal, pois maior quantidade de matéria orgânica é fermentada, variando de 8,4% a 12,3% do CEB. Verificou-se que o coeficiente de regressão da equação apresentada na Figura 7.2, que representa 7% do CEB, é ligeiramente inferior aos valores sugeridos pela literatura consultada. De forma semelhante verificou-se que o coeficiente de regressão da equação apresentada na Figura 7.3 representou 9,68% da CED.

Os resultados de ELm, eficiência de utilização da EM para mantença (*km*), ganho de peso (*kg*), gestação (*kgest*) e leite (k_l), obtidos nos diferentes experimentos, estão apresentados na Tabela 7.4.

Em um trabalho com cruzados leiteiros, Ferreira (2014) avaliou a produção de calor em jejum de machos não castrados em diferentes planos alimentares, correspondentes a 1; 1,5 e 2 vezes (1×, 1,5× e 2×) o CMS para manutenção do peso. O consumo de O_2 ($L/PC^{0,75}$), em estado de jejum e alimentado, não diferiu entre os animais em 1x e 1,5x a mantença, apresentando valores médios de 22,25 e 30,35 $L/PC^{0,75}$, que representaram um aumento de 36,4% no consumo de O_2 em função da ingestão de alimento. O tratamento 2× apresentou os maiores (P<0,001) consumos de O_2, com valores de 26,77 e 39,03 $L/PC^{0,75}$ para os animais em estado de jejum e alimentados, respectivamente. A produção de CO_2, de maneira semelhante ao consumo de O_2, foi maior nos animais com 2×, os quais apresentaram produções 21,2 e 37,6% superiores (P<0,001) aos animais do grupo 1x, quando em estado de jejum e alimentados.

A produção de calor em jejum (PC_j) foi maior (P<0,001) para o grupo 2x (133,3 $kcal/PC^{0,75}$) em comparação aos demais grupos (112,1 e 107,9, respectivamente), entre os quais a PC_j não diferiu. Os menores consumos de O_2 e produções de CO_2 ocorridos com a redução da ingestão estão de acordo com os resultados obtidos por Ferrell et al. (1986) que indicaram que as taxas de consumo de oxigênio de órgãos como fígado e rins, por grama de tecido ou em função de sua massa, diminuíram em resposta à alimentação em nível de mantença. O efeito do plano de nutrição sobre o metabolismo de manutenção tem sido associado a variações na taxa metabólica tecidual. As causas dessas variações estão associadas às alterações nas taxas e custos energéticos do fluxo sanguíneo, da entrada de oxigênio no fígado e na transferência de nutrientes do lúmen intestinal (CSIRO, 2007).

Tabela 7.4 - Exigência de energia líquida para mantença (ELm) e eficiência de utilização da energia metabolizável para mantença (*km*), ganho de peso (*kg*), gestação (*kgest*) e produção de leite (k_l) de animais zebuínos e cruzados, em diferentes faixas de peso e estádios fisiológicos (*status*)

Crescimento							
Fonte	Categoria	*Status*	PC (kg)	Raça	ELm	*km*	*kg*
Ochoa	Zebuíno, macho não castrado	Crescimento	200	Nelore	124[2] 116[3]	0,65 0,60	0,23
			300		94,0[2] 92,0[3]	0,60 0,59	0,25
			400		98,0[2] 92,0[3]	0,70 0,65	0,40
			450		83,0[2] 84,0[3]	0,65 0,64	0,40
Fonseca	Cruzado de leite, macho não castrado	Crescimento	250	F1 HxG	-	-	0,27
Ferreira	Cruzado de leite, macho não castrado	Crescimento	350	F1 HxG	108[2] 74,6[3]	0,76 0,60	0,23
Silva	Zebuíno, novilha, vazia	Crescimento	300	Gir	88,0[2]	0,60	-
	Cruzado de leite, novilha, vazia			F1 HxG	95,6[2]	0,67	-
Pancoti	Zebuíno, novilha, vazia	Crescimento	400	Gir	83,9[2]	-	-
	Cruzado de leite, novilha, vazia			F1 HxG	96,7[2]	-	-
Silva	Cruzado de leite, macho não castrado	Crescimento 0-60 dias	30-60	F1 HxG	73,71[2]	0,67	0,45
Maturidade e Gestação							
Fonte	Categoria	*Status*	PC	Raça	ELm	*km*	*kgest*
Lage[1]	Zebuíno, fêmea, vazia	Maturidade	450	Gir	76,8[2]	0,64	-
	Cruzado de leite, fêmea, vazia			F1 HxG	92,0[2]	0,63	-
		Gestação	Peso	Raça	ELgest (Mcal/d)	*km*	*kgest*
	Zebuíno, fêmea, gestante	180 dias	450	Gir	2,86	-	0,15
		210 dias			2,33	-	
		240 dias			1,62	-	
	Cruzado de leite, fêmea, gestante	180 dias	550	F1 HxG	2,70	-	
		210 dias			2,71	-	
		240 dias			2,88	-	
Lactação							
Fonte	Categoria	*Status*	Peso	Raça	ELm	EL_l[4]	k_l[5]
Vivenza	Zebuíno, vaca, Lactante	1˚ terço lactação	453	Gir	79,1[3]	0,778	0,69
	Cruzado de leite, vaca, lactante	1˚ terço lactação	526	F1 HxG	88,3[3]	0,778	0,72

[1]Dados referentes à dissertação de mestrado e à tese de doutorado.
[2]Exigência de energia líquida para mantença (ELm^2) obtida pela produção de calor em jejum (PC_j).
[3]Exigência de energia líquida para mantença (ELm^3) obtida por extrapolação.
[4]Exigência de energia líquida para lactação (Mcal/kg de leite).
[5]Eficiência de utilização da energia metabolizável para lactação.

Observou-se, no presente estudo, aumento linear (P<0,001) da PC_j com o aumento da ingestão de MS. Os maiores valores observados de PC_j para os maiores níveis de alimentação refletem o aumento nas exigências de energia em função do estado produtivo em que o animal se encontra. Computar o quanto deste aumento deve-se à mantença ou ao ganho torna-se uma questão de semântica, como o próprio ARC (1980) relata, uma vez que a relação curvilínea entre a energia retida e a ingestão de alimento pode ser explicada considerando-se um decréscimo na eficiência de utilização do alimento fornecido acima de uma mantença constante ou considerando-se uma eficiência constante e um progressivo aumento nos componentes análogos à mantença.

Alguns autores relatam valores de ELm aumentados quando estimados pela PC_j. Ochoa (2010) e Ferreira (2014) fizeram a equação de regressão obtida pelo logaritmo da produção de calor (PC_j) medida na câmara respirométrica, em diferentes planos alimentares, em função do CEM. Os valores encontrados pela extrapolação para ingestão de energia metabolizável igual a zero corresponderam aos valores de "ELm^3" descritos na Tabela 7.4. Verifica-se que estes valores de ELm^3 são inferiores aos obtidos pela PC_j (ELm^2), e mais próximos aqueles obtidos em experimentos com abate comparativo. Os trabalhos encontram-se em fase inicial, e precisam ser incrementados, uma vez que podem indicar a modificação da metodologia adotada nos experimentos com respirometria. Da mesma forma que a ELm, o *km* encontrado a partir da ELm^3 diferencia-se do valor obtido a partir da ELm^2.

A eficiência de conversão da ED em EM é influenciada por vários fatores, tais como taxa de crescimento microbiano no rúmen, produção de metano, relação entre energia e proteína na dieta, eficiência de utilização da proteína metabolizável, entre outros. O ARC (1980) relata que a relação EM/ED é de aproximadamente 0,82. O CSIRO (1990) e o NRC (2000) sugerem um valor de 0,81 e 0,80, respectivamente, enquanto o AFRC (1993) utiliza valores de 0,81 a 0,86, e relações mais elevadas, de 0,89 a 0,92, foram encontradas por Hales (2013). Realizou-se a análise das relações entre ED e EM determinadas a partir de ensaios de metabolismo em câmaras respirométricas. O efeito de autor foi significativo, sendo considerado para o desenvolvimento dos modelos plotados (Figuras 7.4 e 7.5). Os dados apresentados demonstraram a alta dependência da variável CEM em função do CED (Figura 7.4, R^2=0,99). Considerando-se que em todos os experimentos estudados as perdas por metano foram medidas em câmara respirométrica, e não estimadas, é importante ressaltar que a relação EM/ED foi sempre superior a 0,82.

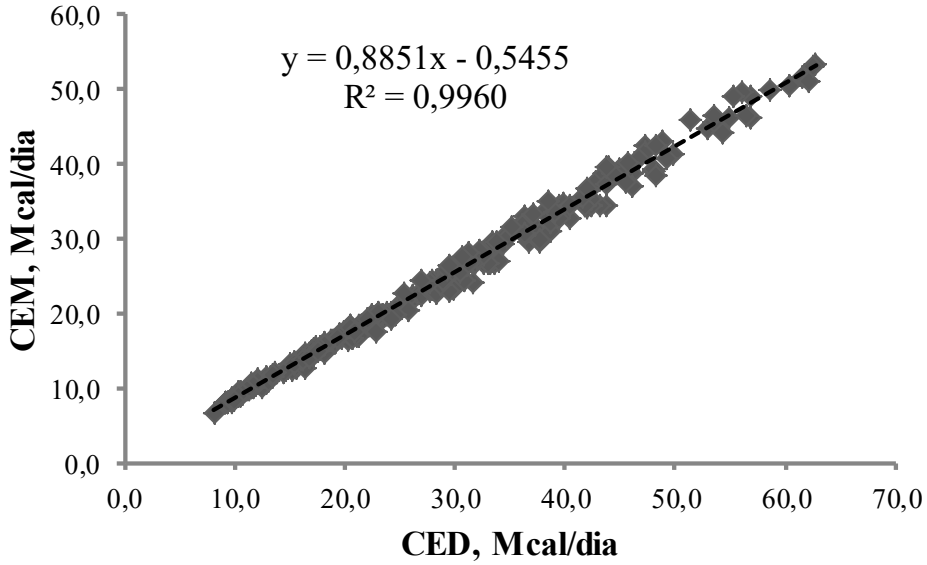


Figura 7.4 - Relação entre o consumo de energia digestível e o consumo de energia metabolizável expressas em Mcal por dia.

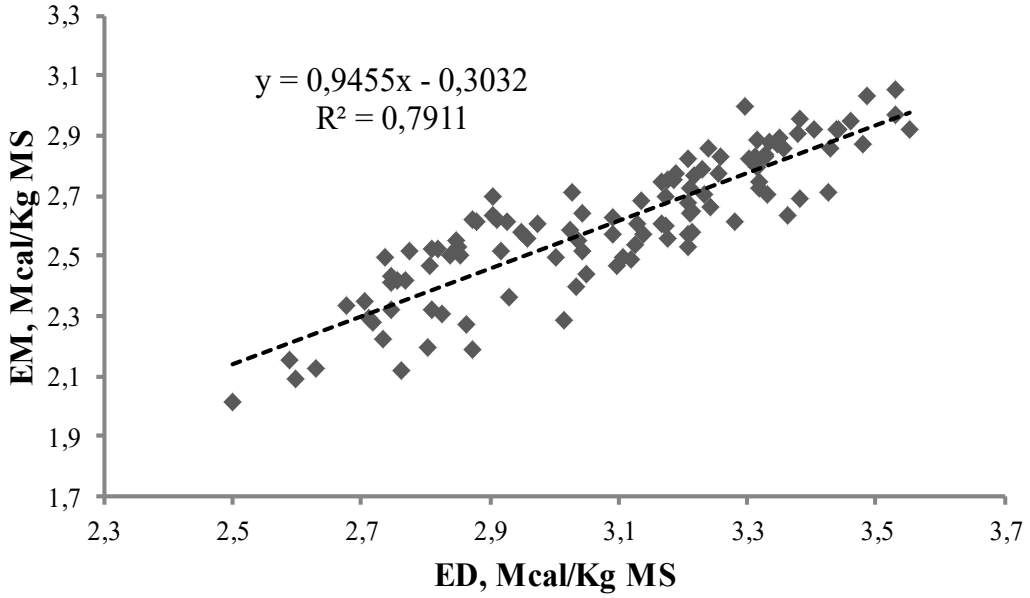


Figura 7.5 - Relação entre energia digestível e energia metabolizável expressas em Mcal por kg de matéria seca.

De modo semelhante Galyean et al. (2016) propuseram um modelo para predição da EM a partir da ED, em Mcal/kg de MS, a partir da análise de 23 trabalhos publicados em várias revistas entre os anos de 1975 e 2015. A predição da EM a partir de um modelo linear apresentou forte correlação com componentes da dieta, porém o aumento na precisão do modelo com a inclusão das variáveis %PB, %EE e %amido foi pequeno, sendo que os autores recomendaram o uso de uma regressão linear simples. A comparação entre o modelo proposto (Figura 7.5) e aquele sugerido por Galyean et al. (2016) pode ser visualizada na Figura 7.6.

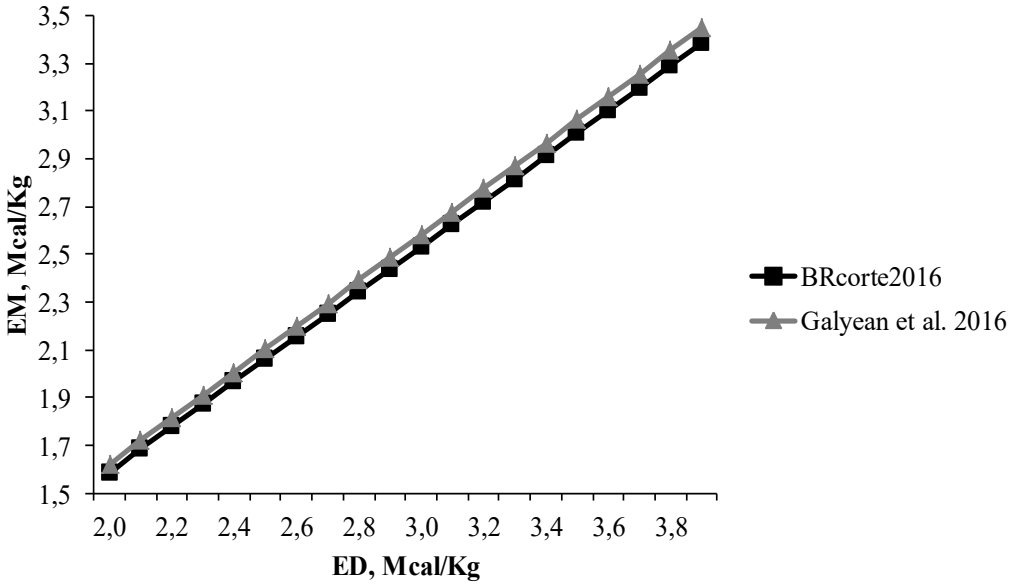


Figura 7.6 - Predição da EM (Mcal/kg) a partir da ED (Mcal/kg) segundo os modelos propostos por BR-CORTE (2016) e Galyean et al. (2016).

Como pode ser observado na Figura 7.6, há grande semelhança entre os valores preditos pelos modelos. Verificou-se que a eficiência de conversão da EM proposta por Galyean et al. (2016) é superior à eficiência encontrada pela conversão da ED em EM utilizando-se o modelo proposto neste trabalho (BR-CORTE, 2016; Figura 7.5). Ressalta-se que o banco de dados nacional contém maior número de trabalhos em que se utilizaram dietas com menor densidade energética do que as de Galyean et al. (2016). Sendo assim, recomenda-se o uso do modelo linear simples, proposto na Figura 7.4, como forma de se determinar a EM a partir da ED.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio concedido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), INCT Ciência Animal – CNPq, Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais (EPAMIG), Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Fazenda Santa Paula – Curvelo (MG), Fazenda Canoas – Luz (MG), Fazenda Agropecuária Conesol, Campos Altos – MG, BR-Nova Sistemas Nutricionais.

REFERÊNCIAS

Agricultural and Food Research Council - AFRC. *Energy and protein requirements of ruminants*. Wallingford, Commonwealth Agricultural Bureaux International. 159p. 1993.

Agricultural Research Council - ARC. *The nutrient requirements of ruminant livestock*. The Gresham Press, London. 1980.

Axelsson, J. *The amount of produced methane energy in the European metabolic experiments with adult cattle*. Annual Research Agricultural College Sweden, 16. 1949.

Blaxter. K. L.; Clapperton, J. L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal of Nutrition* 19:511-522, 1965.

Bratzler, J. W.; Forbes, E. B. The estimation of methane production by cattle. *Journal of Nutrition* 19:611-613, 1940.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F., Gionbelli, M. P., Rotta, P. P., Marcondes, M. I., Chizzotti, M. L. *Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle – BR-CORTE*, 3 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2016.

Brouwer, E. Report of sub-committee on constants and fastors. p. 441 – 443. In: *Proceedings of the 3rd Symposium on Energy Metabolism*. Blaxter, K. L., ed. E.A.A.P. Publication No. 11. Academic Press, London, New York. 1965.

Carvalho, P. H. A. *Consumo, digestibilidade, perfil metabólico e exigências nutricionais de energia para mantença e lactação de vacas Gir e F1 Holandês x Gir em diferentes planos nutricionais*. Dissertação. (M.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte. 2016.

Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization - CSIRO. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. CSIRO publications, Victoria. 2007.

Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization - CSIRO. *Feeding standards for Australian Livestock: Ruminants*. CSIRO publications, Victoria. 1990.

Duque, A. C. A. *Eficiência alimentar, perfil metabólico e trocas gasosas em novilhas da raça Guzerá submetidas a diferentes planos de alimentação.* Tese (D.Sc.) – Escola De Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2016.

Environmental Protection Agency EPA. *Opportunities to Reduce Anthropogenic Methane Emissions in the United States*. Publication 430-R-93-012. EPA, Washington D.C. 2005.

Ferreira, A. L. *Exigências nutricionais de energia de bovinos machos F1 Holandês x Gir determinadas pelas metodologias de abate comparativo e respirometria calorimétrica*. Tese (D.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2014.

Ferrell, C. L.; Koong, L. J.; Nienaber, L. A. Effect of previous nutrition on body composition and maintenance energy costs of growing lambs. *British Journal of Nutrition*, 56:595-605, 1986.

Fonseca, M. P. *Consumo, digestibilidade aparente e emissão de metano em novilhos F1 Holandês x Gir suplementados com monensina e/ou virginiamicina.* – Dissertação (M.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte. 2012.

Fonseca, M. P. *Valor energético de dietas para bovinos obtido por respirometria calorimétrica*. Tese (D.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte. 2016.

Galyean, M. L.; Cole, N. A.; Tedeschi, L.O.; Branine, M. E. Efficiency of converting digestible energy to metabolizable energy and reevaluation of the California Net Energy System maintenance requirements and equations for predicting dietary net energy values for beef cattle. *Journal of Animal Science,* 94:1329-1341. 2016.

Hales, K. E.; Brown-Brandl, T. M.; Freetly, H. C. Effects of decreased dietary roughage concentration on energy metabolism and nutrient balance in finishing beef cattle. *Journal of Animal Science,* 92:264-271. 2013.

Kleiber, M. *Bioenergetica Animal. El fuego de la vida*. 1972. 1 ed. Editorial Acribia, Zaragoza.

Kriss, M. Quantitative relations of the dry matter of the food consumed the heat production, the gaseous outgo and the insensible loss in body weight of cattle. *Agriculture Research* 40:283, 1930

Lage, H. F. *Partição da energia e exigência de energia líquida para mantença de novilhas Gir e F1 Holandês x Gir*. Dissertação (M.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte. 2011.

Lage, H. F. *Partição da energia e exigências nutricionais no terço final da gestação e avaliação do perfil metabólico durante o período de transição de vacas Gir e F1 Holandês x Gir*. Tese. (D.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte. 2015.

Lavoisier, A. L.; Laplace, P. S. M. *Mémoiresur la Chaleur*. Mémoires de L`Académie des Sciences, Paris. 1780.

Leng, R. A. Quantitative ruminant nutrition – A green house science. *Australian Journal of Agricultural Research*, 44:363 – 380, 1993.

Mcallister, A. T.; Okine, E. K.; Mathison, G. W. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*, 76:231-243, 1996.

Moe, P. W.; Tyrrel, H. F. Methane production in dairy cows. *Journal of Dairy Science,* 62:1583 – 1586, 1979.

Moss, A. R. Methane production by ruminants – Literature review of I. Dietary manipulation to reduce methane production and II. Laboratory procedures for estimating methane potential of diets. *Nutrition Abstracts Reviews* Serie B 64:786-806, 1994.

National Research Council NRC. 2000. *Nutrient requirements of beef cattle*. 7.ed. National Academic Press, Washington, D.C.

Ochoa, S. L. P. *Balance y determinación de exigências de energia em ganado Nellore durante las etapas de levante y ceba*. Tese (D.Sc.) – Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 2010.

Pancoti, C. G. *Exigências nutricionais de energia em novilhas Gir, Holandês e F1 Holandês x Gir.* Tese (D.Sc.) – Escola De Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2015.

Ramin, M.; P. Huhtanen, P. Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. *Journal of Dairy Science*, 96: 2476-2493. 2013.

Rodríguez, N.M; Campos, W.E.; Lachica, M.L. Borges, I.; Gonçalves, L.C.; Borges, A.L.C.C.; Saliba, E.O.S. A calorimetry system for metabolismo trials. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 59:495-500, 2007.

Shibata, M.; Terada F.; Kurihara, M; Nishida, T.; Iwasaki, K. 1993. Estimation of methane production in ruminants. *Animal Science Technology* 64:790 – 796.

Silva, J. S. *Exigências de energia em bezerros lactentes F1 Holandês x Gir, utilizando a respirometria*. Tese (D.Sc.) – Escola De Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2016.

Silva, R. R. *Respirometria e determinação das exigências de energia e produção de metano de fêmeas bovinas leiteiras de diferentes genótipos*. Tese (D.Sc.) – Escola De Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2011.

Souza, A. S. *Exigência de energia líquida para mantença e ganho de peso de novilhas Nelore e Guzerá*. Tese (D.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2016.

Vivenza, P. A. D. *Exigências Nutricionais para Mantença e Lactação e Perfil Metabólico de Vacas F1 Holandês x Gir e Gir, em Diferentes Planos Nutricionais*. Tese (D.Sc.) – Escola De Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2016.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-192-0.2023.C008.p.177-204

8

Exigências de energia para bovinos de corte

Pedro Del Bianco Benedeti, Marcos Inácio Marcondes, Alex Lopes da Silva, Flávia Adriane de Sales Silva, Mateus Pies Gionbelli e Sebastião de Campos Valadares Filho

INTRODUÇÃO

A energia obtida a partir de nutrientes (carboidratos, proteínas e lipídios) é importante não apenas para a manutenção das atividades basais do organismo, mas também para melhorar o desempenho dos animais (Caton e Dhuyvetter, 1997). Dessa forma, o desperdício de energia está intimamente relacionado à maior emissão de gases do efeito estufa, podendo levar a problemas ambientais (Taminga, 1996).

Os modelos atuais desenvolvidos por diferentes sistemas de exigências nutricionais têm sido constantemente atualizados para fornecer equações mais precisas e assim auxiliar os nutricionistas na formulação de dietas (BR-CORTE, 2016; NASEM, 2016; INRA, 2018). Portanto, a estimativa correta das exigências nutricionais é essencial para o fornecimento adequado de energia metabolizável demandada por um animal, o que é desejável tanto do ponto de vista produtivo quanto sustentável.

O BR-CORTE utiliza o sistema proposto por Lofgreen e Garrett (1968) como base para estimativa das exigências de energia para animais em crescimento e terminação. Tal sistema ficou mais tarde conhecido como California Net Energy System (CNES) e estabeleceu a base das recomendações de exigências de energia das edições subsequentes do sistema norte americano (NRC, 1984, 1996, 2000) e NASEM (2016). Um resumo do que foi estabelecido pelo Sistema CNES pode ser visualizado pela equação abaixo:

$$EMt = EMm + EMg = (ELm/km) + (ELg/kg) \quad \text{Eq. 8.1}$$

em que: EMt = exigência de energia metabolizável total, EMm = exigência de energia metabolizável para mantença, EMg = exigência de energia metabolizável para ganho, ELm = exigência de energia líquida para mantença, *km* = eficiência de utilização da energia metabolizável para mantença, ELg = exigência de energia líquida para ganho e *kg* = eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho.

Cabe notar que a base das definições propostas pelo CNES e apresentadas na Eq. 8.1 teve seu entendimento estabelecido por pesquisadores anteriores, que estudaram quantitativamente os mais variados aspectos sobre o uso da energia por animais (Atwater e Bryant, 1900; Armsby, 1917; Kleiber, 1961; Blaxter, 1961; Brody, 1945; Blaxter et al., 1966; Blaxter, 1969).

Uma vez que as estimativas das exigências de energia são realizadas com base no que foi estabelecido na Eq. 8.1, faz-se necessário conhecer as frações apresentadas para que possam ser realizadas as estimativas. O Sistema BR-CORTE usa um banco de dados de experimentos de abate comparativo (Garrett et al., 1959). Nesses experimentos são mensuradas a energia metabolizável consumida (EMt) e a energia retida na forma de tecidos no corpo do animal (ER), também chamada de energia líquida para ganho (ELg). A energia líquida gasta com mantença (ELm) e as ineficiências de uso da energia para mantença (1 – *km*) e ganho (1 – *kg*) representam a energia consumida que foi transformada em calor (produção de calor) e são estimadas por diferença, com base nos princípios de conservação da energia estabelecidos na 1ª Lei da Termodinâmica (Clausius, 1850). Abaixo estão apresentadas representações equacionais de tais relações:

$$CEM = ER + PCalor \quad \text{Eq. 8.2}$$

$$CEM = EMt \quad \text{Eq. 8.3}$$

$$ER = ELg \quad \text{Eq. 8.4}$$

$$PCalor = ELm + [(1 - km) \times EMm] + [(1 - kg) \times EMg] \quad \text{Eq. 8.5}$$

em que: CEM = consumo de energia metabolizável, ER = energia retida, PCalor = produção de calor, EMt = exigência de energia metabolizável total, ELg = exigência de energia líquida para ganho, ELm = exigência de energia líquida para mantença, *km* = eficiência de utilização da energia metabolizável para mantença, EMm = exigência de energia metabolizável para mantença, *kg* = eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho e EMg = exigência de energia metabolizável para ganho.

Uma vez que o valor da PCalor é obtido por diferença e três das variáveis apresentadas na Eq. 8.5 são oriundas da PCalor, usam-se modelos matemáticos para estimar os valores de ELm, *km* e *kg*, que serão apresentados nos itens posteriores.

Considerando a evolução da base de dados e dos conhecimentos sobre estimativa de exigências nutricionais, os modelos utilizados para estimar as exigências de energia para bovinos em crescimento e terminação foram rediscutidos, reavaliados e validados. Assim, foram geradas as recomendações para estimativa das exigências nutricionais de energia para Zebuínos de corte e seus cruzamentos, em crescimento e terminação, criados em condições tropicais, a pasto ou em confinamento.

HISTÓRICO DO BR-CORTE

No BR-CORTE, as exigências de energia têm sido estimadas a partir de um banco de dados que tem crescido ao longo das edições (não somente em número de animais, mas também em amplitude de variação de peso e grupos genéticos utilizados). Na primeira edição, foram utilizados dados individuais de 187 animais zebuínos em confinamento (BR-CORTE, 2006). Na segunda edição, o número de dados individuais subiu para 626 animais e foram incluídas equações para estimar as exigências de zebuínos e seus cruzamentos, e também para animais em pastejo (BR-CORTE, 2010). Já na terceira edição, os modelos foram atualizados a partir de dados individuais de 1369 animais de 38 estudos (BR-CORTE, 2016).

Na edição atual, foram utilizados dados de 21 estudos (636 dados individuais) para desenvolver novos modelos de predição da ELg (ou ER) a partir do ganho de carcaça (GC) de bovinos de corte com diferentes condições sexuais (Fêmeas, machos castrados e machos não castrados) e genótipos (Zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite).

BANCO DE DADOS DO BR-CORTE (2016)

Os modelos propostos no BR-CORTE (2016) foram desenvolvidos com base em um banco de dados composto por 38 estudos realizados em condições brasileiras (Tabela 8.1). O banco de dados contou com maior predominância de animais criados em confinamento (N = 1369). Já o grupo genético com maior representatividade foi o de Zebuínos, com 744 animais (Tabela 8.1). O grupo de animais cruzados de corte foi constituído de 142 Angus × Nelore, 62 Limousin × Nelore, 12 Marchigiana × Nelore, 73 Simental × Nelore, 11 Pardo-Suiço × Nelore, 23 Brangus e 16 animais bimestiços, com a maior fração de sangue europeu vinda da raça Angus (Tabela 8.2). Já o grupo de animais cruzados de leite foi formado por 16 animais Holandês × Gir, 15 Holandês × Guzerá, 155 Nelore × Holandês, 21 Holandês e 79 animais cruzados de leite (Tabela 8.3). O banco de dados de animais criados em sistema de pastejo foi formado por 127 animais, sendo todos da raça Nelore (Tabela 8.4).

Tabela 8.1 - Estatística descritiva dos dados utilizados para a obtenção das exigências nutricionais de energia de animais Zebuínos mantidos em condição de confinamento

Itens	N	Média	Máximo	Mínimo	DP
Machos não castrados					
PCJi, kg	454	283	438	110	65,6
PCJf, kg	454	383	592	122	91,2
PCVZi, kg	454	249	358	95,2	58,6
PCVZf, kg	454	337	549	109	85,0
$PCVZ^{0,75}$, kg	454	70,9	98,2	32,1	12,5
GMD, kg/dia	454	1,00	2,65	-0,14	0,45
GPCVZ, kg/dia	454	0,95	2,30	-0,13	0,43
ER, kcal/$PCVZ^{0,75}$	454	50,9	170	-97,4	36,7
CEM, kcal/$PCVZ^{0,75}$	454	220	467	0,49	78,2
PCalor, kcal/$PCVZ^{0,75}$	454	196	309	87,7	52,3
Machos castrados					
PCJi, kg	166	291	399	164	46,7
PCJf, kg	166	364	520	195	68,4
PCVZi, kg	166	255	352	150	41,7
PCVZf, kg	166	322	469	148	67,0
$PCVZ^{0,75}$, kg	166	70,0	91,2	42,7	9,23
GMD, kg/dia	166	0,71	1,53	-0,22	0,42
GPCVZ, kg/dia	166	0,70	1,63	-0,21	0,38
ER, kcal/$PCVZ^{0,75}$	166	30,8	103	0,63	23,1
CEM, kcal/$PCVZ^{0,75}$	166	212	310	114	53,8
PCalor, kcal/$PCVZ^{0,75}$	166	181	232	104	40,0
Fêmeas					
PCJi, kg	124	225	347	127	53,4
PCJf, kg	124	271	437	121	72,4
PCVZi, kg	124	197	403	104	48,8
PCVZf, kg	124	243	397	108	67,7
$PCVZ^{0,75}$, kg	124	57,2	89,5	33,0	10,7
GMD, kg/dia	124	0,57	1,27	-0,12	0,39
GPCVZ, kg/dia	124	0,58	1,25	-0,13	0,37
ER, kcal/$PCVZ^{0,75}$	124	60,3	272	-6,02	52,3
CEM, kcal/$PCVZ^{0,75}$	124	217,5	338	110	80,5
PCalor, kcal/$PCVZ^{0,75}$	124	157	229	92,3	51,36

N= número de observações; DP = desvio-padrão; PCJi = peso corporal em jejum inicial; PCJf = peso corporal em jejum final; PCVZi = peso de corpo vazio inicial; PCVZf = peso de corpo vazio final; $PCVZ^{0,75}$ = peso de corpo vazio metabólico médio; GMD = ganho médio diário; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio; ER = energia retida; CEM = consumo de energia metabolizável; PCalor = produção de calor.

Tabela 8.2 - Estatística descritiva dos dados utilizados para a obtenção das exigências nutricionais de energia de animais cruzados de corte mantidos em condição de confinamento

Itens	N	Média	Máximo	Mínimo	DP
Machos não castrados					
PCJi, kg	215	302	435	198	51,8
PCJf, kg	215	445	589	230	86,9
PCVZi, kg	215	256	366	173	40,2
PCVZf, kg	215	388	541	199	81,1
$PCVZ^{0,75}$, kg	215	75,9	98,3	50,4	11,3
GMD, kg/dia	215	1,15	2,11	-0,07	0,43
GPCVZ, kg/dia	215	1,11	2,04	-0,05	0,42
ER, kcal/$PCVZ^{0,75}$	215	58,7	180	-6,72	34,8
CEM, kcal/$PCVZ^{0,75}$	215	244	489	97,4	76,0
PCalor, kcal/$PCVZ^{0,75}$	215	185	489	22,2	80,2
Machos castrados					
PCJi, kg	75	312	434	189	68,9
PCJf, kg	75	414	581	224	93,2
PCVZi, kg	75	274	385	166	65,3
PCVZf, kg	75	371	518	201	90,3
$PCVZ^{0,75}$, kg	75	76,0	97,9	49,9	11,7
GMD, kg/dia	75	1,10	2,35	-0,36	0,67
GPCVZ, kg/dia	75	1,11	2,11	-0,09	0,61
ER, kcal/$PCVZ^{0,75}$	75	79,9	114	9,49	32,0
CEM, kcal/$PCVZ^{0,75}$	75	265	505	90,3	105
PCalor, kcal/$PCVZ^{0,75}$	75	185	359	101	69,6
Fêmeas					
PCJi, kg	49	271	331	194	33,5
PCJf, kg	49	345	494	187	88,5
PCVZi, kg	49	241	311	150	36,8
PCVZf, kg	49	304	443	176	79,8
$PCVZ^{0,75}$, kg	49	67,1	85,6	45,5	9,14
GMD, kg/dia	49	0,86	1,75	-0,31	0,66
GPCVZ, kg/dia	49	0,80	1,73	-0,18	0,58
ER, kcal/$PCVZ^{0,75}$	49	55,2	104	-7,60	33,4
CEM, kcal/$PCVZ^{0,75}$	49	238	355	112	82,8
PCalor, kcal/$PCVZ^{0,75}$	49	182	268	103	53,3

N= número de observações; DP = desvio-padrão; PCJi = peso corporal em jejum inicial; PCJf = peso corporal em jejum final; PCVZi = peso de corpo vazio inicial; PCVZf = peso de corpo vazio final; $PCVZ^{0,75}$ = peso de corpo vazio metabólico médio; GMD = ganho médio diário; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio; ER = energia retida; CEM = consumo de energia metabolizável; PCalor = produção de calor.

Tabela 8.3 - Estatística descritiva dos dados utilizados para a obtenção das exigências nutricionais de energia de animais cruzados de leite mantidos em condição de confinamento

Itens	N	Média	Máximo	Mínimo	DP
Machos não castrados					
PCJi, kg	85	407	495	317	50,5
PCJf, kg	85	451	661	191	110
PCVZi, kg	85	341	415	266	40,2
PCVZf, kg	85	394	600	167	106
$PCVZ^{0,75}$, kg	85	83,9	107	56,4	14,4
GMD, kg/dia	85	1,68	2,64	0,45	0,60
GPCVZ, kg/dia	85	1,52	2,54	0,45	0,65
ER, kcal/$PCVZ^{0,75}$	85	92,5	167	18,5	36,1
CEM, kcal/$PCVZ^{0,75}$	85	273	348	154	60,5
PCalor, kcal/$PCVZ^{0,75}$	85	181	264	11,9	56,3
Machos castrados					
PCJi, kg	88	279	455	104	90,1
PCJf, kg	88	358	575	159	95,9
PCVZi, kg	88	231	363	94,9	66,0
PCVZf, kg	88	312	510	146	86,5
$PCVZ^{0,75}$, kg	88	66,9	95,5	36,4	12,8
GMD, kg/dia	88	0,97	2,05	0,15	0,43
GPCVZ, kg/dia	88	0,95	2,00	0,14	0,48
ER, kcal/$PCVZ^{0,75}$	88	47,8	112	-93,0	40,2
CEM, kcal/$PCVZ^{0,75}$	88	258	372	95,7	83,5
PCalor, kcal/$PCVZ^{0,75}$	88	210	343	80,9	67,3
Fêmeas					
PCJi, kg	113	247	399	150	57,6
PCJf, kg	113	309	399	230	55,7
PCVZi, kg	113	161	230	115	31,3
PCVZf, kg	113	274	375	192	57,6
$PCVZ^{0,75}$, kg	113	56,6	72,5	43,6	9,19
GMD, kg/dia	113	1,00	1,37	0,29	0,30
GPCVZ, kg/dia	113	0,88	1,30	0,30	0,37
ER, kcal/$PCVZ^{0,75}$	113	72,1	115	36,7	23,5
CEM, kcal/$PCVZ^{0,75}$	113	416	548	348	59,1
PCalor, kcal/$PCVZ^{0,75}$	113	344	475	285	57,9

N= número de observações; DP = desvio-padrão; PCJi = peso corporal em jejum inicial; PCJf = peso corporal em jejum final; PCVZi = peso de corpo vazio inicial; PCVZf = peso de corpo vazio final; $PCVZ^{0,75}$ = peso de corpo vazio metabólico médio; GMD = ganho médio diário; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio; ER = energia retida; CEM = consumo de energia metabolizável; PCalor = produção de calor.

Tabela 8.4 - Estatística descritiva dos dados utilizados para a obtenção das exigências nutricionais de energia de animais Zebuínos mantidos em condição de pastagem

Itens	N	Média	Máximo	Mínimo	DP
Machos não castrados					
PCJi, kg	99	278	404	138	50,6
PCJf, kg	99	391	661	138	68,6
PCVZi, kg	99	242	363	106	41,4
PCVZf, kg	99	343	600	118	58,9
$PCVZ^{0,75}$, kg	99	70,7	103	34,5	9,28
GMD, kg/dia	99	0,42	1,13	-0,54	0,38
GPCVZ, kg/dia	99	0,34	0,81	-0,55	0,36
ER, kcal/$PCVZ^{0,75}$	99	24,3	105	-52,3	29,1
CEM, kcal/$PCVZ^{0,75}$	99	199	307	83,4	54,5
PCalor, kcal/$PCVZ^{0,75}$	99	175	340	12,7	59,7
Machos castrados					
PCJi, kg	28	294	455	104	59,8
PCJf, kg	28	370	581	150	91,7
PCVZi, kg	28	253	385	94,9	49,3
PCVZf, kg	28	325	518	125	76,9
$PCVZ^{0,75}$, kg	28	70,2	97,9	33,9	9,66
GMD, kg/dia	28	0,57	0,95	-0,15	0,33
GPCVZ, kg/dia	28	0,47	0,90	-0,10	0,29
ER, kcal/$PCVZ^{0,75}$	28	16,3	36,9	-12,4	15,5
CEM, kcal/$PCVZ^{0,75}$	28	210	306	120	54,7
PCalor, kcal/$PCVZ^{0,75}$	28	193	278	129	41,3

N= número de observações; DP = desvio-padrão; PCJi = peso corporal em jejum inicial; PCJf = peso corporal em jejum final; PCVZi = peso de corpo vazio inicial; PCVZf = peso de corpo vazio final; $PCVZ^{0,75}$ = peso de corpo vazio metabólico médio; GMD = ganho médio diário; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio; ER = energia retida; CEM = consumo de energia metabolizável; PCalor = produção de calor.

EXIGÊNCIAS DE ENERGIA PARA MANTENÇA

Exigências de energia líquida para mantença

A exigência de energia líquida para mantença (ELm) pode ser entendida como toda a produção de calor do animal no estado de jejum absoluto e está correlacionada com o atendimento de funções basais, como a manutenção da homeotermia, circulação, respiração, manutenção de sistemas enzimáticos e síntese de tecidos; e o atendimento de atividades voluntárias, como ruminar e caminhar (Garrett et al., 1959).

Primariamente, as exigências de energia para mantença foram calculadas através de ensaios de alimentação de longa duração, onde foram mantidos níveis de consumo constantes até que os animais atingissem um equilíbrio em seu peso corporal por um período de tempo (Taylor e Young, 1968). Posteriormente, foi realizada uma regressão do consumo de energia em função do ganho de peso dos animais, sendo o ponto onde o ganho de peso é igual a zero, encontrado por extrapolação, considerado como a exigência de energia para mantença dos animais (Jenkins e Ferrell, 1983). No entanto, esta técnica estimava apenas a exigência de energia

metabolizável para mantença (EMm), sendo que a ELm, bem como as exigências de ganho, deveriam ser estimadas através de outros métodos, o que contribuiu para que essa técnica fosse preterida em relação a outras.

A ELm pode ser obtida com a utilização de técnicas respirométricas, onde o animal, em jejum absoluto, é mantido no interior de uma câmara e tem toda a sua produção de gás carbônico e metano, bem como seu consumo de oxigênio mensurados (Ferrell e Oltjen, 2008). Partindo-se do princípio que todo o calor produzido é oriundo da oxidação metabólica dos compostos orgânicos, onde é necessário o consumo de oxigênio para produzir gás carbônico, torna-se possível estimar a ELm (ARC, 1965).

A ELm também pode ser estimada de forma indireta, quando se utiliza o método do abate comparativo, que é o caso dos trabalhos adotados para estimar ELm apresentada no BR-CORTE. Para utilizar este método é necessário que os animais sejam alimentados com diferentes níveis de energia metabolizável, o que resultará em variação na energia retida no corpo e na produção de calor (Lofgreen e Garrett, 1968). A ELm tem sido calculada (tanto para câmaras respirométricas, quanto para abates comparativos) através do uso de uma regressão não-linear exponencial da produção de calor (PCalor) em função do consumo de energia metabolizável (CEM). Nesse ponto, a ELm é admitida como sendo o intercepto (β_0) do modelo (Ferrell e Jenkins, 1998; Figura 8.1).

$$PCalor = \beta_0 \times e^{(\beta_1 \times CEM)} \quad \text{Eq. 8.6}$$

em que: PCalor = produção de calor (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia); CEM = consumo de energia metabolizável (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia) e β_0 e β_1 = parâmetros do modelo.

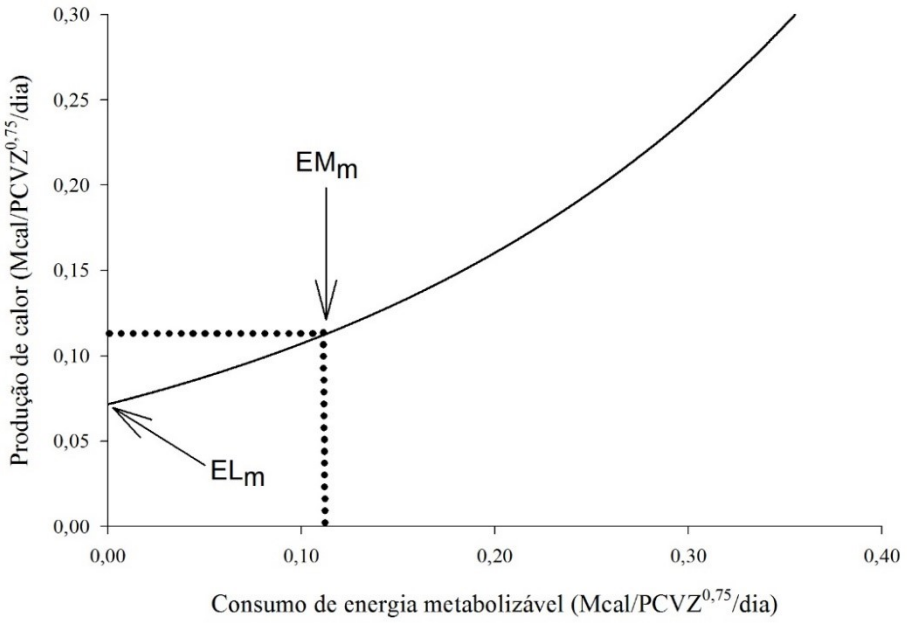


Figura 8.1 - Relação exponencial entre a produção de calor e o consumo de energia metabolizável.

As exigências de ELm foram estimadas com base no modelo acima e testados os efeitos de classe sexual, grupo genético e sistema de criação sobre os parâmetros do modelo. Como o banco de dados de animais criados à pasto não foi modificado em relação à edição anterior, foram mantidas as mesmas recomendações da edição anterior do BR-CORTE (2010).

a) Animais em Confinamento

Quando o modelo da Eq. 8.6 foi ajustado aos dados de animais em confinamento, não foi observado efeito de classe sexual sobre os parâmetros do modelo ($P > 0,05$). Da mesma forma, não houve efeito de grupo genético sobre o parâmetro β_0 do modelo ($P = 0,332$), o que indica não haver diferenças na estimativa da ELm. Por outro

lado, foi observado efeito de grupo genético sobre o parâmetro β_1 do modelo descrito acima ($P < 0,001$), o que indica que existem efeitos raciais sobre a eficiência de utilização da energia metabolizável para mantença, como será demonstrado posteriormente.

Zebuínos:

$$PCalor = 0,0749 \times e^{3,8684 \times CEM} \quad \text{Eq. 8.7}$$

Cruzados de corte:

$$PCalor = 0,0749 \times e^{4,0612 \times CEM} \quad \text{Eq. 8.8}$$

Cruzados de leite:

$$PCalor = 0,0749 \times e^{4,1487 \times CEM} \quad \text{Eq. 8.9}$$

em que PCalor = produção de calor (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia) e CEM = consumo de energia metabolizável (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia).

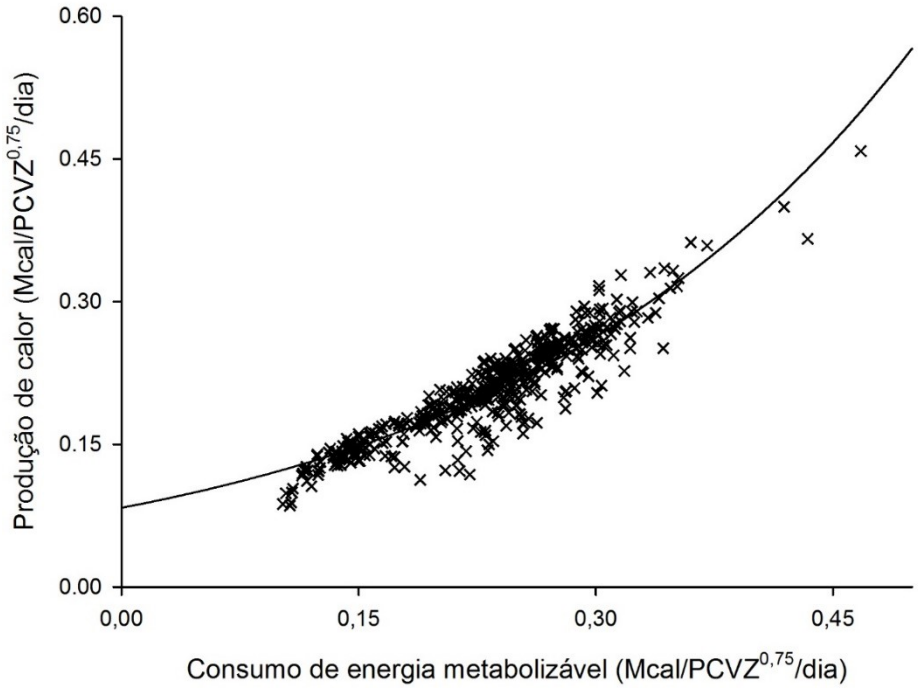


Figura 8.2 - Relação exponencial entre a produção de calor e o consumo de energia metabolizável para animais Zebuínos criados em condições de confinamento, com base na equação 8.7

De modo geral, o valor estimado de 75 kcal/PCVZ^{0,75}/dia para a ELm se mostra consistente, uma vez que se assemelha aos valores reportados na literatura, como por exemplo, a taxa metabólica basal, medida em câmara respirométrica, de 69 kcal/PCVZ^{0,75}/dia (Poczopko, 1971).

O NRC (2000) sugere que não há diferença entre machos castrados e fêmeas sobre a ELm, comportamento descrito também pelo ARC (1980) e CSIRO (1990), e recomenda o valor de 77 kcal/PCVZ^{0,75}/dia. O NRC (2000) também sugere que machos não castrados teriam um requerimento de ELm 15% superior às outras classes, no entanto, tais diferenças não foram observadas em nosso banco de dados (Webster et al., 1982; Ferrell e Jenkins, 1985).

O NASEM (2016) mudou a recomendação da edição anterior (NRC, 2000) de 77 kcal/PCVZ^{0,75}/dia para machos castrados e fêmeas, para 77 kcal/PCJ^{0,75}/dia e também recomenda um acréscimo de 15% na ELm para machos não castrados. Também há a sugestão de que animais Zebuínos, exceto Nelore, apresentariam requerimentos de ELm em torno de 10% menores que animais de origem taurina, ou seja, em torno de 69 kcal/kg PCJ^{0,75}/dia. No entanto, deve-se salientar que diferenças entre sexos não foram observadas em nosso banco de dados. Comportamento similar foi observado por Chizzotti et al. (2008), que em um estudo envolvendo a análise de dados de 389 animais Nelore puros ou cruzados de corte (Angus, Red Angus, Simental, Limousin e Brangus), não

observaram efeitos de grupos genéticos e estimaram a ELm de aproximadamente 75 kcal/PCVZ^{0,75}/dia. De forma geral, pode-se observar a similaridade entre os valores reportados em 2010 e 2016, o que reitera a consistência do banco de dados do BR-CORTE e a aplicabilidade dos valores estimados.

b) Animais em pastejo

A segunda edição do BR-CORTE apresentou diferenças na estimativa da ELm para machos Nelore não castrados de acordo com o sistema de criação, sendo obtidos os valores de 74,2 e 71,7 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, para animais criados em confinamento e em pastejo, respectivamente. No entanto, utilizando o banco de dados da terceira edição (BR-CORTE 2016) não foi observado efeito (*P = 0,16*) do sistema de criação sobre a estimativa do β_0 da equação 8.6, sendo adotado o mesmo valor de 75 kcal/PCVZ^{0,75}/dia para a ELm tanto para animais criados em confinamento quanto em pastejo. Por outro lado, foi observada diferença significativa (*P = 0,039*) sobre a estimativa do parâmetro β_1, o que sugere diferenças quanto EMm.

$$PCalor = 0{,}0749 \times e^{4{,}1986 \times CEM} \qquad \text{Eq. 8.10}$$

em que: PCalor = produção de calor (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia) e CEM = consumo de energia metabolizável (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia).

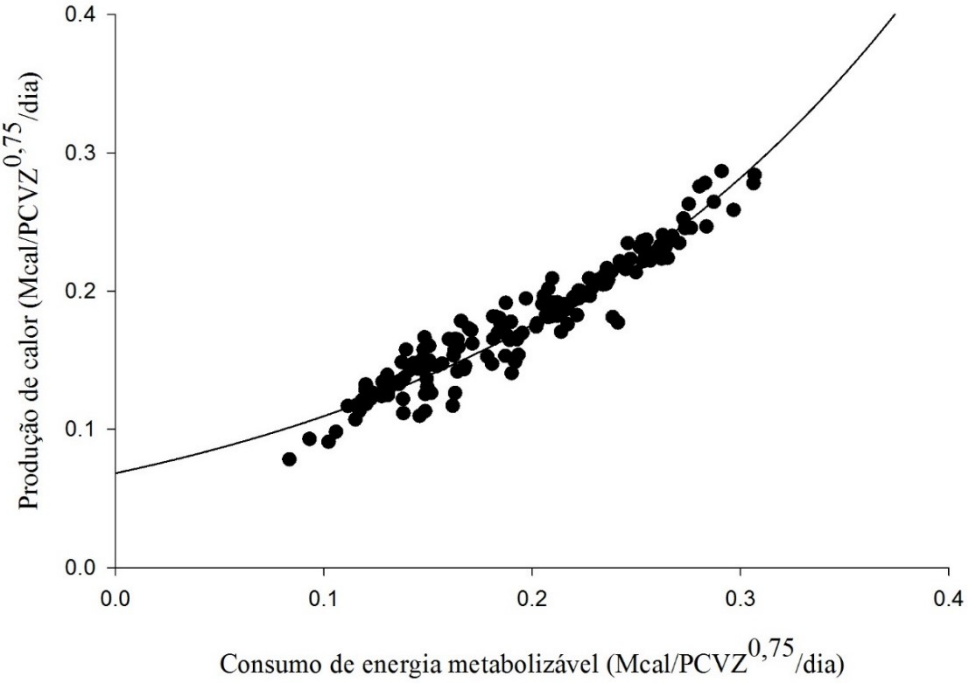


Figura 8.3 - Relação exponencial entre a produção de calor e o consumo de energia metabolizável para animais Zebuínos criados em condições de pastejo, com base na equação 8.10.

Teoricamente, a ELm é afetada por características que afetam o metabolismo basal e é independente da dieta, o que justifica a equivalência dos valores para animais criados em sistemas diferentes (Garrett et al., 1959).

Exigências de energia metabolizável para mantença

A utilização do valor encontrado para a ELm é limitada e não permite aplicação prática na formulação de dietas, uma vez que animais em produção não se encontram em estado de jejum, assim, torna-se necessário calcular a exigência de mantença em uma forma mais aplicável. Nesse contexto, surge o conceito da EMm, que pode ser entendido como o ponto em que todo o consumo de energia metabolizável é utilizado para a produção de calor, ou seja, não há nenhuma retenção de energia no corpo (Lofgreen e Garrett, 1968).

Para obter a EMm é necessário ter o conhecimento da eficiência com que a energia metabolizável é utilizada para mantença (*km*). Essa eficiência pode ser obtida através da aplicação de um processo iterativo ao modelo

exponencial da produção de calor em função do consumo de energia metabolizável. Com isso, encontra-se o ponto onde a produção de calor e o consumo de energia metabolizável se igualam, cujo valor é considerado a EM_m (Mcal/$PCVZ^{0,75}$/dia), e a *km* é estimada a partir da relação entre ELm e EMm (Figura 8.1).

Essa técnica de estimativa da *km,* apesar de ser clássica e já ter sido utilizada na primeira versão do BR-CORTE (Valadares Filho et al., 2006), foi refutada na segunda edição (BR-CORTE, 2010) passada por não levar em consideração a ação de uma série de fatores que podem afetar a *km*. Dentre esses fatores, podem ser destacados sexo, raça, idade, ambiente e a concentração de energia metabolizável da dieta (AFRC, 1993; NRC, 2000; CSIRO, 2007). Além disso, existem fortes evidências de que a *km* é afetada também por características ligadas ao desempenho dos animais, como a taxa e a composição do ganho de peso (Williams e Jenkins, 2003; Marcondes et al., 2010).

a) Animais em Confinamento

Marcondes et al. (2013) estudaram, através de uma meta-análise, o efeito de diversas variáveis sobre a *km*, sendo encontrado efeito da eficiência de uso da energia metabolizável para ganho (*kg*) e do ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ) sobre a *km* (Eq. 8.11), o que afirma que os requisitos de mantença são afetados pelo desempenho dos animais.

$$km = [\beta_0 + (\beta_1 \times kg) + (\beta_2 \times GPCVZ)] \times \theta$$

Eq. 8.11

em que: *km* = eficiência de uso da energia metabolizável para mantença; *kg* = eficiência de uso da energia metabolizável para ganho de peso; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio; β_0, β_1 e β_2 = parâmetros da equação e θ = fator de ajuste para sistema de criação.

Adicionalmente, Marcondes et al. (2013) evidenciaram efeito do grupo genético sobre a estimativa do parâmetro associado ao GPCVZ dos animais, o que reafirma os resultados encontrados no parâmetro β_1 das equações 8.7; 8.8 e 8.9.

Reavaliando o modelo proposto por Marcondes et al. (2013), com base no banco de dados atualizado do BR-CORTE, foi confirmada a diferença entre grupos genéticos sobre o parâmetro associado ao GPCVZ (β_2), sendo mantidos os valores originais reportados pelos autores para animais Zebuínos e cruzados de corte. Considerando os dados de animais Zebuínos e cruzados de corte, foi observada uma alta acurácia (85,04%; Lin e Torbeck, 1998; Tedeschi, 2004) do modelo proposto por Marcondes et al. (2013). Assim, decidiu-se pela manutenção da equação de *km* para zebuínos e cruzados de corte e foi realizada uma reparametrização do modelo para cruzados de leite, de forma a minimizar o Quadrado Médio do Erro das estimativas da *km* para esses animais:

$$km = [0{,}513 + (0{,}173 \times kg) + (\beta_2 \times GPCVZ)] \times \theta$$

Eq. 8.12

em que: *km* = eficiência de uso da energia metabolizável para mantença; *kg* = eficiência de uso da energia metabolizável para ganho de peso; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia); β_2 = 0,100 para Zebuínos; 0,073 para cruzados de corte e 0,010 para cruzados de leite e θ = fator de ajustamento para sistema de criação que assume o valor de 1 para animais criados em confinamento.

O modelo é coerente com as conclusões de Garrett (1980b), o qual sugeriu que a *km* seria afetada pela composição corporal e o plano nutricional, uma vez que a *kg* é afetada pela composição do ganho (como será mostrado a seguir), e o GPCVZ é efeito do plano de nutrição. Segundo o autor, variações no *turnover* proteico poderiam ser responsáveis por parte da variação da *km*, e dessa forma, os grupos genéticos avaliados teriam diferenças em seu *turnover* proteico.

A maioria dos sistemas de exigências nutricionais estimam a *km* com base em características da dieta. O AFRC (1993) e CSIRO (2007) levam em consideração a relação entre a concentração de energia metabolizável e energia bruta da dieta (q_m) (equações 8.13 e 8.14, respectivamente). A *km* estabelecida pelo NRC (2000) e NASEM (2016) é baseada no trabalho de Garrett (1980) e considera a concentração de energia metabolizável da dieta [EM] como a variável que afeta a estimativa da concentração de energia líquida de mantença [ELm] (Eq. 8.15),

sendo a *km* obtida dividindo-se [ELm] pela [EM]. Por outro lado, Fox et al. (2004) recomendaram um valor fixo de 0,64.

$$km = (0{,}35 \times q_m) + 0{,}503 \quad \text{Eq. 8.13}$$

$$km = (0{,}02 \times q_m) + 0{,}500 \quad \text{Eq. 8.14}$$

$$ELm = -1{,}12 + 1{,}37 \times EM - 0{,}138 \times EM^2 + 0{,}0105 \times EM^3 \quad \text{Eq. 8.15}$$

em que: *km* = eficiência de uso da energia metabolizável para mantença; qm = proporção entre a energia metabolizável e energia bruta da dieta (expressa em % na Eq. 8.13, e em MJ/kg de MS na Eq. 8.14) e EM = concentração de energia metabolizável da dieta (Mcal/kg de matéria seca).

Como citado anteriormente, o NRC (2000) e o NASEM (2016) sugeriram que animais *Bos taurus indicus,* exceto Nelore, teriam uma ELm 10% menor que animais taurinos. No entanto, como foi apresentado anteriormente, não foi evidenciada nenhuma diferença quanto à ELm em nosso banco de dados, considerando animais cruzados e zebuínos de diferentes classes sexuais. Porém, o modelo de cálculo da *km* indica que essa diferença pode não estar relacionada à ELm, mas sim à sua eficiência de utilização, onde animais *Bos taurus indicus* seriam mais eficientes que animais cruzados de corte, e esses mais eficientes que animais cruzados de leite.

b) Animais em pastejo

Com relação ao sistema de criação, Marcondes et al. (2013) não fizeram comparações entre condições de confinamento e pastejo no desenvolvimento dos modelos da *km*. Entretanto, a aplicação do método iterativo sobre as equações geradas com o banco de dados de animais Zebuínos criados em confinamento (Eq. 8.7) e de animais criados em pastejo (Eq. 8.10), demonstrou que há influência do sistema de criação sobre a estimativa da EMm. O valor obtido de EMm para animais em pastejo foi 128 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, enquanto para animais Zebuínos em confinamento foi de 118 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, o que representa um acréscimo de 8,5% na estimativa final da EMm para animais em pastejo, ou seja, animais em pastejo apresentam uma *km* 8,5% menor que animais criados em confinamento.

$$km = (0{,}513 + 0{,}173 \times kg + 0{,}100 \times GPCVZ) \times \theta \quad \text{Eq. 8.16}$$

em que: *km* = eficiência de uso da energia metabolizável para mantença; *kg* = eficiência de uso da energia metabolizável para ganho de peso; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia) e θ = fator de ajustamento para sistema de criação que assume o valor de 0,92 para animais criados em pastejo.

A menor *km* de animais em pastejo pode estar ligada ao maior gasto com locomoção e apreensão da forragem, que pode estar reduzindo a eficiência de utilização da energia dietética. Outro aspecto está relacionado à qualidade das dietas, uma vez que pastagens, geralmente, apresentam uma concentração de energia metabolizável menor que dietas de confinamento, o que pode levar a uma redução na *km* (Garrett, 1980b).

Fatores que influenciam a exigência de mantença

a) Atividades Voluntárias

As exigências nutricionais têm sido estimadas principalmente em animais confinados, devido à possibilidade de mensuração do alimento fornecido e do consumo de energia metabolizável. Entretanto, para animais criados em pastagem, a atividade locomotora é reconhecidamente superior em relação a animais confinados. Nesse sentido, o CSIRO (2007) considera que animais em pastejo gastam mais energia com a atividade de ingestão que animais confinados e assume que a energia despendida com a caminhada é de 0,62 kcal/*km* de deslocamento horizontal e de 6,69 kcal/*km* de deslocamento vertical e que a energia metabolizável adicional de ingestão, expressa em MJ, pode ser calculada por 0,0025 x CMSp x (0,9 – DMSp), onde CMSp é o consumo de matéria seca (kg/dia) de pasto e DMSp a digestibilidade da matéria seca do pasto. Adotando essas correções, animais a pasto apresentariam exigências de mantença 10 a 20% superiores em relação à animais confinados, dependendo da topografia do terreno, da taxa de lotação, e da disponibilidade e qualidade do pasto.

Na terceira edição (BR-CORTE, 2016), apenas 6 dos 38 estudos presentes no banco de dados foram desenvolvidos em

condições de pastejo. Este grupo de animais foi avaliado separadamente quanto aos requerimentos nutricionais e, como já observado anteriormente, houve um acréscimo de 8,5% nas exigências de EMm de animais mantidos em condições de pastejo. No entanto, ainda existe grande variabilidade e escassez nos dados de animais a pasto, o que mostra que ainda há muito a ser feito nesse sistema. Experimentos de abate comparativo, para estimação dos requerimentos nutricionais, conduzidos em pastejo são de difícil condução, pois tanto o consumo de suplemento e pasto, como a excreção fecal são geralmente estimados com o uso de indicadores.

Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos para aperfeiçoar os métodos de estimação do consumo e excreção de animais em pastejo (Ferreira et al., 2009), contudo mais experimentos são necessários para aumentar o número de repetições e proporcionar condições para que os procedimentos estatísticos identifiquem com maior precisão o efeito do pastejo sobre os requisitos de mantença.

b) Efeitos ambientais

Os principais fatores envolvidos na determinação do conforto térmico são: o ambiente (temperatura do ar, umidade do ar, radiação solar, e pressão atmosférica), a estrutura da pele do animal (espessura, isolamento térmico, penetração pelo vento, ventilação, emissividade, absorvidade e refletividade) e características corporais (forma corporal, tamanho, área de superfície, área exposta à radiação solar, emissividade e absorvidade da epiderme) (Silva, 2000). A faixa de conforto térmico, delimitada pelas temperaturas críticas inferior e superior, é definida como a faixa de temperatura em que não há gasto adicional de energia para manutenção da temperatura corporal.

Deste modo, sob estresse térmico por calor, o consumo de matéria seca é inferior, entretanto, como a temperatura crítica superior é ultrapassada durante curtos períodos do dia, o consumo pode ser recuperado em horários de temperatura mais amena. Sendo assim, o uso desse ajuste é recomendado apenas em casos extremos.

O estresse térmico por calor aumenta a frequência respiratória, a taxa de batimentos cardiácos e a ofegação, aumentando o gasto energético para a manutenção da temperatura corporal, porém também diminui a produção metabólica de calor o que dificulta a adoção de ajustes nas exigências nutricionais para esse fator.

Neste sentido, o NRC (2000) recomenda ajustes nas exigências de energia para mantença da ordem de 0,0007 Mcal/$PC^{0,75}$ para cada 1ºC de variação que a temperatura ambiente tenha em relação à temperatura padrão de 20ºC. Assim, quando a temperatura ambiental for maior que 20ºC haverá uma redução na exigência de mantença e um aumento na exigência de mantença é esperado quando temperaturas inferiores à 20ºC são registradas.

De um modo geral, são escassos estudos no Brasil que avaliem o efeito das variáveis ambientais sobre as exigências nutricionais dos animais. Sendo assim, não serão recomendados ajustes para tais fatores nesta publicação.

EXIGÊNCIAS DE ENERGIA PARA GANHO

Peso de corpo vazio equivalente

A aplicação de mensurações de desempenho, como o ganho médio diário, é essencial em sistemas de predição de exigências nutricionais. Porém, tão importante quanto ter noção do ganho médio diário dos animais, é entender a composição que o ganho apresenta (Marcondes et al., 2016). Uma das formas de inferir sobre a composição do ganho dos animais é através do peso corporal à maturidade dos animais, uma vez que quanto mais próximo deste peso, maior será a tendência a depositar maiores teores de gordura em relação à proteína no peso de corpo vazio.

Primariamente, o peso à maturidade foi correlacionado ao peso estável de uma vaca adulta de determinada raça. No entanto, a aplicação desse valor para animais em crescimento pode não proporcionar resultados satisfatórios, uma vez que algumas raças atingem o peso à idade adulta muito acima do peso normalmente preconizado para abate de bovinos, aliado ao fato de muitos animais estabilizarem muito antes sua composição corporal (Reid et al., 1955). Seguindo este

raciocínio, diversas formas foram propostas para estimar o peso à maturidade dos animais, sendo que elas tentam correlacioná-lo com curvas de crescimento (Brown et al., 1976; Menchaca et al., 1996).

De acordo com Reid et al. (1955) e Marcondes et al. (2016), o peso à maturidade seria atingido quando a concentração de proteína bruta na matéria seca livre de gordura dos animais se tornasse constante, ou seja, toda a deposição de tecidos seria na forma de gordura. Para Tedeschi et al. (2002), o peso vivo à maturidade de animais Nelore seria alcançado quando estes animais atingissem um teor de 22% de gordura corporal no peso de corpo vazio. Já para o NRC (2000), o teor de gordura corporal que definiria o peso à maturidade seria de 25% para animais com apenas traços de marmoreio, que é o caso de animais Zebuínos.

A partir da composição genética dos animais presentes no banco de dados do BR-CORTE e com base na análise dos dados de composição corporal destes animais, optou-se por estabelecer o peso de corpo vazio à maturidade, com base na relação exponencial entre o conteúdo corporal de gordura e o peso de corpo vazio dos animais, considerando 25% de gordura corporal como o ponto de maturidade (Figura 8.4), uma vez que os animais do banco de dados têm, em sua maioria, um baixo grau de marmoreio (NRC, 2000).

$$GC = \beta_0 \times e^{(\beta_1 \times PCVZ)} \qquad \text{Eq. 8.17}$$

onde: GC = conteúdo de gordura corporal (kg); PCVZ = peso de corpo vazio (kg) e β_0 e β_1 são parâmetros da equação.

A partir da aplicação do modelo descrito acima sobre o banco de dados, observou-se efeito de grupo genético e classe sexual para a estimativa do peso de corpo vazio à maturidade dos animais, sendo recomendados os valores apresentados na Tabela 8.5. Arnold and Bennett (1991a; b) sugeriram um peso à maturidade de 517 kg para animais não castrados e 315 kg para novilhas, ambos de raças de tamanho corporal médio. Já Oltjen et al. (1986) estimaram um valor de maturidade de 450 kg para animais castrados.

Considerando que animais Nelore são considerados de médio porte (NRC, 2000), pode-se visualizar a convergência entre os dados estimados nesta publicação e os valores reportados na literatura. Animais cruzados tiveram maiores valores de peso à maturidade, o que está relacionado com a utilização de raças de grande porte nos cruzamentos, o que aumenta o peso à maturidade da progênie.

O NRC (2000) sugere que seja feita uma correção, para a estimativa das exigências de energia para ganho, de peso dos animais de diferentes tamanhos corporais ou pesos à maturidade, o que geraria um valor que equivaleria todos os animais, sendo conhecido como peso de corpo vazio equivalente (PCVZeq).

Assim, pode-se calcular o PCVZeq a partir do valor de peso à maturidade sugerido anteriormente para cada tipo de animal e um valor referência de peso de corpo vazio, sendo adotado o modelo a seguir:

$$PCVZeq = (PCVZ / PCVZmat) \times PCVZref \qquad \text{Eq. 8.18}$$

em que: PCVZeq = peso de corpo vazio equivalente (kg); PCVZ = peso de corpo vazio (kg); PCVZref = peso de corpo vazio referência (517 kg) e PCVZmat = peso de corpo vazio à maturidade (kg).

A utilização do PCVZeq permite a comparação de animais de diversos grupos raciais e/ou classes sexuais em diferentes pontos de terminação. Para tanto, é necessário que seja bem estabelecido um valor de referência para aumentar a acurácia da estimativa. Assim, o peso de corpo vazio referência (PCVZref), é o peso onde todos os animais estariam em um mesmo ponto de maturidade.

Tabela 8.5 - Pesos de corpo vazio (PCVZ), corporal em jejum (PCJ) e corporal (PC) à maturidade para diferentes grupos genéticos/classes sexuais de bovinos de corte, estimados a partir da relação exponencial entre o conteúdo corporal de gordura e o peso de corpo vazio dos animais

Grupo genético	Classe Sexual	PCVZ (kg)	PCJ	PC
Zebuínos	Macho não castrado	517	585	595
	Macho castrado	433	477	487
	Fêmea	402	439	449
Cruzado de Corte	Macho não castrado	560	631	642
	Macho castrado	482	535	546
	Fêmea	417	457	467
Cruzado de Leite	Macho não castrado	616	692	708
	Macho castrado	532	588	602
	Fêmea	493	535	548

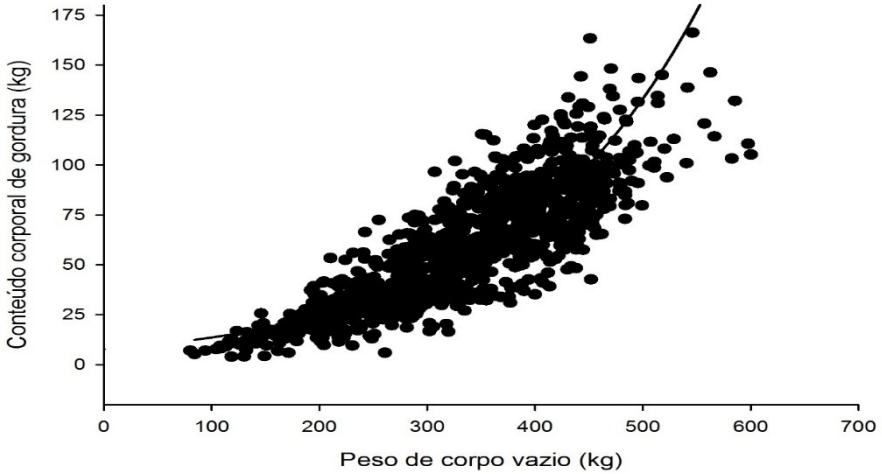


Figura 8.4 - Relação exponencial entre o conteúdo corporal de gordura e o peso de corpo vazio, considerando todos os animais do banco de dados do BR-CORTE.

Na segunda edição do BR-CORTE foi adotado o valor de 440 kg como sendo o PCVZref, valor este calculado com base no banco de dados daquela edição que continha todos os animais. Para a terceira edição (BR-CORTE 2016), optou-se por adotar o valor do peso de corpo vazio à maturidade de animais machos zebuínos não castrados (517 kg) como sendo o PCVZref. Esta decisão foi pautada na consistência apresentada pelo banco de dados destes animais, além de ser o que possui mais observações e devido a isto, possivelmente maior confiabilidade nas estimativas.

Exigência de energia líquida para ganho

A exigência de energia líquida para ganho de peso (ELg) pode ser entendida como toda a energia que é retida no peso de corpo vazio dos animais na forma de proteína ou gordura (Garrett et al., 1959). Sendo assim, a composição do ganho de corpo vazio é o principal determinante das exigências de energia para ganho de peso. Nesse sentido, o que determina a composição do ganho de corpo vazio não é o peso corporal absoluto, mas o peso relativo ao peso à maturidade do animal, sendo que quanto mais próximo ao peso à maturidade, maior é a deposição de gordura em relação à proteína, o que tende a aumentar as exigências de ganho de peso (Marcondes et al., 2016).

Neste contexto, o modelo proposto na terceira edição (BR-CORTE, 2016) para estimar a ELg baseia-se na relação da energia

retida no corpo em função do PCVZeq e do ganho de peso de corpo vazio desejado:

$$ELg = \beta_0 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{\beta_1} \quad \text{Eq. 8.19}$$

em que: ELg = exigência de energia líquida para ganho de peso (Mcal/dia); $PCVZeq^{0,75}$ = peso de corpo vazio metabólico equivalente (kg); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia) e β_0 e β_1 = parâmetros do modelo.

A partir da análise do banco de dados da terceira edição, foi evidenciada a necessidade de o PCVZeq absorver, além das diferenças intrínsecas a cada grupo genético (Figura 8.5B), também as diferenças entre classes sexuais (Figura 8.5A). Dessa forma, foi gerada uma equação conjunta, utilizando os dados de todos os animais terminados em confinamento (Eq. 8.20). Por outro lado, as exigências para animais em pastejo não foram alteradas em relação à última edição (Eq. 8.21).

$$ELg = 0,061 \times PCVeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035} \quad \text{Eq. 8.20}$$

$$ELg = 0,052 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,062} \quad \text{Eq. 8.21}$$

em que: ELg = exigência de energia líquida para ganho de peso (Mcal/dia); $PCVZeq^{0,75}$ = peso de corpo vazio metabólico equivalente (kg); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia).

Para o efeito de condição sexual e considerando animais Zebuínos, verificou-se uma ELg de animais castrados 14% superior em relação a machos não castrados e 7% inferior em relação às fêmeas (Figura 8.5A). Para animais cruzados de corte a ELg de animais castrados foi 12% superior a machos não castrados e 13% inferior a fêmeas. Já para animais cruzados de leite a ELg de animais castrados foi 12% superior a machos não castrados e 6% inferior à de fêmeas.

O NRC (2000), bem como o NASEM (2016), utilizaram um modelo similar ao recomendado no BR-CORTE para estimar a ELg, conforme a equação: $ELg = 0,0635 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,097}$, que é baseado na edição de 1984 (NRC, 1984) e foi gerada para animais de médio porte. Assim, para corrigir distorções em relação à composição corporal dos animais, o NASEM (2016) também recomenda a utilização do PCVZeq. Para calcular o PCVZeq, são utilizados três diferentes pesos referência, que são baseados no nível de marmoreio que é apresentado por diferentes grupos genéticos, sendo, 478 kg para animais com alto marmoreio, 462 kg para animais com marmoreio moderado e 435 para animais com apenas traços de marmoreio.

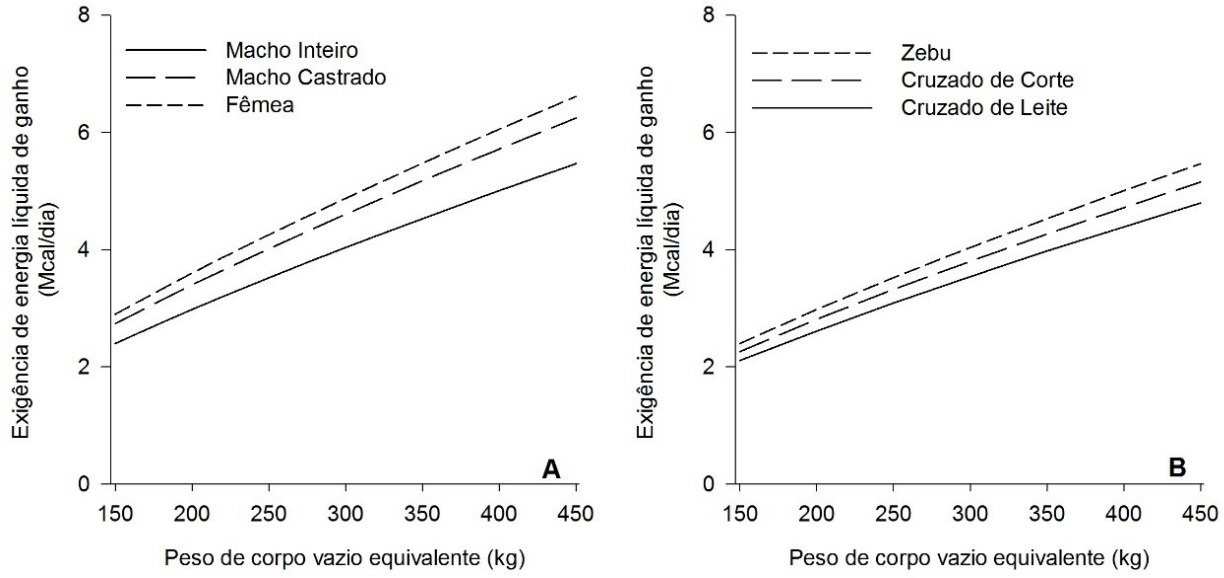


Figura 8.5 - Estimativa da exigência de energia líquida para ganho de animais zebuínos de diferentes classes sexuais (A) e para machos não castrados de diferentes grupos genéticos (B). Para todas as estimativas foi utilizando o modelo proposto para animais em confinamento, considerando o peso de corpo vazio equivalente inerente a cada categoria e um ganho de peso de corpo vazio de 1 kg/dia.

Diferenças entre os pesos à maturidade dos grupos genéticos refletem diferentes graus de deposição de gordura de animais com o mesmo peso corporal. Assim, para animais de mesmo peso absoluto e à mesma taxa de ganho em peso, são esperadas maiores concentrações energéticas no ganho, e, por consequência, maior ELg para animais de grupos genéticos com menor peso à maturidade em relação a animais de grupos genéticos que apresentam maturidade mais tardia (Marcondes et al., 2016).

Por fim, o GPCVZ pode ser estimado a partir da energia líquida disponível para ganho, a qual seria computada a partir da diferença entre o total de energia ingerida pelo animal e a sua exigência de energia líquida para mantença, utilizando o seguinte modelo:

$$GPCVZ = 14{,}914 \times ELg^{0{,}9662} \times PCVZeq^{-0{,}7246}$$

Eq. 8.22

Neste contexto, um animal nelore não-castrado com um peso corporal de 350 kg, que equivaleria a um PCVZeq de 300 kg, teria um consumo de matéria seca de aproximadamente 8 kg/dia, com uma exigência de energia líquida para mantença de 5,40 Mcal/dia e um valor de energia líquida disponível para ganho de 5,12 Mcal/dia, o que permitiria almejar um GPCVZ de aproximadamente 1,16 kg/dia.

Uso do ganho de carcaça para estimativa da ELg

Esse tópico foi desenvolvido com base no trabalho publicado por Benedeti et. al. (2021). Como mencionado anteriormente, a ELg é a quantidade de energia que é retida no PCVZ na forma de proteína ou gordura (Garret et al., 1959). Assim, os sistemas NASEM (2016) e BR-CORTE (2016) consideram o PCVZeq e o GPCVZ como variáveis para predizer a ELg. O PCVZeq pode ser usado para corrigir distorções relacionadas à composição corporal dos animais, a fim de gerar um valor equivalente para animais com diferentes pesos à maturidade (Valadares Filho et al., 2019). Por outro lado, o GPCVZ considera todos os constituintes do corpo, incluindo componentes da carcaça, couro, sangue, vísceras, etc (Gionbelli et al., 2016). No entanto, a obtenção dessa medida é trabalhosa, uma vez que o trato gastrointestinal precisa ser totalmente lavado e pesado com outros componentes da carcaça e não carcaça. Além disso, esses procedimentos não são comumente realizados em abatedouros comerciais, impedindo o uso de dados de bovinos comerciais para o desenvolvimento de modelos que predizem as exigências de energia de bovinos de corte.

O peso de carcaça (PCarc) é uma medida comumente coletada no abate de bovinos de corte e representa apenas o acúmulo de tecido na carcaça. Assim, a substituição do GPCVZ pelo ganho de carcaça (GC) poderia simplificar a estimativa dos requisitos de ELg. Assim, como primeiro passo, Benedeti et al. (2021) propuseram um novo modelo (Eq. 8.23) para estimativa do PCarc de bovinos de corte de diferentes gêneros (fêmea, macho castrado, macho não castrado), genótipos (Zebuíno, cruzado de corte e cruzado de leite) e condições de abate (experimental e comercial). Mais detalhes podem ser vistos no Capítulo 6.

$$PCarc, kg = -11{,}0 + P + [(0{,}609 + G + B) \times PCJ]$$

Eq. 8.23

em que: PC = peso de carcaça (kg); P = condição de abate (se comercial = -10,98, se experimental = 0); G = efeito de gênero (se fêmea = - 0,00612, se macho castrado = 0, se macho não castrado = 0,008169), B = efeito de genótipo (se Zebuíno = 0, se cruzado de corte = - 0,01595, se cruzado de leite = - 0,03301), e PCJ = peso corporal em jejum (kg).

Medidas de desempenho (como GMD, GC e GPCVZ) são importantes para a predição das exigências de energia, pois elas podem estar relacionadas com a energia necessária para a deposição de massa corporal (Costa e Silva et al., 2016). Assim, as equações atuais do BR-CORTE (2016) usam o GPCVZ para estimar a ELg (Eq. 8.19). O GPCVZ, por sua vez, é calculado utilizando uma equação não linear que considera o GMD como variável independente:

$$GPCVZ, kg/dia = 0{,}9630 \times GMD^{1{,}0151}$$

Eq. 8.24

em que: GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia); GMD = ganho médio diário (kg/dia).

Uma questão que deve ser levada em consideração é que os valores de GMD podem variar de acordo com o método de pesagem.

Nesse sentido, animais podem ser pesados após diferentes períodos de jejum (Krinchev et al., 2018; Martins et al., 2019) ou até mesmo não passarem por período de jejum prévio ao abate (algumas condições comerciais). Além disso, em plantas comerciais, os animais podem ser transportados por longas distâncias antes da pesagem e do abate, o que pode afetar o valor de GMD calculado. Dessa forma, o uso do GC pode ser uma alternativa para substituir o GMD nos cálculos do GPCVZ. Assim, após a validação da Eq. 8.23, foram desenvolvidos dois modelos com objetivos de: 1) predição do GPCVZ a partir do GC; 2) Predição da ELg a partir do GC (Benedeti et al., 2021).

Para essa meta-análise, foram utilizados dados de 21 estudos (Tabela 8.6). Dessa forma, o banco de dados com 636 observações individuais de fêmeas, machos castrados e machos não castrados de diferentes genótipos (Zebuíno, cruzado de corte e cruzado de leite). Todos os estudos utilizaram o abate comparativo como método para determinar a composição corporal e a retenção de energia nos animais (Garrett et al., 1959).

Para a predição do GC a partir do GPCVZ, um modelo linear com intercepto teve o menor valor para o critério de informação de Akaike. Por outro lado, uma equação não linear teve o melhor ajuste para predição da ELg quando o GPCVZ foi substituído por GC. Assim, os novos modelos propostos para predição de GPCVZ e ELg foram:

$$GPCVZ\ (kg) = 0{,}044 + 1{,}47 \times GC$$

Eq. 8.25

$$ELg\ (Mcal/dia) = 0{,}082 \times PCVZeq^{0{,}75} \times GC^{0{,}777}$$

Eq. 8.26

Em que: GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia), GC = ganho de carcaça (kg/dia), ELg = energia líquida para ganho (Mcal/dia) e PCVZeq = peso corporal vazio equivalente (kg). A relação entre ELg e GC dos animais usados para desenvolver as novas equações estão apresentadas na Figura 8.6.

Tabela 8.6 - Estatística descritiva dos dados usados para desenvolver modelos para predizer o ganho de corpo vazio e energia líquida para ganho de animais zebuínos com diferentes gêneros e genótipos

Item*	Dados totais	Gênero			Genótipo		
		Macho não castrado	Macho castrado	Fêmea	Zebuíno	Cruzado de corte	Cruzado de leite
Estudos (n)	21	14	8	7	13	6	4
Animais (n)	636	362	151	123	349	190	97
Inicial (kg)							
PCJ	285	287	319	233	260	302	337
PCVZ	247	250	275	203	229	262	279
PCarc	154	158	175	117	142	164	173
Final (kg)							
PCJ	400	421	422	312	368	437	441
PCVZ	362	382	379	279	336	395	389
PCarc	232	248	240	174	216	256	243
GPCVZ (kg/d)	1,05	1,17	1,05	0,716	0,955	1,10	1,31
GC (kg/d)	0,804	0,83	0,887	0,626	0,821	0,759	0,828
ELg ($kJ \times d^{-1}/PCVZ^{0,75}$)	340	348	378	272	323	336	412

GC = ganho de carcaça; PCarc = peso de carcaça; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio; PCVZ = peso do corpo vazio; ELg = energia líquida para ganho; PCJ = peso corporal em jejum.

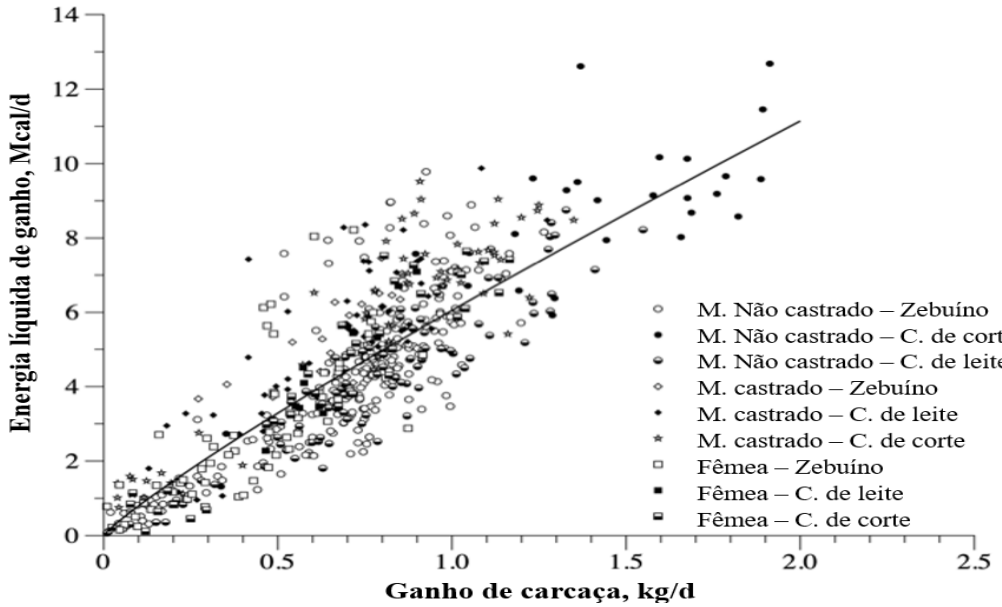


Figura 8.6 - Relação entre energia líquida para ganho e ganho de carcaça dos animais utilizados para desenvolver as novas equações para a estimativa do ganho de corpo vazio e energia líquida para ganho (adaptada de Benedeti et al., 2021).

As validações das duas novas equações (Eq. 8.25 e 8.26) foram realizadas usando dados de 5 estudos independentes (Tabela 8.7), englobando dados do nosso grupo de pesquisa (Internos) e de publicações da literatura (Externos; Goulart et al., 2008; Bonilha et al., 2013; Bonilha et al., 2014). O conjunto de dados internos foi composto por 49 observações, englobando apenas machos não castrados com dois genótipos (Zebuíno e cruzado de leite). O conjunto de dados externos foi composto por 8 médias calculadas de 115 animais, englobando apenas machos não castrados com dois genótipos (Zebuíno e cruzado de corte).

Tabela 8.7 - Estatísticas descritivas dos dados usados para validar os modelos desenvolvidos para prever o ganho de corpo vazio e energia líquida para ganho de animais zebuínos com diferentes gêneros e genótipos

Item	Conjunto de dados*	
	Interno	Externo
Estudos, n	2	3
Animais, n	49	8**
Gênero, %		
Macho não castrado	100	100
Genótipo, %		
Zebuíno	55,1	80,0
Cruzado de corte	-	20,0
Cruzado de leite	44,9	-
Ganho de carcaça, kg/d	0,59	0,677
Peso de corpo vazio equivalente, kg	302	343

*Interno = dados independentes dos estudos do nosso grupo de pesquisa; Externo = dados independentes de publicações da literatura (Goulart et al., 2008; Bonilha et al., 2013; Bonilha et al., 2014).
**8 médias calculadas de dados de 115 animais.

Analisando a Eq. 8.25, pode-se observar que quando o GPCVZ é estimado a partir do GC, espera-se que animais de alto desempenho tenham maior deposição de carcaça, o que parece biologicamente plausível. Como exemplo de cálculo, animais com 0,200 e 1,00 kg de GC teriam os GPCVZ estimados de 0,338 e 1,51 kg, respectivamente. Assim, o GC representa 59,4%

do GPCVZ para o primeiro animal, enquanto a mesma relação para o animal de maior desempenho é de 66,2%. De acordo com a literatura, a relação GC/GPCVZ de zebuínos varia de 60,0 a 65,0% (Costa et al., 2005; Missio et al., 2009). Dessa forma, as análises de validação mostraram que a Eq. 8.25 estimou adequadamente o GPCVZ usando tanto os dados de nosso grupo de pesquisa (interno), quanto de outras publicações da literatura (externo; Tabela 8.8). Além disso, os altos R, CCC e baixo MSEP observados para a nova abordagem indicam boa reprodutibilidade e precisão da equação proposta, tornando-a adequada para estimar GPCVZ a partir do GC.

Com relação ao modelo proposto para calcular a ELg a partir do GC (Eq. 8.26), os resultados indicaram uma relação não linear entre esses dois parâmetros, evidenciada pelo aumento das necessidades energéticas observadas para animais com melhor desempenho. Assim, na validação, o modelo proposto apresentou o maior CCC e o menor valor de MSEP, indicando alta reprodutibilidade e acurácia. Além disso, o particionamento do MSEP apresentou baixa participação de SB e MaF, o que indica menor proporção de erro de predição associado ao modelo. Ainda, a análise de validação com dados externos mostrou que a equação foi adequada para prever a ELg, o que é apoiado por seus altos valores de R e CCC e baixos MSEP. Esses resultados indicam que o modelo apresentou bom índice de reprodutibilidade, o que pode ser responsável simultaneamente pela acurácia e precisão. Portando, a equação estimou com acurácia e precisão a ELg para animais zebuínos e, portanto, pode ser usada para esse propósito. No entanto, embora as novas equações propostas para estimar ELg usando GC tenham sido validadas, as estimativas de PCarc ainda são muito variáveis, principalmente para animais abatidos em abatedouros comerciais. Assim, mais resultados serão necessários para que os modelos propostos fiquem mais robustos. Portanto, o comitê decidiu por recomendar as Eq. 8.20 e 8.21, que estimam a ELg utilizando o PCVZeq e o GPCVZ.

Tabela 8.8 - Estatística de validação da relação entre os valores (observados e estimados) de ganho de corpo vazio (GPCVZ) e energia líquida para ganho (ELg) de animais zebuínos com diferentes gêneros e genótipos

Item*	Avaliação da Eq.8.25 (GPCVZ, kg/d)		Avaliação da Eq. 8.26 (ELg, MJ/d)			
			Interno**		Externo**	
	Observado	Estimado	Observado	Estimado	Observado	Estimado
Média	0,922	0,939	14,3	16,5	16,8	19,8
Desvio padrão	0,367	0,332	6,84	6,68	6,96	4,40
Máximo	1,69	1,66	28,3	32,7	25,4	26,6
Mínimo	0,093	0,089	0,767	0,935	8,33	12,9
R	-	0,961	-	0,92	-	0,922
CCC	-	0,956	-	0,874	-	0,736
Regressão						
Intercepto						
Estimativa	-	-0,074	-	-1,24	-	-12,0
Erro padrão	-	0,045	-	1,04	-	5,05
P-valor (H_0: a=0)	-	0,109	-	0,240	-	0,055
Inclinação						
Estimativa	-	1,06	-	0,942	-	1.457
Erro padrão	-	0,045	-	0,058	-	0,251
P-valor (H_0: b=1)	-	0,184	-	0,327	-	0,117
MSEP	-	0,011	-	12,0	-	18,9
SB	-	0,0003	-	4,82	-	8,96
MaF	-	0,0004	-	0,147	-	3,55
MoF	-	0,01	-	7,02	-	6,38

*R = coeficiente de determinação; CCC = coeficiente de correlação e concordância; MSEP = erro quadrático médio da previsão; SB = viés; MaF = magnitude da flutuação aleatória; MoF = flutuação aleatória do modelo.

**Interno = dados independentes dos estudos do nosso grupo de pesquisa; Esterno = dados independentes de publicações da literatura (Goulart et al., 2008; Bonilha et al., 2013; Bonilha et al., 2014).

Exigência de energia metabolizável para ganho

Da mesma forma que a ELm, a ELg não apresenta uma aplicação direta na formulação de dietas, necessitando ser convertida para a forma de exigência de energia metabolizável para ganho (EMg). Assim, para converter a ELg em EMg, torna-se necessário conhecer a eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho de peso (*kg*).

Geralmente, a *kg* é estimada a partir de uma regressão linear da energia retida em função do consumo de energia metabolizável para ganho, onde assume-se que inclinação desta reta (β_1) representaria a *kg* (Figura 8.7).

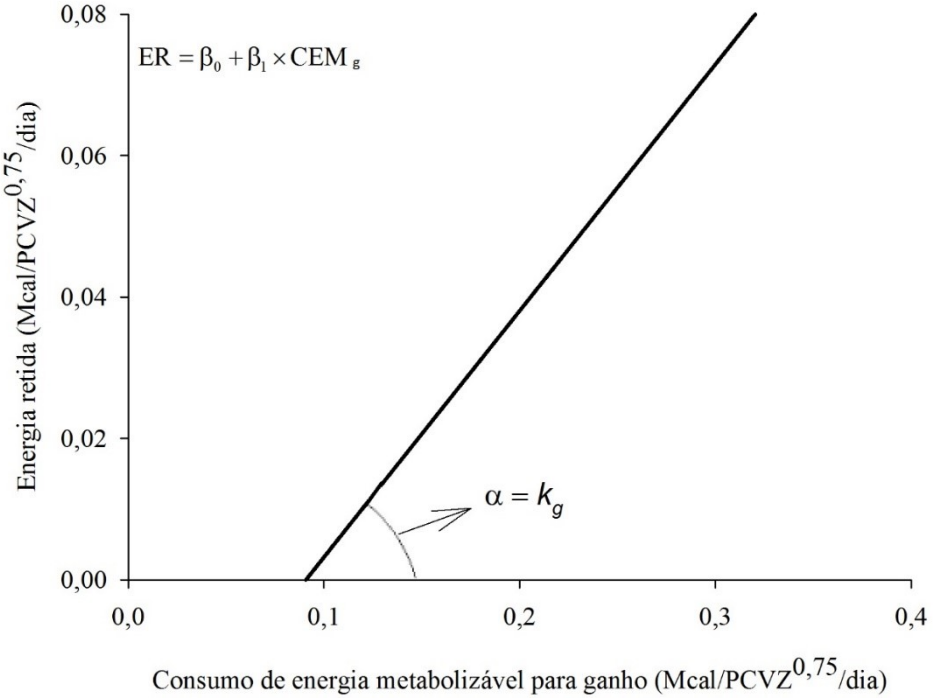


Figura 8.7 - Relação entre energia retida e consumo de energia metabolizável para ganho.

No entanto, observa-se alta variação dos valores de *kg* entre experimentos quando o mesmo é considerado constante (Figura 8.7), pois desprezam-se variações que ocorrem na deposição de tecidos. Assim, a eficiência de retenção da energia no corpo depende das proporções de energia retidas na forma de proteína e gordura. Destaca-se que a eficiência de deposição de energia em forma de gordura é superior à de proteína (Owens et al., 1995).

A gordura (principal forma de reserva energética) apresenta valor calórico de 9,367 kcal/g, enquanto a proteína apresenta 5,686 kcal/g (Blaxter e Rook, 1953; Garrett, 1958). Quanto maior a porcentagem de proteína no ganho, menor será a sua concentração energética e vice-versa. Partindo deste principio, Tedeschi et al. (2004) propuseram estimar a *kg* baseada na porcentagem de energia retida na forma de proteína e nas eficiências parciais de deposição de gordura e proteína:

$$Kg = (kgord \times kprot) / [kprot + (ERprot/100) \times (kgord - kprot)]$$

Eq. 8.27

em que: *kg* = eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho (%); kgord = eficiência de deposição de energia na forma de gordura (%); kprot= eficiência de deposição de energia na forma de proteína (%) e ERprot = proporção da energia retida na forma de proteína (%).

Reconhecidamente, a eficiência de deposição de energia na forma de gordura é maior do que na forma de proteína, sendo que Tedeschi et al. (2004) encontraram valores de 20 e 75% para kgord e kprot, respectivamente. Enquanto o CSIRO (2007) recomenda 45 e

75%, e Chizzotti et al. (2008) obtiveram 34 e 79% para kgord e kprot, respectivamente.

Entretanto, Marcondes et al. (2013) observaram superestimativas nos valores da *kg* quando utilizada a técnica acima e propuseram a estimativa da *kg* a partir da relação direta com a energia retida na forma de proteína (ERprot). Para isso, os autores obtiveram a *kg* a partir da relação entre a ER e o consumo de energia metabolizável para ganho (CEMg) para cada um dos 25 estudos e relacionaram os valores encontrados com diversas outras variáveis (Figura 8.8).

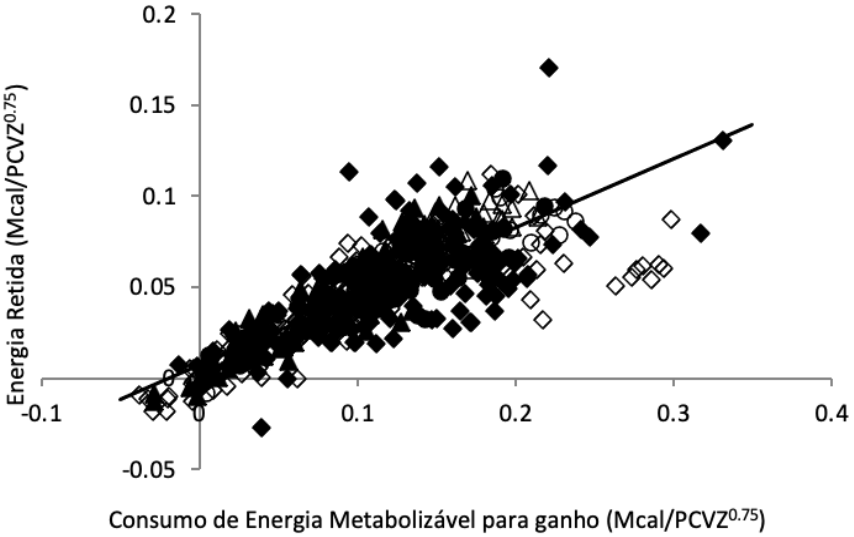


Figura 8.8 - Relação entre o consumo de energia metabolizável para ganho e a energia retida. Os símbolos representam dados de machos não castrados (▲, Δ), machos castrados (◊,♦), e fêmeas (○, ●). Pontos sólidos representam animais Nelore, e pontos vazios representam animais cruzados de corte (Adaptada de Marcondes et al., 2010).

Os autores observaram que a ERprot foi a melhor variável para explicar a *kg*, sendo que esta variável é importante por correlacionar a eficiência de ganho com a composição do ganho dos animais (Tedeschi et al., 2004; Chizzotti et al., 2008). Assim, a equação obtida por (Marcondes et al., 2013) e recomendada para estimativa da *kg* nesta edição é:

$$kg = 0{,}327 / (0{,}539 + ERprot) \quad \text{Eq. 8.28}$$

em que: *kg* = eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho e ERprot = proporção da energia retida na forma de proteína.

No entanto, a aplicação deste modelo depende de uma estimativa acurada da ERprot. Tedeschi et al. (2004) e Chizzotti et al. (2008) propuseram modelos exponenciais para estimar a ERprot, sendo as respectivas equações:

$$ERprot = 0{,}0554 + 1{,}6939 \times e^{[-0{,}5573 \times (ER / GPCVZ)]} \quad \text{Eq. 8.29}$$

$$ERprot = 10{,}1 + 166{,}7 \times e^{[-0{,}660 \times (ER / GPCVZ)]} \quad \text{Eq. 8.30}$$

Porém, Marcondes et al. (2013) não utilizaram o mesmo modelo, uma vez que para qualquer uma das equações acima, ainda haveria retenção na forma de proteína mesmo com ER igual a zero. Dessa forma os autores utilizaram um modelo potencial para descrever a retenção de energia na forma de proteína e obtiveram a seguinte equação:

$$ERprot = 1{,}140 \times (ER / GPCVZ)^{-1{,}137} \quad \text{Eq. 8.31}$$

em que: ERprot = proporção da energia retida na forma de proteína; ER=energia retida ou exigência de energia líquida para ganho (Mcal/dia) e GPCVZ=ganho de peso de corpo vazio (kg/dia).

O NRC (2000) e o NASEM (2016) adotam o princípio da concentração de energia metabolizável na dieta para estimar a concentração de energia líquida de ganho, sendo a *kg* estimada pela relação entre [ELg] e [EMg]. Da mesma forma, o AFRC (1993) considera a relação entre a energia metabolizável e a energia bruta para estimar o qm e posteriormente a *kg*.

$$ELg = -1,65 + 1,42 \times EM - 0,174 \times EM^2 + 0,0122 \times EM^3 \quad \text{Eq. 8.32}$$

$$km = (0,78 \times q_m) + 0,006 \quad \text{Eq. 8.33}$$

em que: [EM] = concentração de energia metabolizável da dieta (Mcal/kg de matéria seca). *km* = eficiência de uso da energia metabolizável para mantença e q_m = proporção entre a energia metabolizável e a energia bruta da dieta.

Marcondes et al. (2013) não obtiveram predições acuradas da *kg* quando utilizaram apenas a concentração de energia metabolizável da dieta, concluindo que a utilização de variáveis que englobam características relacionadas à composição do ganho de peso dos animais é mais indicada na estimativa da *kg*.

RESUMO DOS MODELOS E EXEMPLO DE CÁLCULO

A seguir será apresentado um resumo dos modelos descritos neste capítulo.

Tabela 8.9 - Resumo dos modelos para estimar as exigências de energia para animais criados em sistema de pastejo

Item	Equações
PCJ (kg)	$0,8915 \times PC^{1,0151}$
PCVZ (kg)	$0,8507 \times PCJ^{1,0002}$
GPCVZ (kg/dia)	$0,9630 \times GMD^{1,0151}$
PCVZeq (kg)	(PCVZ / PCVZmat) × 517
ELm (Mcal/dia)	$0,075 \times PCVZ^{0,75}$
ELg (ou ER; Mcal/dia)	$0,052 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,062}$
ERprot	$1,140 \times (ER / GPCVZ)^{-1,137}$
kg	*kg* = 0,327 / (0,539 + ERprot)
km	[(0,513 + 0,173 × *kg* + 0,100 × GPCVZ) × 0,92]
EMm (Mcal/dia)	ELm / *km*
EMg(Mcal/dia)	ELg / *kg*
EMtotal (Mcal/dia)	EMm + EMg
ED (Mcal/dia)	[((EMtotal / CMS) + 0,3032) / 0,9455] × CMS
NDT (kg/dia)	ED / 4,4

Tabela 8.10 - Resumo dos modelos para estimar as exigências de energia para animais criados em sistema de confinamento

Item		Equações
PCJ (kg)		Zebuínos e Cruzados de corte: $0,8915 \times PC^{1,0151}$ Cruzados de leite: $0,9247 \times PC^{1,0085}$
PCVZ (kg)	Macho não castrado	Zebuínos: $0,8126 \times PCJ^{1,0134}$ Cruzados: $0,7248 \times PCJ^{1,0314}$
	Macho Castrado	Zebuínos: $0,6241 \times PCJ^{1,0608}$ Cruzados: $0,6586 \times PCJ^{1,0499}$
	Fêmea	Zebuínos: $0,6110 \times PCJ^{1,0667}$ Cruzados: $0,6314 \times PCJ^{1,0602}$
GPCVZ (kg/dia)		$0,9630 \times GMD^{1,0151}$
PCVZeq (kg)		(PCVZ / PCVZmat) × 517
ELm (Mcal/dia)		$0,075 \times PCVZ^{0,75}$
ELg (ou ER; Mcal/dia)		$0,061 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035}$
ERprot		$1,140 \times (ER / GPCVZ)^{-1,137}$
kg		$kg = 0,327 / (0,539 + ERprot)$
km		Zebuínos: $[0,513 + (0,173 \times kg) + (0,100 \times GPCVZ)] \times 1$ Cruzado corte: $[0,513 + (0,173 \times kg) + (0,073 \times GPCVZ)] \times 1$ Cruzado leite: $[0,513 + (0,173 \times kg) + (0,010 \times GPCVZ)] \times 1$
EMm (Mcal/dia)		ELm / *km*
EMg(Mcal/dia)		ELg / *kg*
EMtotal (Mcal/dia)		EMm + EMg
ED (Mcal/dia)		{[(EMtotal / CMS) + 0,3032] / 0,9455} × CMS
NDT (kg/dia)		ED / 4,4

A fim de ilustrar a aplicação dos modelos apresentados neste capítulo será realizada a estimativa das exigências de energia para um novilho zebuíno, não castrado, com 520 kg de peso corporal, ganhando 1,6 kg/dia em sistema de confinamento.

- $PCJ = 0,8915 \times PC^{1,0151} \rightarrow 0,8915 \times 520^{1,0151} \rightarrow 509,5$ kg
- $PCVZ = 0,8126 \times PCJ^{1,0134} \rightarrow 0,8126 \times 509,5^{1,0134} \rightarrow 450,1$ kg
- $GPCVZ = 0,9630 \times GMD^{1,0151} \rightarrow 0,9630 \times 1,6^{1,0151} \rightarrow 1,55$ kg/dia
- $PCVZeq = (PCVZ / 517) \times 517 \rightarrow (450,1 / 517) \times 517 \rightarrow 450,1$ kg
- $ELg \text{ (ou ER)} = 0,061 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035} \rightarrow 0,061 \times 450,1^{0,75} \times 1,55^{1,035} \rightarrow 9,40$ Mcal/dia
- $ERprot = 1,140 \times (ER / GPCVZ)^{-1,137} \rightarrow 1,140 \times (9,40 / 1,55)^{-1,137} \rightarrow 0,147$
- $kg = 0,327 / (0,539 + ERprot) \rightarrow 0,327 / (0,539 + 0,147) \rightarrow 0,48$
- $EMg = ELg / kg \rightarrow 9,40 / 0,48 \rightarrow 19,6$ Mcal/dia
- $ELm = 0,075 \times PCVZ^{0,75} \rightarrow 0,075 \times 450,1^{0,75} \rightarrow 7,33$ Mcal/dia
- $km = [(0,513 + 0,173 \times kg + 0,100 \times GPCVZ) \times 1] \rightarrow [(0,513 + 0,173 \times 0,48 + 0,100 \times 1,55) \times 1] \rightarrow 0,75$
- $EMm = ELm / km \rightarrow 7,33 / 0,75 \rightarrow 9,77$ Mcal/dia

- EMtotal = EMg + EMm → 19,6 + 9,77 → 29,4 Mcal/dia
- ED = [((EMtotal / CMS) + 0,3032) / 0,9455] × CMS → [((29,4 / 10,87) + 0,3032) / 0,9455] × 10,87 → 34,7 Mcal/dia
- NDT = ED / 4,4 → 34,7 / 4,4 → 7,88 kg/dia

REFERÊNCIAS

Agricultural and Food Research Council – AFRC. *Energy and Protein Requirements of Ruminants*. Wallingford, UK: Agricultural and Food Research Council. CAB International, 1993.

Agricultural Research Council - ARC. *The nutrient requirements of farm livestock*. Londres, Inglaterra: Commonwealth Agricultural Bureau, 14-84, 1965.

Agricultural Research Council - ARC. *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. London: Commonwealth Agricultural Bureau. The Gresham Press, 351 p, 1980.

Armsby, H. P. *The nutrition of farm animals*. New York: The Macmillan Co., NY, 743 p, 1918.

Arnold, R. N.; Bennett, G. L. Evaluation of four simulation models of cattle growth and body composition: Part I - Comparison and characterization of the models. *Agricultural Systems,* 35:401–432, 1991a.

Arnold, R. N.; Bennett, G. L. Evaluation of four simulation models of cattle growth and body composition: Part II - Simulation and comparison with experimental growth data. *Agricultural Systems*, 36:17–41, 1991b.

Atwater, W.; Bryant, A. The availability and fuel value of food materials. Conn Agr Expt Sta 12th Ann Rpt. *Proceedings*... 73–110, 1900.

Benedeti, P. D. B., Valadares Filho, S. C., Chizzotti, M. L., Marcondes, M. I., & de Sales Silva, F. A. (2021). Development of equations to predict carcass weight, empty body gain, and retained energy of Zebu beef cattle. *Animal*, 15(1), 100028.

Benedeti, P. D. B.; Filho, S. C. V.; Chizzotti, M. L. ; Marcondes, M. I. ; De Sales Silva, F. A. Development of equations to predict carcass weight, empty body gain, and retained energy of Zebu beef cattle. *Animal*, v. 1, p. 100028, 2021.

Blaxter, K. L. The efficiency of energy transformation in ruminants. In: K. L. Blaxter; J. Kielanowski; G. Thorbek (Eds.); Proceedings of Energy Metabolism of Farm Animals, 4. Warsaw: Oriel Press. *Proceedings*… 21–28, 1969.

Blaxter, K. L.; Clapperton, J. L.; Martin, A. K. The heat of combustion of the urine of sheep and cattle in relation to its chemical composition and to diet. *British Journal of Nutrition*, 20:449–459, 1966.

Blaxter, K. L. and Martin, A. K. The utilization of protein as a source of energy in fattening sheep. *British Journal of Nutrition*, 16:397-404.1962.

Blaxter, K. L.; Rook, J. A. F. The heat of combustion of the tissues of cattle in relation to their chemical composition. *British Journal of Nutrition*, 7:83–91, 1953.

Bonilha E. F. M.; Branco R. H.; Bonilha S. F. M.; Araujo F. L.; Magnani E.; Mercadante M. E. Z. Body chemical composition of Nellore bulls with different residual feed intakes. *Journal of Animal Science*, 91, 3457-3464, 2013.

Bonilha E. F. M.; Branco R. H.; Bonilha S. F. M.; Araújo F. L. D.; Cyrillo J. N. D. S. G.; Magnani E. Body chemical composition, tissue deposition rates and gain composition of young Nellore cattle selected for postweaning weight. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 43, 175-182, 2014.

Bonilha, E.F.M., Branco, R.H., Bonilha, S.F.M., Araujo, F.L., Magnani, E., Mercadante, M.E.Z., 2013. Body chemical composition of Nellore bulls with different residual feed intakes. *Journal of Animal Science* 91, 3457–3464.

Bonilha, E.F.M., Branco, R.H., Bonilha, S.F.M., Araújo, F.L.D., Cyrillo, J.N.D.S.G., Magnani, E., 2014. Body chemical composition, tissue deposition rates and gain composition of young Nellore cattle selected for postweaning weight. *Revista Brasileira de Zootecnia* 43, 175–182.

BR-CORTE: Nutrient requirements of Zebu and crossbred cattle (BR-CORTE). *Nutrient requirements of Zebu and crossbred cattle*, !st revised edition. Suprema Grafica Ltda, Viçosa, MG, Brazil, 2006.

BR-CORTE: Nutrient requirements of Zebu and crossbred cattle (BR-CORTE). *Nutrient requirements of Zebu and crossbred cattle*, 2nd revised edition. Suprema Grafica Ltda, Viçosa, MG, Brazil, 2010.

BR-CORTE: Nutrient requirements of Zebu and crossbred cattle (BR-CORTE). *Nutrient requirements of Zebu and crossbred cattle*, 3rd revised edition. Suprema Grafica Ltda, Viçosa, MG, Brazil, 2016.

Brody, S. *Bioenergetics and growth*. NY: Reinhold, 1023p, 1945.

Brown, J. E.; Fitzhugh Jr., H. A.; Cartwright, T. C. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *Journal Animal Science*, v. 42, n. 4, p. 810–818, 1976.

Caton, J.S., Dhuyvetter, D.V., 1997. Influence of energy supplementation on grazing rumi- nants: requirements and responses. *Journal of Animal Science* 75, 533–542.

Caton, J. S.; Dhuyvetter D. V. Influence of energy supplementation on grazing ruminants: requirements and responses. *Journal of Animal Science*, v. 75, p. 533-542, 1998.

Chizzotti, M. L.; Tedeschi, L. O.; Valadares Filho, S. C. A meta-analysis of energy and protein requirements for maintenance and growth of Nellore cattle. *Journal of Animal Science*, 86:1588–1597, 2008.

Clausius, R. Ueber die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich daraus für die Wärmelehre selbst ableiten lassen. *Annalen der Physik*, 155:500–524, 1850.

Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization - CSIRO. *Feeding Standards for Australian Livestock: Ruminants*. Melbourne, Australia: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 266 p, 1990.

Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization - CSIRO. *Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants.* Collingwood, VIC: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 270 p, 2008.

Costa, M.A.L., Valadares Filho, S.D.C., Paulino, M.F., Valadares, R.F.D., Cecon, P.R., Paulino, P. V.R., Moraes, E.H.B.K., Magalhães, K.A., 2005. Desempenho, digestibilidade e características de carcaça de novilhos zebuínos alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia* 34, 268–279.

Costa e Silva L. F.; Valadares Filho S. C.; Rotta P. P.; Marcondes M. *Prediction of body and carcass composition of beef cattle*. In Nutrient requirements of Zebu and crossbred cattle (ed. SC Valadares Filho, LF Costa e Silva, MP Gionbelli, PP Rotta, MI Marcondes, ML Chizzotti and L F Prados), pp. 119-142. Suprema Grafica Ltda, Viçosa, MG, Brazil, 2016.

Ferreira, M. A.; Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Paixão, M. L.; Paulino, M. F.; Valadares, R. F. D. Avaliação de indicadores em estudos com ruminantes: digestibilidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:1568–1573, 2009.

Ferrell, C. L.; Jenkins, T. G. Energy utilization by Hereford and Simmental males and females. *Animal Production*, 41:53–61, 1985.

Ferrell, C. L.; Jenkins, T. G. Body composition and energy utilization by steers of diverse genotypes fed a high-concentrate diet during the finishing period: II. Angus, Boran, Brahman, Hereford, and Tuli sires. *Journal of Animal Science*, 76:647–657, 1998.

Ferrell, C. L.; Oltjen, J. W. ASAS centennial paper: Net energy systems for beef cattle - Concepts, application, and future models. *Journal of Animal Science*, 86:2779–2794, 2008.

Fox, D. G.; Tedeschi, L. O.; Tylutki, T. P.; Russell, J. B.; Van Amburgh, M. E.; Chase, L. E.; Pell, A. N.; Overton, T. R. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology*, 112:29–78, 2004.

Garrett, W. N. The comparative energy requirements of sheep and cattle for maintenance and gain. *Animal Science*, Davis, CA: University of California, 1958.

Garrett, W. N. Energy utilization by growing cattle as determined in 72 comparative slaughter experiments. In: L. E. Mount (Ed.); Proceedings of Energy Metabolism, 8. Cambridge: Butterworths & Co. *Proceedings*... 3–7, 1980a.

Garrett, W. N. Factors influencing energetic efficiency of beef production. *Journal of Animal Science*, 51:1434–1440, 1980b.

Garrett, W. N.; Meyer, J. H.; Lofgreen, G. P. The comparative energy requirements of sheep and cattle for maintenance and gain. *Journal of Animal Science*, 18:528–547, 1959.

Gionbelli M. P.; Valadares Filho S. C.; Detmann E. *Adjusting cattle body weight to physiological and feeding conditions.* In Nutrient requirements of Zebu and crossbred cattle (ed. SC Valadares Filho, LF Costa e Silva, MP Gionbelli, PP Rotta, MI Marcondes, ML Chizzotti and L F Prados), pp. 1-14. Suprema Grafica Ltda, Viçosa, MG, Brazil, 2016.

Goulart R. S.; de Alencar M. M.; Pott E. B.; da Cruz G. M.; Tullio R. R.; Alleoni G. F.; Duarte Lanna D. P. Body composition and protein and energy net requeriments of steers of four genetic groups finished in feedlot. *Brazilian Journal of Animal Science*, 37, 926-935, 2008.

Institut National de La Recherche Agronomique (INRA). *INRA Feeding System for Ruminants*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands, 2018.

Jenkins, T. G.; Ferrell, C. L. Nutrient requirements to maintain weight of mature, nonlactating, nopreganant cows of four breed types. *Journal of Animal Science*, 56:761–770, 1983.

Kleiber, M. The Fire of Life: *An Introduction to Animal Energetics.* New York: John Wiley & Sons, Inc, 454 p, 1961.

Krinchev A. F. B.; Junior V. H. B.; Gonçalves J. R. S.; Lima L. G.; Bridi A. M.; de Azambuja Ribeiro E. L. Productive performance of Nellore steers on rotational grazing on Marandu grass and Convert HD 364 grass. *Semina: Ciências Agrárias,* 39, 1627-1637, 2018.

Lin, L.; Torbeck, L. D. Coefficient of accuracy and concordance correlation coefficient: New statistics for methods comparison. P*DA Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 52:55–59, 1998.

Lofgreen, G. P.; Garrett, W. N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *Journal of Animal Science*, 27:793–806, 1968.

Marcondes, M. I.; Tedeschi, L. O.; Valadares Filho, S. C. Prediction of partial efficiency of use of metablizable energy to net energy for gain. Southern Section of Americam Society of Animal Science. Orlando, FL: American Society of Animal Science. *Proceedings*... 28, 2010.

Marcondes, M. I.; Tedeschi, L. O.; Valadares Filho, S. C.; Costa E Silva, L. F.; Silva, A. L. Using growth and body composition to determine weight at maturity in Nellore cattle. *Animal Production Science*, 56:1121–1129, 2016.

Marcondes, M. I.; Tedeschi, L. O.; Valadares Filho, S. C.; Gionbelli, M. P. Predicting efficiency of use of metabolizable energy to net energy for gain and maintenance of Nellore cattle. *Journal of Animal Science*, 91:4887–98, 2013.

Martins L. S.; Valente E. E. L.; Santos F. A. P.; Stuani O. F.; Leite L. S.; Santos R. M. S. *Enzymatic complex in diets containing monensin or essential oils to Nellore bulls in feedlot system*. In Energy and protein metabolism and nutrition (ed. ML Chizzotti) pp. 2580-2595. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands, 2019.

Menchaca, M. A.; Chase, C. C.; Olson, T. A.; Hammond, A. C. Evaluation of growth curves of Brahman cattle of various frame sizes. *Journal of Animal Science*, 74:2140–2151, 1996.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM). *Nutrient requirements of beef cattle.* 8th revised edition. National Academy Press, Washington, DC, USA, 2016.

National Research Council - NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 6th ed. Washington, DC: National Academy Press, 90 p, 1984.

National Research Council - NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th ed. Washington, DC: National Academy Press, 244 p, 1996.

National Research Council - NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle.* 7th ed. Washington, DC: National Academy Press, 244 p, 2000.

Oltjen, J. W.; Bywater, A. C.; Baldwin, R. L.; Garrett, W. N. Development of a dynamic model of beef cattle growth and composition. *Journal of Animal Science*, 62:86–97, 1986.

Owens, F. N.; Gill, D. R.; Secrist, D. S.; Coleman, S. W. Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 73:3152–3172, 1995.

Poczopko, P. Metabolic levels in adult homeotherms. *Acta theriologica*, 16:1–21, 1971.

Reid, J. T.; Wellington, G. H.; Dunn, H. O. Some relationships among the major chemical components of the bovine body and their application to nutritional investigations. *Journal of Dairy Science*, 38:1344–1359, 1955.

Silva, R. G. *Introdução à Bioclimatologia Animal*. São Paulo: Nobel, 286 p, 2000.

Tamminga S. A review on environmental impacts of nutritional strategies in ruminants. *Journal of Animal Science*, 74, 3112-3124, 1996.

Taylor, C. S.; Young, G. B. Equilibrium weight in relation to food intake and genotype in twin cattle. *Animal Production*, 10:393–412, 1968.

Tedeschi, L. O. Assessment of the Adequacy of Mathematical Models. Agricultural Systems. Sassari, Italy. *Proceedings*... 225–247, 2004.

Tedeschi, L. O.; Boin, C.; Fox, D. G.; Leme, P. R.; Alleoni, G. F.; Lanna, D. P. Energy requirement for maintenance and growth of Nellore bulls and steers fed high-forage diets. *Journal of Animal Science*, 80:1671–1682, 2002.

Tedeschi, L. O.; Fox, D. G.; Baker, M. J. Unveiling the production efficiency of the beef cow: A systematic approach using nutrition models. *Animal Science Mimeograph Series no. 224.* Cornell Cooperative Extension, Corning, NY, 2004.

Tedeschi, L. O.; Fox, D. G.; Guiroy, P. J. A decision support system to improve individual cattle management. 1. A mechanistic, dynamic model for animal growth. *Agricultural Systems*, 79:171–204, 2004.

Valadares Filho S. C.; Benedeti P. D. B.; Silva F. A. S.; Menezes A. C. B.; Silva B. C.; Pacheco M. V. C.; Zanetti D.; Godoi L. A.; Marcondes M. I.; Renno L. N.; Chizzotti M. L. *Predicting carcass weight, empty body gain, and retained energy of Zebu beef cattle.* In Energy and protein metabolism and nutrition (ed. ML Chizzotti) pp. 485-486. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands, 2019.

Webster, A. J. F.; Smith, J. S.; Mollison, G. S. Energy requirements of growing cattle: effects of sire breed, plane nutrition, sex and season on predicted basal metabolism. In: Ekern, A.; Sundstol, F. (Eds.). *Energy metabolism of farm animals: Proceedings of the 9th symposium.* 1st ed., Lillehammer, Norway: EAAP Publishing, 84–87, 1982.

Williams, C. B.; Jenkins, T. G. A dynamic model of metabolizable energy utilization in growing and mature cattle. I. Metabolizable energy utilization for maintenance and support metabolism. *Journal of Animal Science*, 81:1371–1381, 2003.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-192-0.2023.C009.p.205-234

9

Exigências de proteína e aminoácidos para bovinos de corte

Flávia Adriane de Sales Silva, Pedro Del Bianco Benedeti, Luiz Fernando Costa e Silva, Polyana Pizzi Rotta, Ana Clara Baião Menezes, Laura Franco Prados, Marcos Inácio Marcondes, Sebastião de Campos Valadares Filho

INTRODUÇÃO

Proteínas são moléculas que desempenham inúmeras funções no corpo animal, contribuindo com a composição de tecidos estruturais, enzimas, hormônios, receptores hormonais e composição de material genético (Boye et al., 2012). A proteína dietética pode ser dividida em duas principais porções para animais ruminantes: proteína degradável no rúmen (PDR) e proteína não-degradável no rúmen (PNDR; NRC, 1985). Além disso, as exigências de proteína metabolizável (PM) são supridas através da absorção de aminoácidos (AA) no intestino. Esses AA são oriundos da PNDR dietética digestível e da proteína bruta microbiana verdadeiramente digestível (Cervieri et al., 2001; Sinclair et al., 2014). Assim, a nutrição proteica é um dos principais fatores que afetam o desempenho animal.

De acordo com Pinto e Millen (2018), confinamentos comerciais utilizam altos teores de proteína bruta (PB) nas dietas de animais em terminação (em alguns casos até 15% de PB) como estratégia para estimular o consumo de matéria seca (CMS) e reduzir o período de confinamento. Porém, existe uma forte correlação entre o consumo de proteína e a excreção de nitrogênio pelas fezes e urina (Sinclair et al., 2014), contribuindo para a contaminação ambiental. Menezes et al. (2016) demonstraram que é possível reduzir o nível de PB em dietas de bovinos em terminação sem afetar o desempenho, além de reduzir a excreção de N para o meio ambiente. Além disso, o desbalanceamento das rações também representa perda econômica decorrente dos custos com alimentação (Appuhamy et al., 2014), sendo a proteína, considerada o nutriente mais caro da dieta (Russel et al., 1992). Adicionalmente, a queda da fertilidade em bovinos pode ser relacionada aos efeitos tóxicos de compostos nitrogenados (Rhoads et al., 2006). Dessa forma, fornecer informações mais precisas sobre nutrição proteica pode contribuir para tornar os sistemas de produção de carne bovina mais sustentáveis ambiental e financeiramente.

Nesse contexto, os modelos nutricionais têm tentado chegar o mais próximo possível das exigências nutricionais dos animais. Formular dietas usando AA poderá permitir o uso de rações com menores teores proteicos e também pode ser uma alternativa para maximizar o desempenho produtivo dos ruminantes. Assim, além da atualização de equações para estimativa das exigências nutricionais de proteína, nesta edição revisada também são disponibilizadas equações para a estimativa das exigências líquidas e metabolizáveis de AA para bovinos de corte.

EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA

O atendimento das exigências de proteína para ruminantes é obtido pela absorção, a nível de intestino delgado, dos produtos finais resultantes dos processos digestivos dos compostos nitrogenados, em especial ao montante de AA disponibilizados para absorção. As fontes de proteína que chegam ao intestino delgado de ruminantes são a proteína microbiana, a proteína dietética que não sofreu ação da microbiota ruminal e a proteína endógena; assim, ruminantes apresentam peculiaridades em sua nutrição proteica (Bach et al., 2005). À quantidade de AA provenientes dessas fontes e absorvidos no intestino dá-se o nome de PM (ARC, 1980).

Trabalhar com o consumo de PB pode proporcionar diversos erros de estimação, uma vez que ele não considera o valor biológico da PB, bem como a eficiência de produção de proteína bruta microbiana (PBmic) por quilograma de matéria orgânica digestível. Com isso, os atuais sistemas de predição de exigências nutricionais para bovinos evoluíram e trabalham com o consumo de PM (CPM), contabilizando, assim, a proteína disponível para ser absorvida

na forma de AA no intestino. De acordo com Santos (2008), o uso da PM tem estimulado e permitido avanços no conhecimento das exigências nutricionais, possibilitando ganhos de produtividade animal por meio da otimização da síntese de PBmic, adequação dos teores de PNDR e da quantidade e qualidade da PM suprida para o animal, redução nas perdas de compostos nitrogenados e redução do impacto negativo da liberação desses compostos para o meio ambiente.

Portanto, as exigências de proteína podem ser divididas em exigências de proteína para mantença (que incluem as perdas endógenas de compostos nitrogenados pelas fezes, urina e descamação da pele) e produção (compostos nitrogenados utilizados para deposição de tecidos corporais ou secretados no leite), que serão discutidas separadamente nas demais seções desse capítulo, permitindo melhor visualização e entendimento dos resultados obtidos.

AVALIAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA BRUTA UTILIZANDO O BR-CORTE (2016)

Na terceira edição do BR-CORTE (Valadares Filho et al., 2016) houve um esforço para melhorar e ratificar as exigências de proteína para bovinos de corte. De acordo com Galyean (2014), mudanças nas exigências nutricionais associadas com a classe sexual, grupo genético, estado fisiológico e meio ambiente tornam o estabelecimento das exigências mais complexas, sendo um desafio para os comitês que tentam estabelecer as exigências nutricionais. Por isso, é importante a constante atualização do banco de dados e o uso de condições ambientais e de manejo condizentes com a realidade de regiões tropicais.

Menezes et al. (2016) observaram uma superestimação das exigências de PB, calculadas pelo BR-CORTE (2010), em relação aos valores observados de 45,2, 23,5 e 11,2% para machos Nelore não castrados em terminação submetidos a dietas contendo 14, 12 e 10% PB, respectivamente. Prados et al. (2015) trabalharam com bovinos cruzados (Holandês × Zebu) em fase de crescimento e observaram superestimativas de 17,2% no consumo de PB, sendo o valor estimado de 1200 g/dia para as exigências de PB em relação ao consumo de PB observado de 870 g/dia. Adicionalmente, Amaral et al. (2014) observaram o consumo de PB estimado (1580 g/dia) superior em 17% ao observado (1348 g/dia) para bovinos cruzados (Holandês × Zebu) em terminação, enquanto Costa e Silva et al. (2013) encontraram valores de consumo de PB superestimados em 16,8% em relação à média dos valores observados para machos Nelore não castrados em terminação.

Assim, antes de gerar novas equações, a predição do consumo de PB pelo BR-CORTE (2010) foi testada na edição anterior do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016). Para isso, 271 dados individuais de bovinos de 8 estudos foram coletados: Costa e Silva (2011), Souza (2013), Rufino (2014), Silva (2014), Menezes (2016), Prados (2016), Amaral (2016) e Zanetti (2017). O banco de dados incluiu dissertações e teses que foram concluídas a partir de 2010 e não fizeram parte do banco de dados da segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010).

A estatística descritiva dos dados de consumo de PB referentes aos valores observados nos estudos e os valores preditos pelo BR-CORTE encontram-se na Tabela 9.1, sendo esses dados avaliados pelo programa Model Evaluation System (MES; Tedeschi, 2006). A partir do coeficiente de correlação e concordância (CCC) foi possível obter a acurácia e a precisão das estimativas, uma vez que quanto mais próximo ao valor de 1,0, mais precisas e acuradas foram as estimativas. O quadrado médio do erro de predição (QMEP) leva em consideração a magnitude dos erros associados às estimativas, sendo que quanto menor, melhores são as estimativas. Além disso, a partir da decomposição do QMEP, pode-se avaliar se os erros das estimativas estão associados ao vício, erros sistemáticos e erros aleatórios, sendo que quanto maior for a porcentagem dos erros aleatórios, melhor é a estimativa.

Tabela 9.1 - Análise de regressão e estatística descritiva dos valores observados e preditos pelo BR-CORTE (2010) para consumo de proteína bruta, adaptada do BR-CORTE (2016)

Itens	Consumo de proteína bruta	
	Observado	Predito
Média	1,01	1,13
Desvio-padrão	0,20	0,16
Máximo	1,74	1,67
Mínimo	0,50	0,67
% superestimação	12,24	
P-valor (a = 0 e b = 1)	<0,01	
CCC	0,61	
Cb	0,80	
Quadrado médio do erro de predição	0,0324	
Vício médio (%)	0,0153 (47,22%)	
Erro sistemático (%)	0,0001 (0,31%)	
Erro aleatório (%)	0,0170 (52,47%)	

Essa análise demonstrou que o intercepto e a inclinação diferiram (P < 0,01) de 0 e 1, respectivamente, indicando que as estimativas do BR-CORTE (2010) não foram adequadas (Figura 9.1). Além disso, as exigências de PB foram 12,24% superestimadas em relação ao consumo de PB observado. Na decomposição dos erros, 47,22% dos erros foram associados com o vício médio, mostrando que houve uma tendência de superestimação do consumo de PB pela equação. Dietas com excesso de PB resultarão em maiores custos com alimentação, além do aumento na excreção de N. Estes resultados demonstraram a necessidade de se realizar ajustes nas estimativas das exigências de proteína.

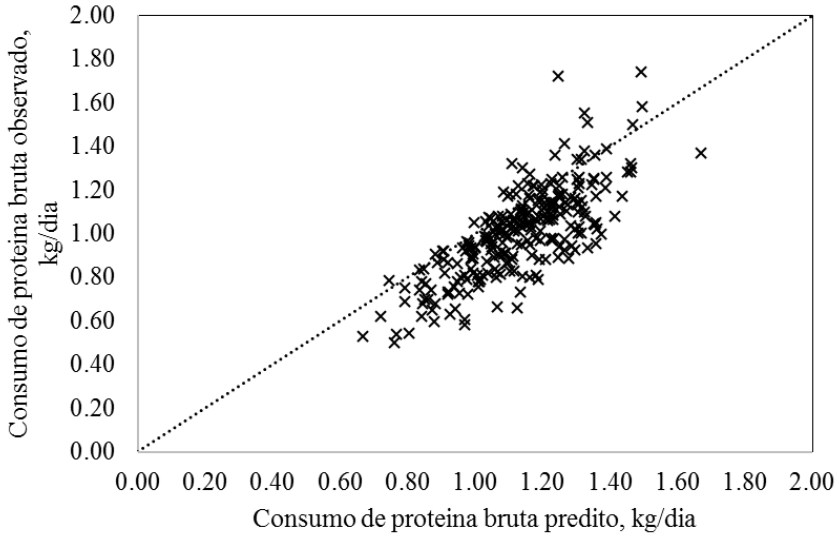


Figura 9.1 - Relação entre os valores observados e preditos pela equação proposta pelo BR-CORTE (2010) para o consumo de proteína bruta, adaptada do BR-CORTE (2016).

Dietas com teor de PB abaixo das exigências dos animais podem afetar a produtividade. Por outro lado, dietas com excesso de PB resultam em maiores custos com alimentação além do aumento na excreção de compostos nitrogenados. Assim, o conhecimento das exigências nutricionais de proteína auxilia na formulação adequada de dietas que otimizem o desempenho animal e contribuam com o meio ambiente.

Os resultados de predição do consumo de PB para bovinos de corte destacaram a necessidade de se adequar as equações aos fatores genéticos, fisiológicos e ambientais do Brasil. Dessa forma, na terceira edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016), foram realizados ajustes nas exigências de proteína com a inclusão de novas variáveis para PBmic e dados de animais de diferentes pesos, classes sexuais e grupos genéticos.

BANCO DE DADOS DO BR-CORTE (2016)

Na terceira edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016), um banco de dados foi desenvolvido, sendo o mesmo composto por 32 estudos realizados em condições brasileiras de 1991 a 2016: Galvão (1991), Jorge (1993), Paulino (1996), Ferreira (1997), Veras (2000), Silva (2001), Veloso (2001), Putrino (2002), Tedeschi et al. (2002), Paulino (2002), Backes (2003), Leonel (2003), Martins (2003), Chizzotti (2004), Moraes (2006), Paulino (2006), Marcondes (2007), Paixão (2008), Sales (2008), Porto (2009), Machado (2009), Marcondes (2011), Souza (2011), Costa e Silva (2011), Paula (2012), Rotta (2012), Amaral (2012), Prados (2012), Rodrigues (2014), Costa e Silva (2015), Silva (2015), Menezes (2016). Dentre os dados apresentados, 767 animais foram criados em condições de confinamento e 148 em pastejo. Com relação ao grupo genético, foram 406 zebuínos, 212 cruzados de corte e 149 cruzados de leite (Tabelas 9.2; 9.3 e 9.4, respectivamente). Para os dados de animais criados a pasto, a estatística descritiva pode ser visualizada na Tabela 9.5.

Tabela 9.2 - Estatística descritiva dos dados de zebuínos terminados em confinamento e utilizados para a estimação das exigências de proteína, adaptada do BR-CORTE (2016)

Itens	N[1]	Média	DP[2]	Máximo	Mínimo
Machos não castrados					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	214	290	58,3	438	151
Peso corporal em jejum final (kg)	227	408	73,1	592	215
Peso de corpo vazio inicial (kg)	215	257	52,5	358	130
Peso de corpo vazio final (kg)	227	366	66,7	549	191
Ganho médio diário (kg/dia)	162	0,99	0,40	2,66	-0,04
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	214	0,99	0,40	1,87	-0,01
Energia retida (Mcal/dia)	207	4,28	2,44	14,2	-0,58
Proteína retida (g/dia)	207	177	76,9	412	-29,1
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	159	700	213	1263	195
Machos castrados					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	123	287	57,1	399	110
Peso corporal em jejum final (kg)	123	367	80,1	520	125
Peso de corpo vazio inicial (kg)	123	253	51,9	352	95,2
Peso de corpo vazio final (kg)	123	331	74,2	469	113
Ganho médio diário (kg/dia)	110	0,71	0,40	1,41	-0,18
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	123	0,67	0,37	1,32	-0,21
Energia retida (Mcal/dia)	123	3,62	2,07	7,47	-0,02
Proteína retida (g/dia)	123	93,1	64,1	242	-122
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	48	651	255	1143	159
Fêmeas					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	82	218	53,1	342	129
Peso corporal em jejum final (kg)	82	273	73,1	437	131
Peso de corpo vazio inicial (kg)	82	192	50,1	297	111
Peso de corpo vazio final (kg)	82	247	70,2	397	115
Ganho médio diário (kg/dia)	53	0,67	0,42	1,27	-0,12
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	82	0,54	0,37	1,25	-0,13
Energia retida (Mcal/dia)	82	2,49	2,02	8,22	-0,21
Proteína retida (g/dia)	81	74,0	62,3	196	-35,6
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	69	470	158	741	151

[1]N = número de observações; [2]DP = desvio padrão.

Tabela 9.3 - Estatística descritiva dos dados de bovinos cruzados de corte terminados em confinamento e utilizados para estimação das exigências de proteína, adaptada do BR-CORTE (2016)

Itens	N[1]	Média	DP[2]	Máximo	Mínimo
Machos não castrados					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	133	313	47,4	435	198
Peso corporal em jejum final (kg)	145	460	73,6	585	248
Peso de corpo vazio inicial (kg)	133	264	37,9	366	173
Peso de corpo vazio final (kg)	145	404	68,4	499	222
Ganho médio diário (kg/dia)	133	1,10	0,37	1,93	-0,08
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	131	1,05	0,36	1,98	-0,05
Energia retida (Mcal/dia)	133	3,89	1,70	8,76	-0,41
Proteína retida (g/dia)	133	156	69,7	384	-90,8
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	108	738	221	1409	428
Machos castrados					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	41	355	41,4	434	260
Peso corporal em jejum final (kg)	41	447	73,7	552	265
Peso de corpo vazio inicial (kg)	41	312	48,8	385	205
Peso de corpo vazio final (kg)	41	409	70,2	506	238
Ganho médio diário (kg/dia)	41	0,93	0,62	1,72	-0,36
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	41	0,99	0,58	1,64	-0,09
Energia retida (Mcal/dia)	41	5,41	2,74	9,53	0,75
Proteína retida (g/dia)	41	139	96,3	276	-49,3
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	35	704	200	918	272
Fêmeas					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	38	271	33,5	331	194
Peso corporal em jejum final (kg)	38	364	85,2	494	187
Peso de corpo vazio inicial (kg)	38	241	36,8	311	150
Peso de corpo vazio final (kg)	38	327	74,0	443	175
Ganho médio diário (kg/dia)	38	0,86	0,66	1,75	-0,31
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	38	0,80	0,58	1,73	-0,18
Energia retida (Mcal/dia)	38	4,00	2,61	7,65	-0,48
Proteína retida (g/dia)	37	125	92,2	297	-69,7
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	33	623	233	985	213

[1]N = número de observações; [2]DP = desvio padrão.

Tabela 9.4 - Estatística descritiva dos dados de bovinos cruzados de leite terminados em confinamento e utilizados para estimação das exigências de proteína, adaptada do BR-CORTE (2016)

Itens	N[1]	Média	DP[2]	Máximo	Mínimo
Machos não castrados					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	81	297	103	494	150
Peso corporal em jejum final (kg)	93	412	126	661	169
Peso de corpo vazio inicial (kg)	123	263	70,7	415	131
Peso de corpo vazio final (kg)	135	379	103	600	150
Ganho médio diário (kg/dia)	81	1,34	0,64	2,64	0,02
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	120	1,32	0,62	2,74	0,05
Energia retida (Mcal/dia)	120	5,33	2,96	12,7	-0,67
Proteína retida (g/dia)	120	188	118	414	-181
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	125	698	271	1417	118
Machos castrados					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	48	325	34,7	453	216
Peso corporal em jejum final (kg)	48	388	53,1	575	254
Peso de corpo vazio inicial (kg)	48	268	29,1	363	185
Peso de corpo vazio final (kg)	48	342	48,3	510	247
Ganho médio diário (kg/dia)	48	0,77	0,55	1,70	-0,21
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	48	0,93	0,38	2,00	0,02
Energia retida (Mcal/dia)	48	3,93	1,63	9,00	0,51
Proteína retida (g/dia)	20	78,3	73,5	210	-110
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	28	920	255	1410	458
Fêmeas					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	20	258	38,6	347	196
Peso corporal em jejum final (kg)	36	311	56,7	431	215
Peso de corpo vazio inicial (kg)	36	195	43,3	298	115
Peso de corpo vazio final (kg)	36	276	54,2	403	192
Ganho médio diário (kg/dia)	20	0,68	0,36	1,23	-0,04
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	36	0,87	0,38	1,67	0,05
Energia retida (Mcal/dia)	36	3,98	1,74	7,79	0,73
Proteína retida (g/dia)	36	100	70,4	240	-52,9
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	15	853	186	1155	570

[1]N = número de observações; [2]DP = desvio padrão.

Tabela 9.5 - Estatística descritiva dos dados de zebuínos terminados a pasto e utilizados para estimação das exigências de proteína, adaptada do BR-CORTE (2016)

Itens	N[1]	Média	DP[2]	Máximo	Mínimo
Machos não castrados					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	128	190	87,4	409	74,0
Peso corporal em jejum final (kg)	128	335	84,6	519	140
Peso de corpo vazio inicial (kg)	128	163	72,0	337	63,3
Peso de corpo vazio final (kg)	128	292	75,6	463	118
Ganho médio diário (kg/dia)	128	0,56	0,19	0,95	-0,15
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	128	0,45	0,19	0,90	-0,10
Energia retida (Mcal/dia)	127	1,12	1,01	4,14	-0,83
Proteína retida (g/dia)	108	87,0	32,4	156	14,5
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	84	459	163	893	189
Machos castrados					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	20	317	59,8	409	226
Peso corporal em jejum final (kg)	20	363	66,9	484	243
Peso de corpo vazio inicial (kg)	20	261	49,3	337	186
Peso de corpo vazio final (kg)	20	299	57,5	405	193
Ganho médio diário (kg/dia)	20	0,57	0,33	0,95	-0,15
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	20	0,47	0,29	0,90	-0,10
Energia retida (Mcal/dia)	20	1,15	1,07	2,35	-0,83
Proteína retida (g/dia)	18	65,4	37,1	134	14,5
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	-	-	-	-	-

[1]N = número de observações; [2]DP = desvio padrão.

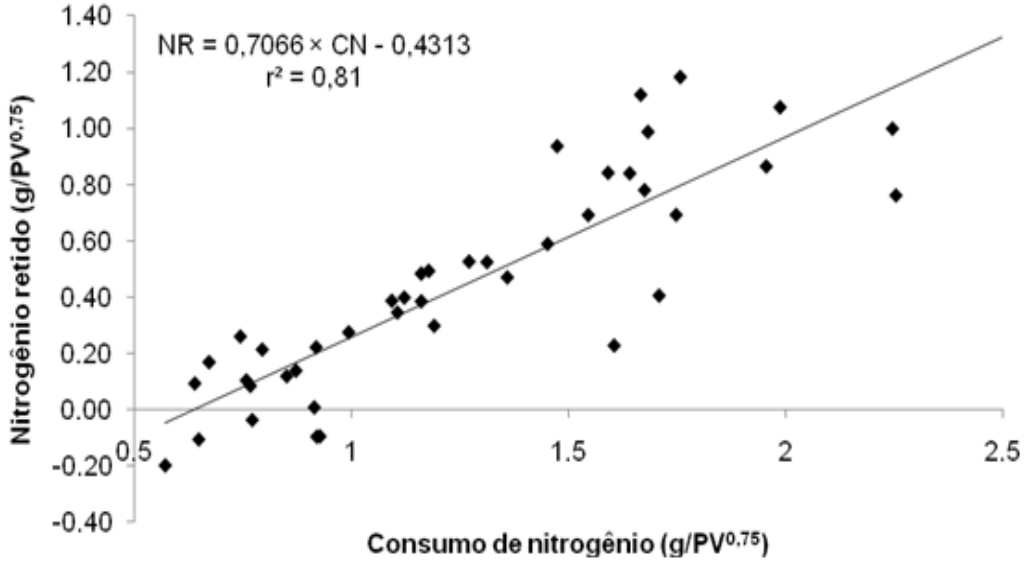


Figura 9.2 - Relação entre o nitrogênio retido e o consumo de nitrogênio, expressos em (g/PC^{0,75}). Adaptada de Véras et al. (2007).

EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA PARA MANTENÇA

A demanda de proteína para mantença para um bovino é igual às perdas endógenas de nitrogênio pelas fezes, urina e descamação (NRC, 2000). Na primeira edição do BR-CORTE foi adotado o valor de exigência líquida de proteína para mantença (PLm) de 2,69 g/PC^{0,75} obtido por Véras et al. (2007). Nesse estudo foram avaliados machos não castrados, machos castrados e fêmeas alimentados com quatro níveis de PB (7, 10, 13 e 15%) e não foi verificado efeito de classe

sexual sobre as exigências de proteína para mantença (Figura 9.2). As PLg (2,69 g/ $PC^{0,75}$) foram obtidas multiplicando o intercepto da regressão entre o nitrogênio retido e o consumo de nitrogênio (0,4313) por 6,25.

O AFRC (1993) adotou o valor de 2,30 g/$PC^{0,75}$ obtido pelo somatório das exigências basais de nitrogênio endógeno e perdas por descamação e pelos, enquanto o INRA (1988) e Smuts (1935) adotaram os valores de 3,25 g/$PCVZ^{0,75}$/dia e 3,52 g/$PC^{0,75}$/dia, respectivamente, obtidos por experimentos envolvendo balanço de nitrogênio.

Neste sentido, Ezequiel (1987) obteve exigências diárias de PM para mantença (PMm) de 1,72 e 4,28 g/$PC^{0,75}$ para novilhos Nelore e Holandês, respectivamente. Costa e Silva et al. (2015) estimaram PMm de 1,28 g/$PC^{0,75}$/dia para machos castrados e fêmeas Nelore em crescimento. Além disso, Valadares et al. (1997), considerando a soma das perdas endógenas fecais, estimadas pela regressão entre o nitrogênio absorvido e o consumo de nitrogênio e as perdas endógenas urinárias, obtidas pela regressão entre a excreção de nitrogênio urinário e o consumo de nitrogênio, calcularam as PMm de 4,13 g/$PC^{0,75}$.

Para converter as PLm em PMm, o BR-CORTE (2006) utilizou o fator de 0,667, obtido pela relação entre nitrogênio retido e nitrogênio absorvido (Figura 9.3), sendo este valor muito próximo à recomendação do NRC (1985) de 0,67. Utilizando-se essa eficiência e considerando-se as PLm de 2,69 g/$PC^{0,75}$, foi obtida a exigência diária de PMm de 4,03 g/$PC^{0,75}$, próxima ao valor recomendado pelo NRC (2000), de 3,8 g/$PC^{0,75}$. Dessa forma, o BR-CORTE (2006) recomendou o uso do valor de 4 g/$PC^{0,75}$/dia como as PMm.

O NRC (2000) adotou o valor de 3,8 g/$PC^{0,75}$ obtido por Wilkerson et al. (1993) como valor diário de PMm. Tal valor foi obtido pela divisão do intercepto (242) da equação de regressão do CPM (g/dia) em função do ganho médio diário (GMD; kg/dia) dos animais, pelo peso corporal médio metabólico dos animais (63,44) pertencentes ao banco de dados utilizado. Neste trabalho, foram consideradas 45 diferentes fontes proteicas, com número de animais variando entre 3 e 30 por fonte proteica. Um valor semelhante foi obtido por Susmel et al. (1993) avaliando experimentos envolvendo balanço de nitrogênio. Da mesma forma, o NASEM (2016) recomenda o valor apresentado no NRC (2000) de 3,8 g/$PCJ^{0,75}$.

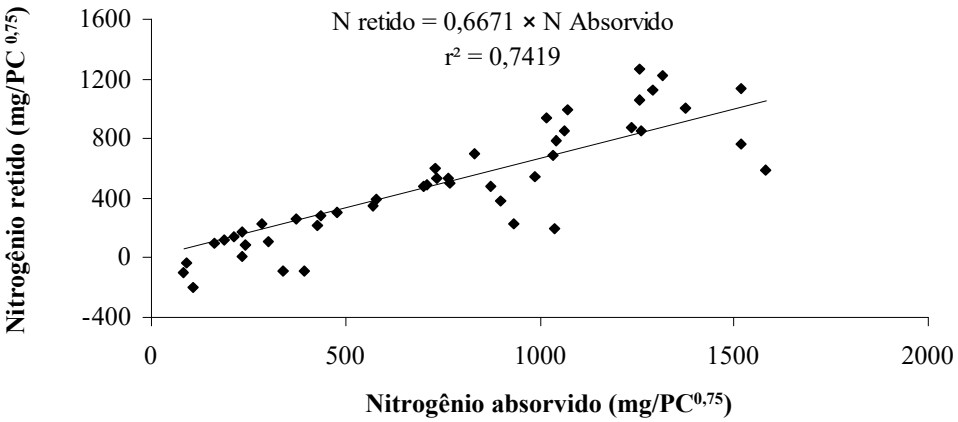


Figura 9.3 - Relação entre o nitrogênio retido e o nitrogênio absorvido. Adaptada de Véras et al. (2007).

Na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010), o CPM foi correlacionado com o GMD e ao ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ) para estimar as PMm. As duas equações geradas para estimar as PMm produziram valores muito próximos àquele proposto na primeira edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2006): 4,0 g/$PC^{0,75}$, sendo este valor mantido na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010).

Inicialmente, para converter o consumo de PB do banco de dados em CPM, deve-se estimar a síntese de PBmic utilizando a equação proposta no capítulo 3 (PBmic = -

53,07 + 304,9 × CPB + 90,8 × CNDT – 3,13 × $CNDT^2$). A partir da síntese de PBmic, estimam-se as exigências PDR. Além disso, o BR-CORTE (2010) considerou uma eficiência de conversão de N degradado em N microbiano de 90%, ou seja, considerou 10% de perdas líquidas de N no rúmen. Assim, as exigências de PDR (g/dia) foram calculadas como 1,11 × PBmic. Entretanto, a ineficiência desse processo, representada pelo fator 1,11, foi removida (para mais detalhes, vide seção "Considerações sobre a reciclagem de compostos nitrogenados"); assim, as exigências de PDR são considerados iguais à síntese de PBmic. Além disso, o consumo de PNDR foi estimado pela diferença entre os consumos de PB e PDR. Assim, o CPM pode ser obtido pela seguinte equação: CPM = (PBmic × 0,64) + (PNDR/0,80).

Na terceira edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016), adotou-se a mesma metodologia do BR-CORTE (2010) para estimar as PMm, onde o CPM foi correlacionado com o GPCVZ. A partir das avaliações, foi observado efeito de sistema de produção, sugerindo que as PMm devem ser estimadas separadamente para animais criados em pastejo e confinamento. Além disso, foram testados efeitos de grupo genético e sexo para animais criados em confinamento e nenhum efeito foi observado, permitindo o desenvolvimento de apenas uma equação para animais criados em confinamento (Figuras 9.4 e 9.5; Tabela 9.5).

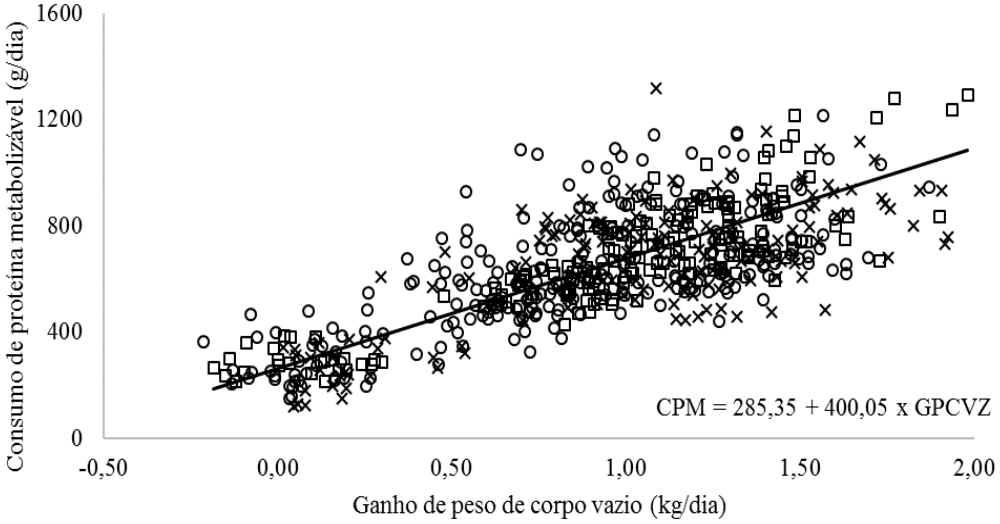


Figura 9.4 - Relação entre o consumo de proteína metabolizável e o ganho de peso de corpo vazio de animais criados em confinamento. Os símbolos representam dados de zebuínos (○), cruzados de corte (□) e cruzados de leite (×).

Tabela 9.5 - Exigências de proteína metabolizável para mantença de bovinos de corte criados a pasto ou em confinamento, adaptada do BR-CORTE (2016)

Sistema	Equação	$PCVZ^{0,75}$	PMm
Confinamento	CPM = 285,35 + 400,05 × GPCVZ	72,0	3,96
Pasto	CPM = 270,53 + 532,46 × GPCVZ	62,7	4,31

CPM = consumo de proteína metabolizável (g/dia); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia); $PCVZ^{0,75}$ = peso de corpo vazio metabólico (kg); PMm = exigências de proteína metabolizável de mantença (g/$PCVZ^{0,75}$).

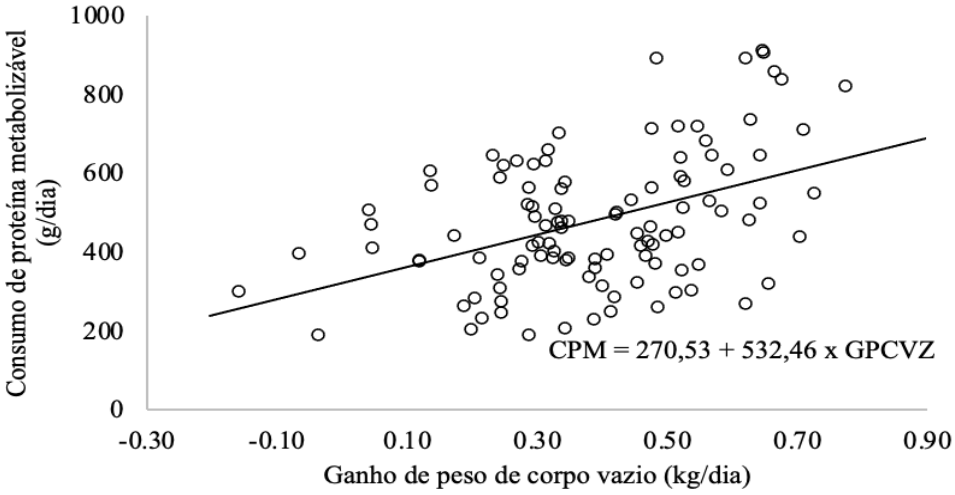


Figura 9.5 - Relação entre o consumo de proteína metabolizável e o ganho de peso de corpo vazio de zebuínos criados a pasto.

No BR CORTE (2010), ao se estimar as PMm, o valor médio obtido para animais zebuínos e cruzados foi de 3,91 g/PCVZ^{0,75}, valor próximo ao obtido na terceira edição (BR-CORTE, 2016) e mantido nessa edição (3,96 g/PCVZ^{0,75}) para bovinos criados em confinamento. Para animais criados a pasto, o valor estimado na terceira edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016) e mantido na atual edição para PMm foi de 4,31 g/PCVZ^{0,75}, o qual foi inferior ao observado na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010; 4,87 g/PCVZ^{0,75}) Em ambos os casos, convertendo esses valores para peso corporal em jejum (PCJ), obtêm-se as estimativas de 3,6 e 3,9 g/PCJ^{0,75} para animais criados em confinamento e a pasto, respectivamente. O valor obtido para animais criados em confinamento foi inferior aos recomendados pelo NASEM (2016) e BR-CORTE (2010) de 3,8 e 4,0 g/PC^{0,75}, respectivamente. Além disso, vale ressaltar que bovinos criados a pasto exigiram aproximadamente 8% mais PMm que aqueles criados em confinamento.

Nesse contexto, o comitê decidiu manter os valores de 3,6 e 3,9 g/PCJ^{0,75} de PMm recomendados na última edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016) para bovinos criados em confinamento e a pasto, respectivamente.

EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA PARA GANHO DE PESO

A estimação da composição corporal dos animais é fundamental para a avaliação do valor nutricional dos alimentos e para estudos do crescimento animal (Boin et al., 1994), pois possibilita a estimativa das exigências de proteína para o ganho de peso dos animais. Os principais componentes químicos do corpo de um bovino são: água, gordura, proteína e minerais. De acordo com Ferreira et al. (1998), a maturidade do animal é caracterizada pelo aumento na proporção de gordura no corpo. Animais mais jovens têm maior proporção de água e proteína e menor proporção de gordura, de modo que as concentrações de proteína, cinzas e água decrescem com a idade e com a terminação dos animais. O NRC (2000) relatou que os teores de gordura e proteína corporal apresentam comportamento quadrático em relação ao peso corporal, com relações inversas: quanto maior o peso corporal, maior o teor de gordura e menor o de proteína.

A proporção e a velocidade com que os tecidos se acumulam no corpo influencia o ganho de peso e a composição corporal, bem como a eficiência alimentar (Shahin et al., 1993) e, consequentemente, as exigências nutricionais. As proporções dos tecidos e sua composição química são influenciadas por vários fatores, destacando-se o peso corporal, a idade, o grupo genético, o nível de consumo de energia e o sexo (Ferreira et al., 1998). Segundo Garret (1980), o grupo genético teria maior influência sobre a composição corporal, a um mesmo peso corporal, do que o nível nutricional.

As diferenças nas exigências de proteína para ganho de peso são atribuídas às

variações na composição do ganho de peso (Garret et al., 1959; Geay, 1984). As exigências proteicas para ganho de peso são maiores para machos não castrados de maturidade tardia do que para machos castrados de maturidade precoce (Geay, 1984). Boin (1995) observou maior concentração de proteína por quilograma de GPCVZ em machos Nelore não castrados em relação aos machos castrados. Segundo Geay (1984), as exigências líquidas de proteína (PL) tendem a ser menos importantes que as de energia para bovinos em crescimento com maturação precoce, como os das raças Angus e Hereford, pois ocorre menor retenção de energia na forma de proteína (12 a 15%). Esse tipo de animal preenche suas exigências proteicas utilizando principalmente os AA provenientes da fermentação microbiana (Geay, 1984). A maioria dos estudos indica redução das exigências líquidas de proteína para ganho de peso (PLg) à medida que o PC aumenta (Lana et al., 1992; Pires et al.; 1993; Fontes, 1995; Paulino, 1999, Cavalcante et al., 2005, Amaral et al., 2014).

Na primeira edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2006), as PLg foram estimadas a partir de equações de regressão da proteína retida (PR) em função da energia retida (ER) e do GMD, sendo obtidas três equações em função da classe sexual para animais zebuínos terminados em confinamento. Na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010), foi utilizado um modelo semelhante ao proposto pelo NRC (2000), em que a PR foi correlacionada com a ER e com o GPCVZ. Na terceira edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016), foram recomendadas 10 diferentes equações para predizer PLg (Tabela 9.6), as quais consideraram os efeitos de sistema de produção (confinamento e pasto), grupo genético (zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite) e classe sexual (machos não castrados, machos castrados e fêmeas).

Tabela 9.6 - Equações obtidas para estimar as exigências líquidas de proteína para ganho de animais criados a pasto ou em confinamento de diferentes grupos genéticos e classes sexuais, adaptada do BR-CORTE (2016)

Sistema	Grupo genético	Classe sexual	Equação
Confinamento	Zebuínos	Machos não castrados	PLg = 210,09 × GPCVZ – 10,01 × ER
		Machos castrados	PLg = 153,13 × GPCVZ – 2,53 × ER
		Fêmeas	PLg = 193,90 × GPCVZ – 12,16 × ER
	Cruzados de corte	Machos não castrados	PLg = 281,77 × GPCVZ – 27,66 × ER
		Machos castrados	PLg = 219,94 × GPCVZ – 12,04 × ER
		Fêmeas	PLg = 174,65 × GPCVZ – 3,14 × ER
	Cruzados de leite	Machos não castrados	PLg = 171,43 × GPCVZ – 3,08 × ER
		Machos castrados	PLg = 236,36 × GPCVZ – 19,84 × ER
		Fêmeas	PLg = 206,58 × GPCVZ – 15,39 × ER
Pasto	Zebuínos	Machos não castrados	PLg = 181,43 × GPCVZ – 2,88 × ER

PLg = exigência líquida de proteína para ganho (g/dia); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/d); ER = energia retida (Mcal/dia).

Desenvolvimento de uma nova equação para estimar as exigências líquidas de proteína (PLg)

Costa e Silva et al. (2020) desenvolveram um novo modelo, incluindo PCVZeq, para estimar as PLg para bovinos criados em condições brasileiras. Resumidamente, uma meta-análise foi realizada utilizando dados obtidos de 23 estudos realizados no Brasil entre 1997 e 2016 (Costa e Silva et al., 2020). O banco de dados foi composto por 492 animais terminados em confinamento e 60 animais criados e terminados a pasto, totalizando 552 observações que abrangeram machos não castrados, machos castrados e fêmeas de diferentes grupos genéticos (zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite). O modelo geral ajustado foi:

$$PLg = 176{,}01 \times GPCVZ - 6{,}239 \times ER$$

onde PLg = exigências de proteína líquida para ganho de peso (g/dia), GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia), e ER = energia retida (Mcal/dia).

No entanto, modelos que utilizam GPCVZ e ER como variáveis preditivas, que não permitem ajustes em relação ao PC, quando o animal atinge a maturidade fisiológica, podem levar à superparametrização da predição das estimativas das PLg, aumentando a complexidade dos cálculos. Com o intuito de disponibilizar um cálculo mais simples das PLg para animais de diferentes grupos genéticos e sexo, os autores decidiram substituir a variável ER da equação geral de predição das PLg pela equação utilizada para estimar as exigências líquidas de energia para ganho de peso (ELg). A equação para estimação das ELg, proposta no BR-CORTE (2016), utiliza o peso de corpo vazio equivalente (PCVZeq) como variável preditiva, permitindo estimar a ER para qualquer PC, independentemente do sexo e grupo genético (ER = 0,061 × $PCVZeq^{0,75}$ × $GPCVZ^{1,035}$). Assim, após substituir a variável preditiva ER pela equação ELg, o novo modelo obtido foi: PLg = 176,01 × GPCVZ – 6,239 × 0,061 × $PCVZeq^{0,75}$ × $GPCVZ^{1,035}$. Este novo modelo para predizer as PLg pode ser simplificado como:

$$PLg = 176,01 \times GPCVZ - 0,381 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035}$$

onde PLg = exigências líquidas de proteína para ganho (g/dia), GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia) e PCVZeq = peso de corpo vazio equivalente (kg). Nesse contexto, o uso do PCVZeq como variável preditiva permite estimar a ER para qualquer PC, independentemente de gênero e grupo genético (Marcondes et al., 2016). Portanto, o uso do PCVZeq em modelos pode simplificar e até melhorar a acurácia e precisão das estimativas das PLg.

Além disso, esses autores também avaliaram a nova equação proposta para prever as PLg e a compararam com os atuais modelos propostos pelos principais sistemas de exigências nutricionais internacionais (ARC, 1980; BR-CORTE, 2016; NASEM, 2016) usando um banco de dados independente. A avaliação do modelo foi realizada utilizando dados de cinco experimentos independentes, totalizando 177 observações abrangendo machos não castrados e castrados de diferentes grupos genéticos (zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite). Como resultado, as equações recomendadas pelo BR-CORTE (2016) e NASEM (2016) não estimaram corretamente as PLg e não foram recomendadas para estimar as PLg para bovinos em condições brasileiras.

No entanto, a nova abordagem (Costa e Silva et al., 2020) e aquela descrita pelo ARC (1980) exibiram boa precisão e acurária. Além disso, a inclusão do PCVZeq no novo modelo (Costa e Silva et al., 2020) melhorou a estimativa das PLg, que apresentou reprodutibilidade e acurácia superiores aos atuais modelos avaliados. Portanto, o comitê recomenda o uso da equação proposta por Costa e Silva et al. (2020) para predizer as exigências de PLg (PLg = 176,01 × GPCVZ - 0,381 × $PCVZeq^{0,75}$ × $GPCVZ^{1,035}$) nesta atual edição do BR-CORTE.

Eficiência de utilização da proteína metabolizável

Para que as exigências de PL sejam convertidas em exigências de PM é preciso estimar a eficiência de utilização da PM para ganho (*k*). A PM contém a proteína não degradável no rúmen digestível (PNDRd) e a proteína microbiana verdadeira digestível (PBMvd), sendo que esta representa a quantidade de AA absorvidos no intestino delgado.

Dentre os sistemas internacionais de predição das exigências nutricionais de bovinos de corte, o NRC (1984) relatou que a média do valor biológico de AA absorvidos por bovinos é 66%, valor obtido por Zinn e Owens (1983). Assim, baseando-se neste e em outros estudos, o NRC (1985) adotou valores de 50 e 65% para *k*, sendo esses valores baseados no valor biológico da proteína e no valor de uma mistura ideal de AA (Oldham, 1987). Oldham (1987) sugeriu, ainda, uma eficiência de 85% para todas as funções fisiológicas, como um valor referente a eficiência de conversão de uma mistura ideal de AA. Como na prática isso não acontece, a eficiência real normalmente encontra-se abaixo deste valor.

De acordo com o sistema britânico (AFRC, 1993), a eficiência de utilização de uma mistura ideal de AA é denominada de *kaai*, sendo esta característica inerente ao animal. Entretanto, esse sistema reconheceu que, na prática, valores mais baixos do que a eficiência ideal têm sido encontrados, sendo estes dependentes basicamente da qualidade da mistura de AA na PNDR digestível e da

proporção entre PNDRd e PBMvd no intestino delgado. Assim, o AFRC (1993) considera valores fixos para eficiência de uso da PM de 100% para mantença, 59% para ganho, 85% para gestação e 68% para lactação.

Devido à elevada qualidade da mistura de AA da PBmic, o valor biológico da PBmic é alto, fazendo com que a proporção de PBmic na proteína total que chega ao intestino possa alterar a eficiência de utilização da PM (NRC, 2000). Contudo, o sistema francês (INRA, 1988) considerou que à medida que o PC aumenta, *k* diminui. Essa eficiência decrescente foi confirmada por Ainslie et al. (1993) e Wilkerson et al. (1993) a partir de dados de animais com PC variando entre 150 e 300 kg. Nesse contexto, o NRC (2000) adotou a equação desenvolvida por Ainslie et al. (1993) para estimar *k* para animais de 150 a 300 kg:

$$k = 83{,}4 - (0{,}114 \times \text{PCVZeq})$$

Assim, um bovino com 150 kg de PCVZeq terá um valor de *k* igual a 0,663, enquanto um bovino com 300 kg terá uma eficiência de 0,492. O NRC (2000) utiliza a equação acima somente para animais com PCVZeq menor que 300 kg; enquanto para pesos superiores, o NRC (2000) recomendou o valor fixo de 0,492, oriundo de suas versões anteriores (NRC, 1984). Vale ressaltar que as exigências de proteína para ganho de peso são relativamente baixas quando os animais atingem pesos corporais em torno de 400 kg.

Dados da literatura nacional reportaram valores de *k* de 33,3% (Costa e Silva et al., 2013) e 34,4% (Menezes et al., 2016) para bovinos Nelore nas fases de crescimento e terminação, respectivamente. Enquanto isso, Zanetti et al. (2016) e Silva et al. (2016) obtiveram valores de *k* iguais a 29,7 e 25,2% para machos castrados e fêmeas Holandês × Zebu, respectivamente. No entanto, Mariz et al. (2018) descreveram um valor médio de *k* de 40% para machos Nelore e Angus × Nelore não castrados. Muitos fatores como idade, composição ou condição de alimentação podem afetar a *k* (Blaxter et al., 1966; Garrett, 1980; Gionbelli et al., 2012, Marcondes et al., 2013).

A primeira edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2006) utilizou as recomendações do NRC (2000) para a *k*, em que o valor de *k* foi considerado como o coeficiente de inclinação obtido da regressão entre a PR e o CPM. Por outro lado, o BR-CORTE (2010), avaliando a PR em função do CPM (Figura 9.6), não encontrou efeito de grupo genético ou condição sexual sobre o valor de k, sendo a equação final adotada igual a:

$$PR = -2{,}223 + 0{,}4691 \times CPM$$

em que PR = proteína retida (g/PCVZ^{0,75}) e CPM = consumo de proteína metabolizável (g/PCVZ^{0,75}).

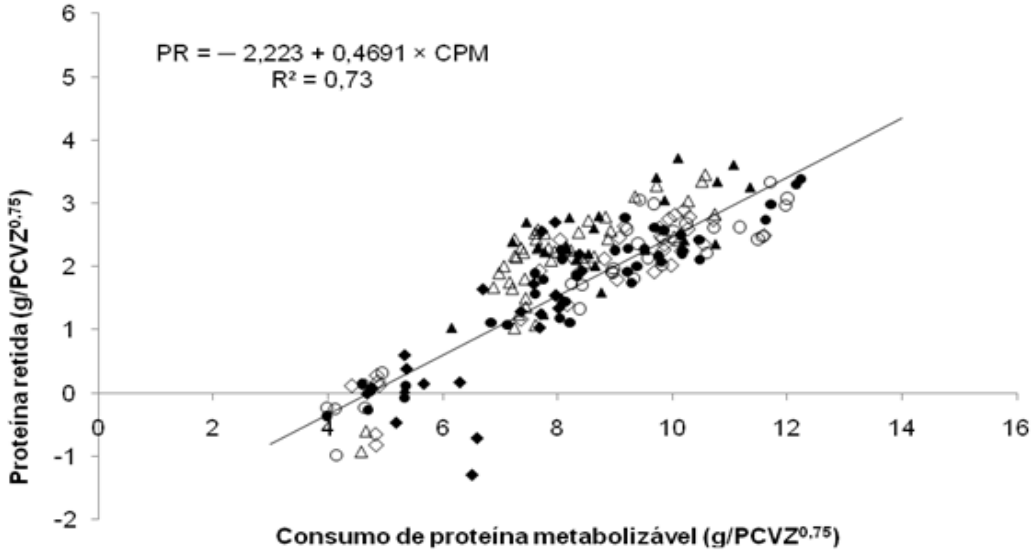


Figura 9.6 - Relação entre a proteína retida e o consumo de proteína metabolizável. Os símbolos representam dados de machos não castrados (▲, Δ), machos castrados (◊,♦), e fêmeas (○, ●). Pontos sólidos representam animais Nelore e pontos vazios representam animais cruzados *Bos taurus indicus* × *Bos taurus taurus*.

A partir dessa equação, o valor estimado para *k* foi de 46,9% para animais zebuínos e cruzados de corte, sendo este valor próximo ao preconizado pelo NRC (2000), de 49,2%. Além disso, o mesmo valor estimado para *k* para animais criados em confinamento foi adotado para animais criados em pastejo na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010) devido à pequena quantidade de dados disponíveis. Na terceira edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016), uma equação semelhante foi novamente ajustada; o valor obtido foi de 47,4% (Figura 9.7) para animais criados a pasto e em confinamento. Ainda, a quantidade de dados oriundos de experimentos a pasto foi pequena, o que impossibilitou a avaliação do efeito de sistema de produção para *k*.

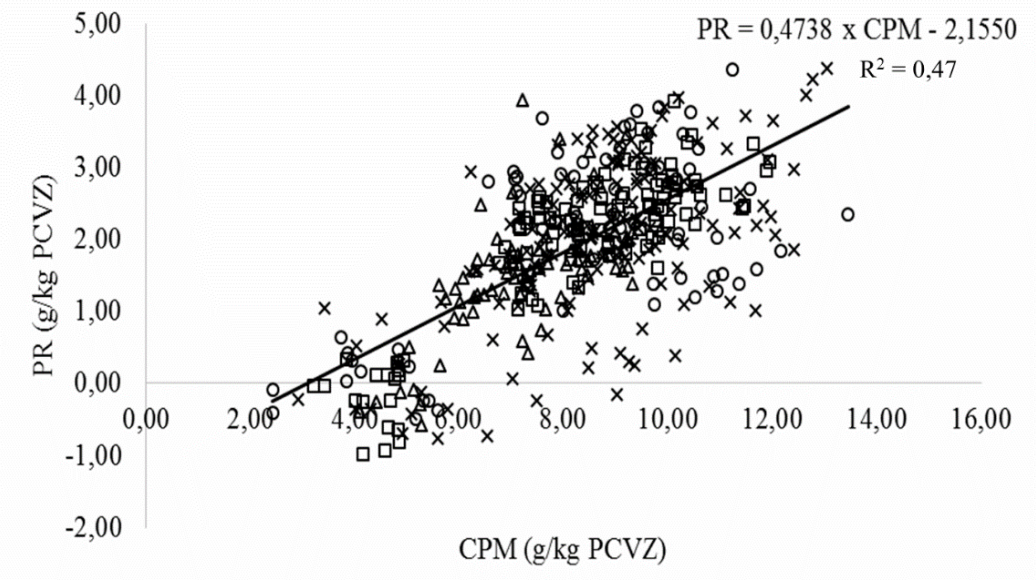


Figura 9.7 - Relação entre a proteína retida (PR) e o consumo de proteína metabolizável (CPM) de animais terminados em sistema de confinamento. Os símbolos representam dados de zebuínos (×), cruzados de corte (○) e cruzados de leite (□).

A maioria dos sistemas de exigências nutricionais (INRA, 1988; AFRC, 1993; NRC, 2000; CSIRO, 2007) relatam que o uso de uma eficiência constante (*k*) não representa a real eficiência dos animais. O valor de *k* parece estar mais relacionado com a composição da PM que chega ao intestino delgado do que com o PCVZeq (Oldham, 1987), como sugerido pelo INRA (1988).

Nesse sentido, na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010), estimou-se a eficiência média de cada experimento e esses valores foram correlacionados com o PCVZeq médio de cada experimento para gerar a equação para estimar *k*:

$$k = 84{,}665 - 0{,}1179 \times PCVZeq$$

onde PCVZeq = peso de corpo vazio equivalente.

Essa equação recomendada na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010) foi mantida na edição atual. Contudo, na segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010), a recomendação foi para que esta equação fosse utilizada para animais que apresentassem PCJ < 350 kg. Como a *k* aumentou para animais adultos (46,9 para 47,4%) da segunda (BR-CORTE, 2010) para a terceira edição (BR-CORTE, 2016) do BR-CORTE, a recomendação seria o uso dessa equação para animais com PCJ < 340 kg. Assim, considerando animal de 150 kg de PCVZeq, com o uso da equação acima, a eficiência seria de 67%, sendo que esse valor é próximo do sugerido pela equação do NRC (2000) de 66%. Adicionalmente, observa-se que à medida que o animal cresce, a *k* diminui até o PCJ igual a 340 kg. A partir desse PCJ, a eficiência deve ser constante e igual a 47,4%. O NRC (2000) e o NASEM (2016) consideraram o valor de 49,2 para *k* para animais com PC superior a 300 kg.

A PBmic foi calculada considerando a recomendação apresentada no capítulo 3, onde

a síntese de PBmic foi calculada em função do CPB e dos nutrientes digestíveis totais (CNDT) como apresentado a seguir:

$$PBmic\ (g/dia) = -53{,}07 + 304{,}9 \times CPB + 90{,}8 \times CNDT - 3{,}13 \times CNDT^2$$

em que CPB = consumo de proteína bruta (kg/dia) e CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais (kg/dia). Assim, as exigências de PDR foram calculadas a partir das recomendações da edição atual, em que a síntese de PBmic iguala-se às exigências de PDR: PDR = PBmic; enquanto as exigências de PNDR foram obtidas a partir da equação: PNDR = (proteína metabolizável total – (PBmic × 0,64))/0,80. Para se obter as exigências de PB, deve-se proceder à soma das exigências de PDR e PNDR. Vale ressaltar que o valor usado para a digestibilidade verdadeira da PBmic e da PNDR no intestino delgado foi recentemente confirmado na pesquisa de Mariz et al. (2018), que trabalhando com bovinos Nelore e Angus × Nelore, fistulados no rúmen e no íleo, estimou a digestibilidade verdadeira da PBmic e da PNDR média de aproximadamente 80%.

CONSIDERAÇÕES SOBRE RECICLAGEM DE COMPOSTOS NITROGENADOS

A reciclagem da ureia no fígado para o rúmen e glândulas salivares é uma das particularidades que envolve a fisiologia e a nutrição dos ruminantes e que representa uma vantagem evolutiva para estes animais, permitindo sua sobrevivência em períodos nos quais o teor de proteína da dieta é inferior a 7% (Lazzarini et al., 2009; Sampaio et al., 2010). De acordo com Batista et al. (2016), ao providenciar amônia para os microrganismos ruminais, a reciclagem da ureia afeta a quantidade de N disponível no rúmen que deve ser fornecida diretamente a partir da dieta. Portanto, os sistemas nutricionais devem considerar o N reciclado para estimar as exigências de proteína dos animais. Considerando tais aspectos, a atual edição do sistema americano (NASEM, 2016) considera a reciclagem de ureia para o rúmen como sendo o valor obtido pela seguinte equação:

$$N\ ureia = (-0{,}1113 + 0{,}996 \times \exp(^{-\ 0{,}0616 \times PB)}) \times (0{,}745 \times CN - 11{,}98)$$

em que N uréia = N reciclado para o rúmen na forma de uréia (g/dia); PB = teor de proteína bruta da dieta (% MS); CN = consumo de nitrogênio (g/dia). Com isso, o NASEM (2016) espera que com o uso da reciclagem de N nos cálculos, os valores das exigências de PB estejam mais próximos do real, permitindo a formulação de dietas que otimizem o desempenho animal, reduzam perdas econômicas e evitem contaminação ambiental. Até a segunda edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2010), a reciclagem de nitrogênio não foi considerada nos cálculos de exigências de proteína, o que possivelmente contribuiu para a superestimação das recomendações de PB na dieta de bovinos.

Contudo, Batista et al. (2016), avaliando forragem de baixa qualidade (5,0% PB na base da MS) ou dietas contendo infusão ruminal de proteína para atender 100% das exigências de PDR e de 0 a 150% das exigências de PNDR, encontraram que 22% do total de N microbiano na dieta controle foi derivado da reciclagem de ureia, enquanto nas dietas suplementadas, essa incorporação foi de 10%. Além disso, avaliando dietas com diferentes teores de PB (9, 11, 13 e 15% na base da MS) e considerando o teor de PDR, a quantidade de N ingerido e a produção de nitrogênio microbiano (NM) obtidos em cada nível dietético de PB, Prates (2015) verificou que a eficiência de captação de N ingerido degradado no rúmen em NM variou de 120 a 90,28%, entre as dietas de 9 e 15% de PB, respectivamente. Assim na dieta com 9% de PB, a quantidade de N reciclado incorporado ao NM foi de aproximadamente 20%, reduzindo para próximo de 10% na dieta contendo 11% de PB, para aproximadamente zero na dieta com 13% de PB. Ainda, para a dieta com 15% de PB, foi observada uma perda líquida de N no rúmen próxima de 10%. Com isso, considerando os dados descritos acima, observa-se que a reciclagem de N para o rúmen parece contribuir com 10 a 20% do N microbiano, considerando dietas variando de 5 a 13% de PB. Esses valores são levemente menores que os calculados pela equação sugerida pelo NASEM (2016).

Apesar de reconhecer a importância da reciclagem de N, o comitê do BR-CORTE não recomenda nenhum valor para a reciclagem de N, visto que até o presente momento apenas Batista et al. (2016) mediram efetivamente a reciclagem de ureia, utilizando animais alimentados com forragem de baixa qualidade e

com infusão de N em condições tropicais. Contudo, apesar de não recomendar nenhum valor para reciclagem de N, o comitê considera que a quantidade de compostos nitrogenados reciclados para o rúmen pode compensar a ineficiência da utilização do N degradável. Assim, o comitê sugere que se o usuário desejar computar a reciclagem de N, valores de 5% a 10% para dietas convencionais seriam adequados.

AVALIAÇÃO PRÁTICA DE NÍVEIS DE PROTEÍNA BRUTA NA DIETA DE BOVINOS DE CORTE

Dois estudos foram desenvolvidos para avaliar o efeito da redução de níveis de PB na dieta de bovinos de corte. No Estudo 1 (Menezes et al., 2019), os animais foram desmamados e a fase de crescimento/terminação foi conduzida em confinamento, no qual foram testados níveis estáticos e oscilantes de 10,5, 12,5 e 14,5 % de PB na MS da dieta. No Estudo 2 (Menezes et al., 2016), os animais foram desmamados, recriados a pasto por um ano e submetidos a terminação em confinamento. Neste caso, foram avaliados níveis de 10, 12 e 14% de PB na MS da dieta.

Estudo 1

Quarenta e dois machos Nelore não castrados super precoces (PC inicial de 260 ± 8,1 kg; idade de 7 ± 1,0 meses) foram alimentados à vontade e distribuídos aleatoriamente em seis grupos, aos quais foram fornecidas dietas com diferentes concentrações de PB por 140 dias: níveis estáticos de 10,5 (LO), 12,5 (MD), ou 14,5% PB na dieta MS (HI), e níveis oscilantes de PB a cada 48 h de LO a HI (LH), LO a MD (LM), ou MD a HI (MH). O CMS, desempenho produtivo e as características de carcaça não foram influenciados ($P > 0,05$) pelo teor de PB da dieta ou pela oscilação do teor de PB da dieta (Tabela 9.7), sugerindo que dietas com teores oscilantes de PB não foram prejudiciais ao desempenho produtivo dos animais.

Por outro lado, os resultados do balanço de N foram mais variáveis. No geral, os machos não castrados alimentados com a dieta HI apresentaram maior ingestão e excreção de N do que aqueles alimentados com as dietas MD ou LO. Além disso, os machos não castrados alimentados com as dietas HI e MD tiveram maior retenção de N do que aqueles alimentados com baixo teor de PB (dieta LO). Diferenças também foram observadas entre os tratamentos com teores oscilantes de PB dietética e o tratamento estático MD, onde maior ingestão e excreção geral de N foram observadas para os animais alimentados com LH e MH em comparação com aqueles que receberam o tratamento MD; enquanto os animais alimentados com LM apresentaram menor consumo de N e excreção urinária de N do que aqueles alimentados com MD. Ainda, os animais que receberam a dieta MD apresentaram maior retenção de N do que aqueles alimentados com as dietas LM e MH.

Este estudo mostrou que a redução do teor de PB dietético de 14,5 para 10,5% ou a oferta de níveis oscilantes de PB não afetaram o desempenho produtivo e as características de carcaça de machos Nelore não castrados em crescimento; mas o aumento do teor de PB da dieta aumentou a ingestão, excreção e retenção de N. É importante destacar que as dietas MD e HI apresentaram retenção de N semelhantes e a dieta MD apresentou uma melhora geral na ingestão, excreção e retenção de N, quando comparadas aos tratamentos com níveis oscilantes de PB de LH e MH.

Assim, embora não haja efeito adverso aparente do uso de dietas com níveis oscilantes de PB em relação a um nível estático moderado de PB (12,5%), nem níveis estáticos baixo (10,5%) e alto (14,5%) sobre o desempenho produtivo de machos Nelore não castrados super precoces; pode haver aumento indesejável na excreção de N para o ambiente quando o teor médio de PB na dieta é aumentado. Nesse sentido, é plausível afirmar que dietas contendo 10,5 e 12,5% de PB, ou dentro desta faixa, sejam indicadas para terminação de machos Nelore não castrados super precoces. A recomendação sobre o teor de PB na dieta deve atender às exigências, reduzir o impacto ambiental relacionado à excreção de N e evitar perdas econômicas.

Tabela 9.7 - Desempenho produtivo e características de carcaça de machos Nelore não castrados alimentados com diferentes níveis de proteína bruta na dieta [Adaptada de Menezes et al. (2019)]

Item[1]	Tratamento[2]						EPM[3]	Contrastes[4]				
	LO	MD	HI	LH	LM	MH		Linear	Quadrático	M × LH	M × LM	M × MH
Desempenho produtivo												
Consumo de matéria seca (kg/d)	7,71	7,62	7,29	7,54	7,51	7,62	0,21	0,27	0,33	0,51	0,77	0,77
PCJ inicial (kg)	276	275	279	275	274	277	9,09	0,75	0,95	0,85	0,92	0,93
PCJ final (kg)	440	447	433	455	445	448	14,1	0,46	0,98	0,8	0,71	0,67
GMD (kg)	1,17	1,25	1,13	1,32	1,23	1,25	0,06	0,15	0,79	0,51	0,34	0,35
Eficiência alimentar	0,15	0,16	0,15	0,17	0,16	0,16	0,01	0,11	0,24	0,19	0,10	0,14
Características de carcaça												
Peso de carcaça fria (kg)	261	266	258	271	262,2	268	8,43	0,53	0,92	0,93	0,69	0,56
Rendimento de carcaça fria (%)	59,4	59,4	59,7	59,5	59	59,8	0,43	0,73	0,79	0,53	0,96	0,53
EGS (mm)	4,9	3,9	3,2	4,0	3,8	5,1	0,50	0,41	0,06	0,11	0,16	0,77
Balanço de N												
Consumo de N (g/dia)	135,2	149,7	197,6	171,9	143,8	165,9	2,38	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01
N urinário (g/dia)	67,7	85,5	116,1	92,8	71,2	90,7	2,39	<0,01	<0,01	0,33	<0,01	<0,01
N fecal (g/dia)	43,9	44,3	52,1	49,9	47,0	50,0	1,21	<0,01	0,01	0,07	0,81	<0,01
N retido (g/dia)	23,8	29,0	29,1	29,9	26,4	27,3	1,16	0,96	0,01	0,13	<0,01	0,04

[1]PCJ = peso corporal em jejum; GMD = ganho médio diário; EGS = espessura de gordura subcutânea.
[2]LO = baixo (10,5% PB); MD = médio (12,5 % PB); HI = alto (14,5% PB), LH = nível oscilante de baixo (LO; 10,5% PB) a alto (HI; 14,5% PB) a cada 48 h; LM = nível oscilante de baixo (10,5% PB) a médio (MD; 12,5 % CP) a cada 48 h; MH = nível oscilante de médio (12,5 % PB) a alto (14,5% CP) a cada 48 h.
[3]EPM = erro padrão da média.
[4]Contrastes linear e quadrático comparando os níveis de 10,5, 12,5 e 14,5% PB; comparação entre M (12,5 % PB) e LH (nível oscilante de 10,5 a 14,5% PB a cada 48 h); comparação entre M (12,5 % PB) e LM (nível oscilante de 10,5 a 12.5% PB a cada 48 h); comparação entre M (12,5 % PB) e MH (nível oscilante de 12,5 a 14,5% PB a cada 48 h).

Estudo 2

Nesse estudo, foram utilizados machos Nelore não castrados com idade média de 20 ± 1,0 meses e PC inicial de 330 ± 8,1 kg. Os animais foram aleatoriamente divididos em três grupos, aos quais foram destinados os tratamentos que consistiam em três níveis de PB na dieta: 10, 12 e 14% de PB. O experimento teve duração de 112 dias. Semelhantemente ao estudo 1, não foram observados efeitos dos níveis dietéticos de PB sobre o desempenho produtivo e características de carcaça de machos Nelore não castrados terminados em confinamento animal (Tabela 9.8).

Tabela 9.8 - Desempenho produtivo e características de carcaça de machos Nelore não castrados em terminação alimentados com três diferentes níveis de proteína bruta

Item	Conteúdo de proteína bruta			EPM	Contraste	
	10%	12%	14%		Linear	Quadrático
Peso corporal inicial (kg)	324	325	329	-	-	-
Peso corporal final (kg)	470	479	477	9,13	0,57	0,64
Ganho médio diário (kg/d)	1,30	1,50	1,50	0,06	0,64	0,53
Peso de carcaça quente (kg)	286	288	285	6,42	0,90	0,72
Espessura de gordura subcutânea (mm)	5,00	5,60	4,40	0,72	0,59	0,30
Rendimento de carcaça quente (%)	60,9	60,1	59,6	0,58	0,14	0,90

De acordo com Winschester et al. (1957), os níveis dietéticos de PB influenciam o GMD de animais em crescimento, embora o mesmo comportamento não seja observado para animais em terminação. Isso ocorre porque as exigências de proteína diminuem à medida que os animais atingem a maturidade (NRC, 2000), época que passam a depositar mais gordura, aumentando a relação gordura/músculo na carcaça.

No entanto, os confinamentos brasileiros normalmente adotam níveis de PB que variam de 11 a 15%, com valores médios de 13,6% PB (Pinto e Millen, 2018), baseado no fato de que níveis mais altos de PB estimulam o consumo e estão relacionados a elevados ganho de peso (Véras et al., 2007). No entanto, Menezes et al. (2016) demonstraram que o CMS não é afetado pelos níveis de proteína da dieta e a redução dos teores de PB durante a fase de terminação contribui para a redução dos custos com alimentação. Segundo esses autores, o consumo excessivo de PB na dieta de 14% PB em relação a dieta de 10% PB foi de 330 g/dia, o que equivale a 733 gramas de farelo de soja que poderiam ser

economizados por animal diariamente. Assim, a redução dos teores de PB nas dietas é possível e viável, principalmente durante a fase de terminação, reduzindo os custos com a alimentação.

Com base nesses experimentos, a atual edição do BR-CORTE sugere que dietas contendo 10,5 e 12,5% de PB, ou dentro dessa faixa, são indicadas se o objetivo for a produção de machos não castrados super precoces em confinamento. Além disso, não foi detectada diferença no desempenho animal entre machos Nelore não castrados mais maduros, com PC inicial de 330 kg, em terminação alimentados com dietas contendo 10, 12 ou 14% de PB, (Menezes et al., 2016).

EXIGÊNCIAS DE AMINOÁCIDOS

Modelos nutricionais evoluíram do conceito básico de PB (NRC, 1976; ARC, 1965) para sistemas mais complexos baseados em PDR e PNDR (ARC, 1980; INRA, 1988; NASEM, 2016; BR-CORTE, 2016). No entanto, AA, e não a proteína em si, são os nutrientes exigidos pelos animais. Portanto, seria mais apropriado usar AA em vez do conceito de PB para atender as exigências de mantença e produção de bovinos ao formular dietas. Além disso, a formulação de dietas utilizando as exigências de AA pode contribuir para reduzir o teor de proteína das dietas de bovinos de corte, sem afetar negativamente o desempenho animal, resultando na redução da ingestão de proteína, custos de alimentação e excreção de compostos nitrogenados para o ambiente.

Apesar do progresso considerável na modelagem da síntese de proteína microbiana (NASEM, 2016) e digestibilidade dos AA (Tamminga e Oldham, 1980; Mariz et al., 2018), avanços limitados aconteceram com relação ao metabolismo intermediário de AA e, especialmente, às exigências líquidas de AA para ruminantes (Tedeschi et al., 2015; Schwab e Broderick, 2017; Amaral et al., 2021). Assim, modelos preditivos robustos precisam ser desenvolvidos para estimar as exigências líquidas e metabolizáveis de AA para bovinos, o que permitiria balancear dietas tanto para os microrganismos ruminais quanto para o animal hospedeiro.

Poucas informações sobre as exigências de AA para ruminantes estão disponíveis na literatura. No CNCPS (O'Connor et al., 1993), as exigências de AA de ruminantes são baseadas nas exigências de PL e no perfil de AA dos tecidos corporais (Titgemeyer e Loest, 2001). No entanto, a eficiência com que AA absorvidos são utilizados para retenção de proteína é de difícil acesso (NASEM, 2016), e existem poucas e contraditórias estimativas. De acordo com o AFRC (1993), a eficiência do uso dos AA para ganho de peso é de 59% para todos os AA essenciais (AAE), enquanto o BR-CORTE (BR-CORTE, 2016) sugeriu 47,4% como eficiência de utilização da PM, o que é próximo ao valor de 49% sugerido pelo NASEM (2016). Apesar desses sistemas adotarem um único valor de eficiência para o uso dos AA, estudos recentes mostraram que existem diferenças entre os AA individuais (Titgemeyer et al., 1990; Löest et al., 2002; Batista et al., 2016).

Nesse contexto, Amaral et al. (2021) e Mariz et al. (2018) desenvolveram dois estudos complementares, os quais tinham por objetivo 1) avaliar o teor de AA no peso de corpo vazio e estimar as exigências líquidas de AA e energia para ganho de peso de machos Nelore e Angus × Nelore (A × N) não castrados; 2) determinar a digestibilidade intestinal aparente e verdadeira dos AA totais e individuais e estimar a eficiência da retenção de AA corporal a partir dos AA individuais e totais absorvidos.

Dados sobre as exigências de AA na literatura são escassos, especialmente para bovinos de corte. Além disso, os dados utilizados por Amaral et al. (2021) e Mariz et al. (2018) foram obtidos em condições produtivas brasileiras. Portanto, os trabalhos acima mencionados servirão de base para as exigências líquidas e metabolizáveis de AA incorporados à edição atual desta publicação.

O conteúdo de cada AA e PB (kg) no corpo vazio e as exigências líquidas de AA foram descritos na forma de equações por Amaral et al (2021). O banco de dados deste estudo incluiu dados de 48 machos não castrados (24 Nelore e 24 A × N) alimentados com dietas contendo diferentes teores de PB (100, 120 e 140 g PB/kg MS) em um experimento de abate comparativo. Considerando que não foram encontradas diferenças entre os grupos genéticos avaliados, uma única equação foi obtida para estimar o conteúdo individual de AA no corpo vazio e as exigências líquidas dos AA individuais para ganho

de peso (g/kg GPCVZ e g/100 g PB) para machos não castrados Nelore e A × N (Tabela 9.9).

As equações para estimar as exigências líquidas de lisina (Lis) e metionina (Met; g/100 g de PB) propostas por Amaral et al. (2021) foram: Lis = 5,09 × $PCVZ^{0,0594}$ e Met = 1,73 × $PCVZ^{0,0255}$. Considerando um macho não castrado com um PCVZ de 350 kg, as exigências líquidas de Lis e Met calculadas por essas equações foram 7,20 e 2,01 g/100 g PB, respectivamente.

As equações para estimar as exigências líquidas de lisina (Lis) e metionina (Met; g/kg PCVZ) propostas por Amaral et al. (2021) foram: Lis = 15,9 × $PCVZ^{-0,0464}$e Met = 5,43 × $PCVZ^{-0,0803}$. Silva et al. (2002) relataram valores de exigências líquidas de Lis e Met para ganho de peso de machos Nelore não castrados (GPCVZ = 1 kg/dia e PC = 350 kg) de 10,36 e 3,54 g/dia, respectivamente. Da mesma forma, as exigências líquidas de Lis e Met para ganho de peso estimadas para machos Holandês castrados, as quais foram baseadas na composição corporal de AA observada por Ainslie et al. (1993), foram 10,71 e 3,69 g/d. Os valores obtidos nestes estudos foram próximos aos descritos por Amaral et al. (2021) de 12,11 e 3,39 g/dia para as exigências líquidas de Lis e Met, respectivamente.

Tabela 9.9 - Composição de aminoácidos expressa para 100 gramas de proteína bruta no corpo vazio e exigências líquidas de aminoácidos para ganho de peso de machos não castrados Nelore e Angus × Nelore[1], adaptada de Amaral et al. (2021)

Aminoácidos	Composição corporal (kg)	R^2	Exigências líquidas para ganho	
			g/kg GPCVZ	g/100 g de PB
PB, g/dia	$0{,}3501 \times PCVZ^{0,8942}$	0,96	$313{,}1 \times PCVZ^{-0,1058}$	100
Aminoácidos essenciais, g/100 g PB				
Arginina	$0{,}0368 \times PCVZ^{0,8369}$	0,94	$30{,}8 \times PCVZ^{-0,1631}$	$9{,}84 \times PCVZ^{-0,0573}$
Histidina	$0{,}0035 \times PCVZ^{1,0556}$	0,91	$3{,}69 \times PCVZ^{0,0556}$	$1{,}18 \times PCVZ^{0,1614}$
Isoleucina	$0{,}0102 \times PCVZ^{0,9369}$	0,93	$9{,}56 \times PCVZ^{-0,0631}$	$3{,}05 \times PCVZ^{0,0427}$
Leucina	$0{,}0239 \times PCVZ^{0,9003}$	0,95	$21{,}5 \times PCVZ^{-0,0997}$	$6{,}87 \times PCVZ^{0,0061}$
Lisina	$0{,}0167 \times PCVZ^{0,9536}$	0,93	$15{,}9 \times PCVZ^{-0,0464}$	$5{,}09 \times PCVZ^{0,0594}$
Metionina	$0{,}0059 \times PCVZ^{0,9197}$	0,88	$5{,}43 \times PCVZ^{-0,0803}$	$1{,}73 \times PCVZ^{0,0255}$
Fenilalanina	$0{,}0096 \times PCVZ^{0,9370}$	0,94	$8{,}98 \times PCVZ^{-0,0630}$	$2{,}87 \times PCVZ^{0,0428}$
Treonina	$0{,}0102 \times PCVZ^{0,9349}$	0,94	$9{,}54 \times PCVZ^{-0,0651}$	$3{,}05 \times PCVZ^{0,0407}$
Triptofano	$0{,}0016 \times PCVZ^{0,9698}$	0,84	$1{,}57 \times PCVZ^{-0,0302}$	$0{,}50 \times PCVZ^{0,0756}$
Valina	$0{,}0099 \times PCVZ^{0,9751}$	0,90	$9{,}61 \times PCVZ^{-0,0249}$	$3{,}07 \times PCVZ^{0,0809}$
Aminoácidos não-essenciais, g/100 g PB				
Alanina	$0{,}0421 \times PCVZ^{0,8115}$	0,93	$34{,}2 \times PCVZ^{-0,1885}$	$10{,}9 \times PCVZ^{-0,0827}$
Ácido aspártico	$0{,}0267 \times PCVZ^{0,8751}$	0,73	$23{,}4 \times PCVZ^{-0,1249}$	$7{,}46 \times PCVZ^{-0,0191}$
Cistina	$0{,}0016 \times PCVZ^{1,0111}$	0,85	$1{,}64 \times PCVZ^{0,0111}$	$0{,}52 \times PCVZ^{0,1169}$
Ácido glutâmico	$0{,}0416 \times PCVZ^{0,9058}$	0,91	$37{,}7 \times PCVZ^{-0,0942}$	$12{,}0 \times PCVZ^{0,0116}$
Glicina	$0{,}1134 \times PCVZ^{0,7291}$	0,84	$82{,}7 \times PCVZ^{-0,2709}$	$26{,}4 \times PCVZ^{-0,1651}$
Prolina	$0{,}0632 \times PCVZ^{0,7550}$	0,86	$47{,}7 \times PCVZ^{-0,2450}$	$15{,}2 \times PCVZ^{-0,1392}$
Serina	$0{,}0189 \times PCVZ^{0,8491}$	0,95	$16{,}0 \times PCVZ^{-0,1509}$	$5{,}13 \times PCVZ^{-0,0451}$
Tirosina	$0{,}0069 \times PCVZ^{0,9474}$	0,91	$6{,}53 \times PCVZ^{-0,0526}$	$2{,}09 \times PCVZ^{0,0532}$

[1]PCVZ = peso de corpo vazio; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio.

Para converter as exigências líquidas dos AA individuais e totais em exigências metabolizáveis de AA, as eficiências de retenção dos AA individuais e totais devem ser estimadas. Tais eficiências foram estimadas por Mariz et al (2018) por meio de uma regressão linear entre a quantidade de AA individuais e totais absorvidas (g/dia) e suas respectivas retenções corporais (g/dia). Para isso, Mariz et al. (2018) utilizaram dados de dois estudos. No estudo 1, a digestibilidade intestinal e a absorção diária total e individual de AA foram estimadas em um ensaio de digestão (para mais detalhes, consulte Mariz et al., 2018). Os dados do estudo 2 foram

compostos pela eficiência de utilização individual e total de AA para a retenção de proteína corporal anteriormente descrita no estudo complementar de Amaral et al. (2021).

A digestibilidade intestinal verdadeira de AA foi obtida pelo modelo de regressão linear ajustado entre o AA absorvido no intestino delgado e seu respectivo fluxo omasal. O intercepto da equação representou as perdas endógenas, e a inclinação representou a digestibilidade verdadeira do AA dietético (Tabela 9.10) ou AA microbiano (Tabela 9.11). A digestibilidade intestinal verdadeira dos AA totais foi de 75% e as perdas endógenas foram de 17,18 g/dia. A digestibilidade intestinal verdadeira dos AAE individuais variou de 72% para treonina a 86% para metionina, enquanto variou de 67% para tirosina a 85% para cistina, considerando os AA não essenciais (AANE). A digestibilidade intestinal verdadeira da Lis foi de 77%.

Tabela 9.10 - Digestibilidade intestinal verdadeira de aminoácidos, adaptada de Mariz et al. (2018)

Item	Equações[1]	DIV[2]
Aminoácidos totais	$\hat{Y} = -17,18 + 0,75X$	75
Aminoácidos essenciais	$\hat{Y} = -8,14 + 0,77X$	77
Aminoácidos não essenciais	$\hat{Y} = -9,29 + 0,74X$	74
Aminoácidos essenciais		
Arginina	$\hat{Y} = -0,76 + 0,81X$	81
Histidina	$\hat{Y} = -0,47 + 0,83X$	83
Isoleucina	$\hat{Y} = -0,87 + 0,77X$	77
Leucina	$\hat{Y} = -1,78 + 0,79X$	79
Lisina	$\hat{Y} = -1,70 + 0,77X$	77
Metionina	$\hat{Y} = -0,38 + 0,86X$	86
Fenilalanina	$\hat{Y} = -1,21 + 0,78X$	78
Treonina	$\hat{Y} = -1,65 + 0,72X$	72
Triptofano	$\hat{Y} = -0,56 + 0,82X$	82
Valina	$\hat{Y} = -1,69 + 0,76X$	76
Aminoácidos não essenciais		
Alanina	$\hat{Y} = -1,97 + 0,74X$	74
Ácido aspártico	$\hat{Y} = -1,08 + 0,81X$	81
Cistina	$\hat{Y} = -1,41 + 0,85X$	85
Ácido glutâmico	$\hat{Y} = -1,91 + 0,75X$	75
Glicina	$\hat{Y} = -2,59 + 0,71X$	71
Prolina	$\hat{Y} = -2,23 + 0,73X$	73
Serina	$\hat{Y} = -1,30 + 0,76X$	76
Tirosina	$\hat{Y} = -0,05 + 0,67X$	67

[1]$\hat{Y}$ = aminoácido absorvido no intestino delgado (g/dia); X = aminoácido no fluxo omasal.
[2]Digestibilidade intestinal verdadeira (%).

A digestibilidade intestinal verdadeira de AA microbianos totais obtido neste estudo foi de 80% (Tabela 9.11), que é semelhante ao valor de 80% adotado para proteína microbiana em alguns sistemas de alimentação como o NASEM (2016) e a edição anterior desta publicação (BR-CORTE, 2016). No entanto, ao considerar a digestibilidade intestinal verdadeira de AA individuais, esses valores variaram substancialmente. A arginina e a tirosina microbianas apresentaram os maiores valores de digestibilidade verdadeira (arginina = 85% e tirosina = 89%) entre os AAE e AANE, respectivamente. As digestibilidades intestinais estimadas de Lis e Met microbianas foram de 84 e 80%, respectivamente.

As eficiências de retenção de AA individuais e totais estimadas por Mariz et al. (2018) estão descritas na Tabela 9.12. O intercepto da equação representou as perdas endógenas e a inclinação representou a eficiência de retenção de AA.

A eficiência de utilização de AA totais obtida neste estudo foi de 40%, enquanto as eficiências de utilização de AAE e AANE foram de 38% e 42%, respectivamente.

Tabela 9.11 - Digestibilidade intestinal verdadeira de aminoácidos microbianos, adaptada de Mariz et al. (2018)

Item	Equações[1]	DIV[2]
Aminoácidos totais	$\hat{Y} = -21,27 + 0,80X$	80
Aminoácidos essenciais	$\hat{Y} = -10,87 + 0,82X$	82
Aminoácidos não essenciais	$\hat{Y} = -10,62 + 0,79X$	79
Aminoácidos essenciais		
Arginina	$\hat{Y} = -1,34 + 0,85X$	85
Histidina	$\hat{Y} = -0,60 + 0,79X$	79
Isoleucina	$\hat{Y} = -1,97 + 0,83X$	83
Leucina	$\hat{Y} = -3,19 + 0,84X$	84
Lisina	$\hat{Y} = -0,60 + 0,84X$	84
Metionina	$\hat{Y} = -0,36 + 0,80X$	80
Fenilalanina	$\hat{Y} = -1,60 + 0,81X$	81
Treonina	$\hat{Y} = -0,67 + 0,79X$	79
Triptofano	-	-
Valina	$\hat{Y} = -1,03 + 0,79X$	79
Aminoácidos não essenciais		
Alanina	$\hat{Y} = -1,62 + 0,75X$	75
Ácido aspártico	$\hat{Y} = -0,79 + 0,81X$	81
Cistina	$\hat{Y} = -0,43 + 0,70X$	70
Ácido glutâmico	$\hat{Y} = -3,20 + 0,76X$	76
Glicina	$\hat{Y} = -1,55 + 0,81X$	81
Prolina	$\hat{Y} = -2,54 + 0,87X$	87
Serina	$\hat{Y} = -1,21 + 0,83X$	83
Tirosina	$\hat{Y} = -0,87 + 0,89X$	89

[1]$\hat{Y}$ = aminoácido absorvido no intestino delgado (g/dia); X = aminoácido no fluxo omasal.
[2]Digestibilidade intestinal verdadeira (%).

Tabela 9.12 - Eficiência de utilização de aminoácidos individuais absorvidos para deposição corporal, adaptada de Mariz et al. (2018)

Item	Equações[1]	Eficiência (%)
Aminoácidos totais	$\hat{Y} = -36,67 + 0,40X$	40
Aminoácidos essenciais	$\hat{Y} = -17,43 + 0,38X$	38
Aminoácidos não essenciais	$\hat{Y} = -18,80 + 0,42X$	40
Aminoácidos essenciais		
Arginina	$\hat{Y} = -2,17 + 0,56X$	56
Histidina	$\hat{Y} = -1,42 + 0,62X$	62
Isoleucina	$\hat{Y} = -1,41 + 0,30X$	30
Leucina	$\hat{Y} = -3,36 + 0,30X$	30
Lisina	$\hat{Y} = -2,28 + 0,37X$	37
Metionina	$\hat{Y} = -0,37 + 0,58X$	58
Fenilalanina	$\hat{Y} = -1,57 + 0,31X$	31
Treonina	$\hat{Y} = -1,42 + 0,34X$	34
Triptofano	$\hat{Y} = -0,18 + 0,39X$	39
Valina	$\hat{Y} = -2,55 + 0,40X$	40
Aminoácidos não essenciais		
Alanina	$\hat{Y} = -1,25 + 0,35X$	35
Ácido aspártico	$\hat{Y} = -3,65 + 0,26X$	26
Cistina	$\hat{Y} = -0,14 + 0,18X$	18
Ácido glutâmico	$\hat{Y} = -4,57 + 0,67X$	67
Glicina	$\hat{Y} = -0,68 + 0,63X$	63
Prolina	$\hat{Y} = -0,40 + 0,43X$	43
Serina	$\hat{Y} = -1,16 + 0,31X$	31
Tirosina	$\hat{Y} = -0,88 + 0,26X$	26

[1]$\hat{Y}$ = AA absorvidos (g/dia); X = Retenção de AA no corpo vazio.

Considerando um macho não castrado com PCVZ de 350 kg, os valores das exigências metabolizáveis de Lis e Met, estimados com base nas recomendações de Amaral et al. (2021) para exigências líquidas de Lis (7,20 g/100 g PB) e Met (2,01 g/100 g PB) e seus respectivos valores de eficiência de uso (Lis = 37%; Met = 58%) relatados anteriormente por Mariz et al. (2018), foram: 19,47 e 3,47 g/100 g de PB, respectivamente.

Ressalta-se que Mariz et al. (2018) encontraram diferenças na eficiência de retenção de AA totais e individuais. Além disso, arginina (56%), histidina (62%) e metionina (58%) apresentaram as maiores estimativas de eficiência de retenção entre os AAE. Para os AANE, ácido glutâmico (67%) e glicina (63%) apresentaram as maiores estimativas de eficiência de retenção. Essa discrepância entre os AA sugere que existem diferenças na eficiência com que os diferentes AA são utilizados para a produção de carne. Desta forma, o uso de um único coeficiente para a utilização de AA totais não seria adequado sob o conceito de alimentação de precisão.

Os estudos citados acima (Amaral et al., 2021; Mariz et al., 2018) permitem que os usuários do BR-CORTE estimem as exigências de AAE e AANE de bovinos de corte criados em condições tropicais. No entanto, as características únicas do metabolismo intermediário, além da complexa transformação dos alimentos durante a fermentação ruminal, e as dificuldades para se determinar os AA disponíveis para absorção no duodeno, ainda representam um desafio para formular dietas baseadas nas exigências de AA para bovinos. Devido a esses desafios, as estimativas das exigências de AA foram recomendadas como um guia e devem ser usadas de acordo com o sistema de alimentação.

RESUMO DAS EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA E AMINOÁCIDOS

Nas Tabelas 9.13 e 9.14, são apresentadas as equações que foram utilizadas para estimar as exigências de proteína para animais zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite de diferentes classes sexuais, criados em confinamento ou pasto. Na Tabela 9.15, são apresentadas as exigências de AA metabolizáveis para ganho (g/kg GPCZ) para animais de diferentes PCVZ.

Tabela 9.13 - Resumo das equações utilizadas para converter peso corporal e ganho médio diário em peso de corpo vazio e ganho de peso de corpo vazio de bovinos Zebu, cruzados de corte e cruzados de leite de três classes sexuais, criados em confinamento ou pasto

Item	Sistema	Grupo genético	Sexo	Equações	Unidade
PCJ		Zebuínos e Cruzados de corte		$0,8915 \times PC^{1,0151}$	kg
		Cruzados de leite		$0,9247 \times PC^{1,0085}$	
PCVZ	Confinamento	Zebuínos	Macho não castrado	$0,8126 \times PCJ^{1,0134}$	kg
			Macho castrado	$0,6241 \times PCJ^{1,0608}$	
			Fêmeas	$0,6110 \times PCJ^{1,0667}$	
		Cruzados de corte e Leite	Macho não castrado	$0,7248 \times PCJ^{1,0314}$	
			Macho castrado	$0,6586 \times PCJ^{1,0499}$	
			Fêmeas	$0,6314 \times PCJ^{1,0602}$	
	Pasto			$0,8507 \times PCJ^{1,0002}$	
GPCVZ				$0,9630 \times GMD^{1,0151}$	kg/dia
PCVZeq		Zebuínos	Macho não castrado	(PCVZ/517) × 517	kg
			Macho castrado	(PCVZ/433) × 517	
			Fêmeas	(PCVZ/402) × 517	
		Cruzados de corte	Macho não castrado	(PCVZ/560) × 517	
			Macho castrado	(PCVZ/482) × 517	
			Fêmeas	(PCVZ/417) × 517	
		Cruzado de leite	Macho não castrado	(PCVZ/616) × 517	
			Macho castrado	(PCVZ/532) × 517	
			Fêmeas	(PCVZ/493) × 517	

Tabela 9.14 - Resumo das equações utilizadas para estimar as exigências de proteína para bovinos de corte criados em confinamento ou pasto

Item	Sistema	Equações	Unidade
PMm	Confinamento Pasto	$3,6 \times PCJ^{0,75}$ $3,9 \times PCJ^{0,75}$	g/dia
PLg		$PLg = 176,01 \times GPCVZ - 0,381 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035}$	g/ dia
k		PCJ < 340 kg: $84,665 - 0,1179 \times PCVZeq$ PCJ > 340 kg: 47,4	%
PMg		PLg/*k*	g/ dia
PMtotal		PMm + PMg	g/ dia
PBmic		$- 53,07 + 304,9 \times CPB + 90,8 \times CNDT - 3,13 \times CNDT^2$	g/ dia
PDR		PBmic	g/ dia
PNDR		(PMt - (PBmic × 0,64))/0,80	g/ dia
PB		PDR + PNDR	g/ dia

Assim, considerando um macho Nelore não castrado de 520 kg e ganho médio diário de 1,6 kg/dia criado em confinamento:

- $PCJ = 0,8915 \times PC^{1,0151} = 0,8915 \times 520^{1,0151} = 509,5$ kg
- $PCVZ = 0,8126 \times PCJ^{1,0134} = 0,8126 \times 509,5^{1,0134} = 450,1$ kg
- $GPCVZ = 0,963 \times GMD^{1,0151} = 0,963 \times 1,6^{1,0151} = 1,55$ kg/dia
- $PCVZeq = (PCVZ/517) \times 517 = (450,1/517) \times 517 = 450,1$ kg
- $PMm = 3,6 \times PCJ^{0,75} = 3,6 \times 509,50^{0,75} = 386,1$ g/dia
- $PLg = 176,01 \times GPCVZ - 0,381 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035} = 176,01 \times 1,55 - 0,381 \times 450,1^{0,75} \times 1,55^{1,035} = 214,2$ g/dia
- $k = 47,4\%$
- $PMg = PLg/k = 214,2/0,474 = 451,9$ g/dia
- PM total = PMm + PMg = 386,1 + 451,9 = 838 g/dia
- $PBmic = - 53,07 + 304,9 \times CPB + 90,8 \times CNDT - 3,13 \times CNDT^2 = - 53,07 + 304,9 \times 1,215 + 90,8 \times 7,88 - 3,13 \times 7,88^2 = 838,5$ g/dia
- PDR = PBmic = 838,5 g/dia
- $PNDR = [PMt - (PBmic \times 0,64)]/0,80 = [838 - (838,5 \times 0,64)]/0,80 = 376,7$ g/dia
- $PB = PDR + PNDR = 838,5 + 376,7 = 1215$ g/dia

Tabela 9.15 - Exigências de aminoácidos metabolizáveis para ganho de machos Nelore e Angus × Nelore não castrados

Exigências	Eficiência de utilização (%)[1]	Peso de corpo vazio (kg)			
		250	350	450	550
Aminoácidos essenciais (g/kg de ganho de peso de corpo vazio)					
Arginina	56	22,35	21,16	20,31	19,65
Histidina	62	4,39	4,31	4,25	4,20
Isoleucina	30	22,59	22,11	21,76	21,49
Leucina	30	41,33	39,96	38,98	38,20
Lisina	37	33,26	32,75	32,37	32,07
Metionina	58	5,98	5,82	5,70	5,61
Fenilalanina	31	20,50	20,07	19,76	19,51
Treonina	34	19,50	19,08	18,77	18,53
Triptofano	39	3,47	3,44	3,41	3,39
Valina	40	20,92	20,74	20,61	20,51
Aminoácidos não essenciais (g/kg de ganho de peso de corpo vazio)					
Alanina	35	34,51	32,39	30,89	29,74
Ácido aspártico	26	45,16	43,30	41,96	40,92
Cistina	18	9,45	9,49	9,51	9,53
Ácido glutâmico	67	33,45	32,41	31,65	31,05
Glicina	63	29,41	26,85	25,08	23,76
Prolina	43	28,72	26,45	24,87	23,68
Serina	31	22,43	21,32	20,53	19,92
Tirosina	26	18,70	18,37	18,13	17,94

[1]Adaptada de Mariz et al. (2018).

REFERÊNCIAS

Agricultural and Food Research Council – AFRC. *Energy and Protein Requirements of Ruminants.* Wallingford, UK: Agricultural and Food Research Council. CAB International, 159p, 1993.

Agricultural Research Council - ARC. *The nutrient requirements of farm livestock*. Londres, Inglaterra: Commonwealth Agricultural Bureau, 14-84, 1965.

Ainslie, S. J.; Fox, D. G.; Perry, T. C.; Ketchen, D. J.; Barry, M. C. Predicting amino acid adequacy of diets fed to Holstein steers. *Journal of Animal Science*, 71:1312-1319, 1993.

Amaral, P. D. M. (2016). *Performance and amino acids requirements of Nellore and crossbred Angus× Nellore fed diets with different crude protein content during growing and finishing stages.*

Amaral, P. M. *Desempenho e exigências nutricionais de bovinos mestiços Holandês x zebu alimentados com dietas contendo diferentes níveis de proteína.* Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 69p, 2012.

Amaral, P. M., Mariz, L. D. S., Zanetti, D., Santos, S. A., Pacheco, M. V. C., Pereira, J. M. V., ... & Valadares Filho, S. C. (2021). Metabolizable amino acids and energy requirements of Nellore and crossbred Angus× Nellore bulls fed rations of different crude protein concentrations. *Animal,* 15(1), 100036.

Amaral, P. M.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Santos, S. A.; Prados, L. F.; Mariz, L. D. S.; Alves, L. C.; Menezes, A. C. B.; Villadiego, F. A. C.; Novaes, M. A. S.; Silva, F. A. S. Effect of phase-feeding crude protein on performance and carcass characteristics of crossbred beef bulls: an application to reduce nitrogen compounds in beef cattle diets. *Tropical Animal Health and Production.* 46:419–425, 2014.

Agricultural Research Council - ARC. *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. London: Commonwealth Agricultural Bureau. The Gresham Press, 351 p, 1980.

Appuhamy, J. A. D. R. N.; Nayananjalie, W. A.; England, E. M.; Gerrard, D. E.; Akers, R. M. Effects of AMP-activated protein kinase (AMPK) signaling and essential amino acids on mammalian target of rapamycin (mTOR) signaling and protein synthesis rates in mammary cells. *Journal of Dairy Science*, 97:419-429, 2014.

Bach, A.; Calsamiglia, S.; Stern, M. D. Nitrogen metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science*, 88:E9-E21, 2005.

Backes, A. A. *Composição corporal e exigências de energia, proteína e macro elementos minerais para bovinos mestiços leiteiros e zebu, castrados, em fase de recria e engorda, em confinamento.* Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 97p, 2003.

Batista, E. D.; Detmann, E.; Titgemeyer, E. C.; Valadares Filho, S. C.; Valadares, R. F. D.; Prates, L. L.; Rennó, L. N.; Paulino, M. F. Effects of varying ruminally undegradable protein supplementation on forage digestion, nitrogen metabolism, and urea kinetics in Nellore cattle fed low-quality tropical forage. *Journal of Animal Science*. 94:201–216, 2016.

Blaxter, K. L.; Clapperton, J. L.; Wainman, F. W. Utilization of the energy and protein of the same diets by cattle of different ages. *Journal of Agriculture Science*. 67:67–75, 1966.

Boin, C.; Leme, P. R.; Lanna, D. P. D. et al. Tourinhos Nelore em crescimento e acabamento. 2. Exigências de energia líquida de mantença e eficiência de utilização da energia metabolizável para mantença e crescimento. In: *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia,* 1994, Maringá, Anais... Maringá: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 473, 1994.

Boin, C. Alguns dados sobre exigências de energia e de proteína de zebuínos. In: Simpósio Internacional sobre Exigências Nutricionais de Ruminantes, 1995, Viçosa, MG. *Anais*... Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 457-465, 1995.

Boye, J.; Wijesinha-Bettoni, R.; Burlingame, B. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. *British Journal of Animal Nutrition*, 108:83–211, 2012.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F., Gionbelli, M. P., Rotta, P. P., Marcondes, M. I., Chizzotti, M. L. *Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle – BR-CORTE*, 3 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2016.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. *Nutrient Requirements of Zebu and crossbred cattle – BR-CORTE*, 2 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2010.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Magalhães, K. A. *Exigências Nutricionais de Zebuínos e Tabelas de Composição de Alimentos – BR-CORTE*. 1. ed. – Viçosa: UFV, DZO. 142p. 2006.

Cavalcante, M. A. B.; Pereira, O. G.; Valadares Filho, S. C.; Ribeiro, K. G. Crude protein levels in diets of beef cattle: intake and apparent total tract, intestinal, and ruminal digestibilities of nutrients. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 14:711-719, 2005.

Cervieri, R. C.; Arrigoni, M. B.; Oliveira, H. N.; Silveira, A. C.; Chardulo, L. A. L.; Costa, C.; Martins, C. L. Desempenho e Características de Carcaça de Bezerros Confinados Recebendo Dietas com Diferentes Degradabilidades da Fração Protéica. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30:1590–1599, 2001.

Chizzotti, M. L. *Avaliação da casca de algodão para novilhos de origem leiteira e determinação da excreção de creatinina e produção de proteína microbiana em novilhas e vacas leiteiras.* Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2004. 132p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2004.

Commonwealth Scientific And Industrial Research Organization – CSIRO. *Nutrient requeriments of domesticated ruminants*. Victoria: Australia Agricultural Council. 270p, 2007.

Costa e Silva, L.F. *Exigências nutricionais, validação de equações para a estimação da composição do corpo vazio e uso da creatinina para estimar a proporção de tecido muscular em bovinos Nelore.* Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 126p, 2011.

Costa e Silva, L. F.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Rotta, P. P.; Zanetti, D.; Villadiego, F. A. C.; Pellizzoni, S. G.; Pereira, R. M. G. Performance, growth, and maturity of Nellore bulls. *Tropical Animal Health and Production.* 45:795–803, 2013.

Costa e Silva, L. F. *Mineral requirements for Nellore cattle and equations to predict milk yield and dry matter intake for lactating Nellore cows and suckling Nellore calves.* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 125 p, 2015.

Costa e Silva, L.F., Valadares Filho, S.C., Benedeti, P. D. B., Detmann, E., Menezes, A. B., Silva, T. E., & de Sales Silva, F. A. (2020). Development of an equation to predict net protein requirements for the growth of Zebu beef cattle. *Animal*, 14(5), 963-972.

Ezequiel, J. M. B. *Exigências de proteína e minerais de bovídeos: frações endógenas.* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 131p, 1987.

Ferreira, M. A. *Desempenho, exigências nutricionais e eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho de peso de bovinos F1 Simental x Nelore.* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 97 p, 1997.

Ferreira, M. A., Valadares Filho, S. C.; Coelho Da Silva, J. F.; Paulino, M. F. Valadares, R. F. D.; Cecon, P. R.; Muniz, E. B. Composição corporal e exigências líquidas de proteína e energia para ganho de peso de bovinos F1 Simental X Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 28:352-360, 1999.

Fontes, C. A. A. Composição corporal, exigências líquidas de nutrientes para ganho de peso e desempenho produtivo de animais zebuínos e mestiços europeu-zebu. Resultados experimentais. In: Simpósio Internacional sobre Exigências Nutricionais de Ruminantes, Viçosa, MG. *Anais...* Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 419-455, 1995.

Galyean, M. L. Invited review: Nutrient requirements of ruminants: Derivation, validation and application. *The Professional Animal Scientist,* 30:125-128, 2014.

Galvão, J. G. C. *Estudo da eficiência nutritiva, características e composição física da carcaça de bovinos de três grupos raciais, abatidos em três estágio de maturidade.* Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 82p, 1991.

Garret, W. N.; Meyer, J. H.; Lofgreen, J. P. The comparative energy requirements of sheep and cattle for maintenance and gain. *Journal of Animal Science*, 18:528-547, 1959.

Garret, W. N. Factor influencing energetic efficiency of beef production. *Journal of Animal Science*, 51:1434- 1440, 1980.

Geay, Y. Energy and protein utilization in growing cattle. *Journal of Animal Science*, 58:766-778, 1984.

Gionbelli, M. P.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Paulino, P. V. R.; Valadares, R. F. D.; Santos, T. R.; Costa e Silva, L. F.; Magalhães, F. A. Intake performance, digestibility, microbial efficiency and carcass characteristics of growing Nellore heifers fed two concentrate levels. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:1243–1252, 2012.

Institut National De La Recherche Agronomique – INRA. *Alimentation des bovines, ovins, et caprins.* Paris, FR:INRA, 192p, 1989.

Jorge, A. M. *Ganho de peso, conversão alimentar e características de carcaça de bovinos e bubalinos.* Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 97p, 1993.

Lana, R. P.; Fontes, C. A. A.; Peron, A. J.; Paulino, M. F.; Queiroz, A. C.; Silva, D. J. Composição corporal e do ganho de peso e exigências de energia, proteína e macro elementos minerais (Ca, P, Mg, Na e K), de novilhos de cinco grupos raciais. 2. Exigências de energia e proteína. *Revista Sociedade Brasileira Zootecnia*, 21:528-537, 1992.

Lazzarini, I.; Detmann, E.; Sampaio, C. B.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C.; Souza, M. A.; Oliveira, F. A. Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:2021–2030, 2009.

Leonel, F. P. *Exigência nutricionais em macronutrientes minerais (Ca, P, Mg, Na e K) para novilhos de diferentes grupos zootécnicos.* Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 53 p, 2003.

Löest, C. A., Coetzer, C. M., Titgemeyer, E. C., & Drouillard, J. S. (2002). *Effect of hydrogen peroxide on protein degradation of feather meal.*

Machado, P. A. S. *Desempenho produtivo e exigências nutricionais de bovinos de corte em pastagem de brachiaria decumbens, suplementados no período de transição águas-secas.* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 73 p, 2009.

Marcondes, M. I. *Desempenho de bovinos Nelore alimentados individualmente ou em grupo, exigências nutricionais e avaliação proteica de alimentos para ruminantes.* Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 36 p, 2007.

Marcondes, M. I.; Valadares Filho, S. C.; Oliveira, I. M., Valadares, R. F. D.; Paulino, M. F.; Prados, L.F. Exigências nutricionais de animais Nelore puros e cruzados com as raças Angus e Simental. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:2235-2243, 2011.

Marcondes, M. I.; Tedeschi, L. O.; Valadares Filho, S. C.; Gionbelli, M. P. Predicting efficiency of use of metabolizable energy to net energy for gain and maintenance of Nellore cattle. *Jounal of Animal Science*, 91:4887-4898, 2013.

Marcondes, M.I; da Silva, A.L; Gionbelli, M.P. and Valadares Filho, S.C . 2016. *Energy requirements for beef cattle.* In Nutrient requirements of Zebu and crossbred cattle (ed. SC Valadares Filho, LF Costa e Silva, MP Gionbelli, PP Rotta, MI Marcondes, ML Chizzotti and LF Prados), pp. 157–184. Suprema Grafica Ltda, Viçosa, MG, Brazil.

Mariz, L. D. S., Amaral, P. M., Valadares Filho, S. C., Santos, S. A., Detmann, E., Marcondes, M. I., ... & Faciola, A. P. (2018). Dietary protein reduction on microbial protein, amino acid digestibility, and body retention in beef cattle: 2. Amino acid intestinal absorption and their efficiency for whole-body deposition. *Journal of Animal Science*, 96(2), 670-683.

Martins, R. G. R. *Exigências de energia, proteína e macro elementos minerais (Ca, P, Mg, Na e K) de bovinos Nelore e mestiços, não castrados, em confinamento*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 78 p, 2003.

Menezes, A. C. B. *Use of ^{15}N to estimate microbial contamination and protein degradation of concentrate feeds and the effect of decreasing dietary crude protein on methane emission and nitrogen losses in Nellore bulls.* Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 89 p, 2016.

Menezes, A. C. B., Valadares Filho, S.C., Pucetti, P., C. Pacheco, M. V, Godoi, L. A., Zanetti, D., Alhadas, H. M; Paulino, M. F, Caton, J. S. Oscillating and static dietary crude protein supply: II. Energy and protein requirements of young Nellore bulls. *Translational Animal Science*, v. 3, p. 1216-1226, 2019.

Menezes, A. C. B.; Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F.; Pacheco, M. V. C.; Pereira, J. M. V.; Rotta, P. P.; Zanetti, D.; Detmann, E.; Silva, F. A. S.; Godoi, L. A.; Rennó, L. N. Does a reduction in dietary crude protein content affect performance, nutrient requirements, nitrogen losses, and methane emissions in finishing Nellore bulls? *Agriciculture Ecosystem and Environment.* 223:239–249, 2016.

Moraes, E. H. B. K. *Desempenho e exigências de energia, proteína e minerais de bovinos de corte em pastejo, submetidos a diferentes estratégias de suplementação.* Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 136 p, 2006.

NASEM. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016. *Nutrient requirements of beef cattle*. 8th revised edition. National Academy Press, Washington DC, USA.

National Research Council – NRC. *Ruminant Nitrogen Usage*. Washington, DC: National Academy Press, 138 p, 1985.

National Research Council – NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 6th. edition. Washington, DC: National Academy Press, 90 p, 1984.

National Research Council – NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Updated 7th. edition. Washington, DC: National Academy Press, 242p, 2000.

National Research Council (US). Subcommittee on Beef Cattle Nutrition. (1976*). Nutrient requirements of beef cattle* (Vol. 5). National Academy of Sciences.

O'Connor, J. D., C. J. Sniffen, D. G. Fox, and W. Chalupa. 1993. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: IV. Predicting amino acid adequacy. *Journal Animal Science*. 71:1298–1311.

Oldham, J. D. Efficiencies of amino acid utilization. In: Jarrige, R.; Alderman, G.(Ed). *Feed Evaluation and Protein Requirement Systems for Ruminants*. Brussels: Commission of the European Communities, 171-186, 1987.

Paixão, M. L. *Desempenho produtivo e exigências nutricionais de bovinos de corte em pastagens de brachiaria decumbens com suplementação proteica*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 110p, 2009.

Paula, N. F. *Beef cattle growth in the grazing/supplement system receiving different nutritional plans.* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 130p, 2012.

Paulino, M. F. *Composição corporal e exigências de energia, proteína e macro elementos minerais (Ca, P, Mg, Na e K) de bovinos não-castrados de quatro raças zebuínas em confinamento.* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 80 p, 1996.

Paulino, M. F.; Fontes, C. A. A.; Jorge, A. M.; Gomes Jr., P. Composição corporal e exigências de energia e proteína para ganho de peso de bovinos de quatro raças zebuínas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 28:627-633, 1999.

Paulino, P. V. R. *Exigências nutricionais e validação da seção HH para predição da composição corporal de zebuínos.* Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 158 p, 2002.

Paulino, P. V. R. *Desempenho, composição e exigências nutricionais de bovinos Nelore de diferentes classes sexuais.* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 167 p, 2006.

Pinto, A. C. J., and D. D. Millen. 2019. Nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists: The 2016 Brazilian survey. *Canadian Journal of Animal Science.* 99:392–407. doi:10.1139/cjas-2018-0031.

Pinto, A. C., & Millen, D. D. (2018). Nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists: the 2016 Brazilian survey. *Canadian Journal of Animal Science,* 99(2), 392-407.

Pires, C. C.; Fontes, C. A. A.; Galvão, J. G. et al. Exigências nutricionais de bovinos de corte em acabamento. I. Composição corporal e exigências de proteínas para ganho de peso. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 22:110-120, 1993.

Porto, M. O. *Multiples supplements to beef cattle in calves, growing and finishing, in pasture of Brachiaria decumbens.* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 159 p, 2009.

Prados, L. F. *Desempenho e exigências nutricionais de bovinos alimentados com dietas contendo diferentes níveis de cálcio e fósforo.* Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 96 p, 2012.

Prados, L. F. *Reduction of minerals in feedlot diets of Nellore cattle: impacts on intake, performance, and liver and bone status and nutrient requirements; and prediction of chemical rib section composition by dual energy x-ray absorptiometry in Zebu cattle*. 95 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2016.

Prados, L. F.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Zanetti, D.; Santos, S. A.; Sattler, D. F. T.; Mariz, L. D. S.; Borges, A. L. C. C.; Nunes, A. N.; Rodrigues, F. C.; Amaral, P. M. Energy and protein requirements of 3/4 Zebu x 1/4 Holstein crossbreds fed different calcium and phosphorus levels in the diet. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia,* 67:555–563, 2015.

Prates, L. L. *Utilização da ^{15}N ^{15}N-ureia infundida intravenosamente em bovinos nelore.* 64 p. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2015.

Putrino, S.M. *Exigências de proteína e energia líquidas para o ganho de peso de tourinhos das raças Nelore e Brangus alimentados com dietas com diferentes proporções de concentrado.* Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade de São Paulo, 82 p, 2002.

Rhoads, M. L.; Rhoads, R. P.; Gilbert, R. O.; Toole, R.; Butler, W. R. Detrimental effects of high plasma urea nitrogen levels on viability of embryos from lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 91:1-10, 2006.

Rodrigues, F. C. *Turnover proteico, avaliação e predição da composição química da carcaça e e do corpo vazio de bovinos ¾ Zebu x ¼ Holandês.* Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 44 p, 2014.

Rotta, P. P. *Desempenho produtivo, exigências nutricionais e avaliação de métodos para estimação de fluxo de digesta em bovinos alimentados com silagem de milho ou cana-de-açúcar.* Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 144 p, 2012.

Russell, J. B.; O'Connor, J. D.; Fox, D. G.; Van Soest, P. J.; Sniffen, C. J. A Net Carbohydrate and Protein System for Evaluating Cattle Diets: I. Ruminal Fermentation. *Journal of Animal Science*, 70:3551-3561, 1992.

Sales, M. F. L. *Performance and nutritional requirements of grazing Zebu cattle.* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 128 p, 2009.

Sampaio, C. B.; Detmann, E.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C.; Souza, M. A.; Lazzarini, I.; Paulino, P. V. R.; Queiroz, A. C. Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Tropical Animal Health and Production*, 42:1471–1479, 2010.

Santos, S. A.; Campos, J. M.; Valadares Filho, S. C.; Oliveira, A. S.; Souza, S. M.; and Santiago, A. M. F. 2010. Balanço de nitrogênio em fêmeas leiteiras em confinamento alimentadas com concentrado à base de farelo de soja ou farelo de algodão. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39: 1135-1140.

Schwab, C. G., & Broderick, G. A. (2017). A 100-Year Review: Protein and amino acid nutrition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10094-10112.

Shahin, K. A.; Berg, R. T.; Price, M. A. The effect of breed type and castration on tissue growth patterns and carcass composition in cattle. *Livestock Production Science*, 35:251-264, 1993.

Silva, F. F. *Desempenho, características de carcaça, composição corporal e exigências nutricionais (de energia, proteína, aminoácidos e macrominerais) de novilhos Nelore, nas fases de recria e engorda, recebendo diferentes níveis de concentrado e proteína.* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 211 p, 2001.

Silva, F. A. S. *Desempenho, produção de metano entérico, eficiência de utilização da energia, metabolismo proteico muscular e exigências nutricionais de novilhas holandês × zebu alimentadas com silagem de milho ou cana-de-açúcar.* Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 64 p, 2015.

Silva, T. E.; Detmann, E.; Franco, M. O.; Palma, M. N. N.; Rocha, G. C. Evaluation of digestion procedures in Kjeldahl method to quantify total nitrogen in analyses applied to animal nutrition. *Acta Scientiarum – Animal Sciences*, 38:45-51, 2016.

Sinclair, K. D.; Garnsworthy, P. C.; Mann, G. E.; Sinclair, L. A. Reducing dietary protein in dairy cow diets: implications for nitrogen utilization, milk production, welfare and fertility. *Animal – A major new International Journal of Animal Bioscience*, 8:262–274, 2014.

Smuts, D. The relation between the basal metabolism and the endogenous nitrogen metabolism, with particular reference to the maintenance requirement of protein. *Journal of Nutrition*, 9:403-433, 1935.

Souza, E. J. *Desempenho e exigências nutricionais de fêmeas Nelore, F1 Angus x Nelore e F1 Simental x Nelore em dietas contendo alto ou baixo nível de concentrado.* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011.

Susmel, P.; Spanghero, M.; Stefanon, B.; Mills, C. R.; Plazzotta, E. N losses, purine N derivates excretion and intestinal digestible protein requirements of cows for maintenance. *Livestock Production Science*, 36:213-222, 1993.

Tamminga, S., & Oldham, J. D. (1980). Amino acid utilisation by dairy cows. II. Concept of amino acid requirements. *Livestock Production Science,* 7(5), 453-463.

Tedeschi, L. O. 2006. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agric Syst*. 89:225–247. doi:10.1016/j.agsy.2005.11.004.

Tedeschi, L. O., Fox, D. G., Fonseca, M. A., & Cavalcanti, L. F. L. (2015). Models of protein and amino acid requirements for cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 44, 109-132.

Tedeschi, L. O.; Boin, C.; Fox, D. G.; Leme, P. R.; Alleoni, G. F. ; Lanna, D. P. D. Energy requirement for maintenance and growth of Nellore bulls and steers fed high forage diets. *Journal of Animal Science*, 80:1671-1682, 2002.

Titgemeyer, E. C., & Löest, C. A. (2001). Amino acid nutrition: Demand and supply in forage-fed ruminants. *Journal of Animal Science*, 79(suppl_E), E180-E189.

Titgemeyer, E. C.; Merchen, N. R. The effect of abomasal methionine supplementation on nitrogen retention of growing steers postruminally infused with casein or nonsulfur-containing amino acids. *Journal of Animal Science*, 68:750–757, 1990.

Valadares, R. F. D.; Goncalvez, L. C.; Sampaio, I. B., Coelho da Silva, J. F. Protein levels in cattle diets. 2. Intake, digestibilities, and nitrogen balance. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 26:1259-1263, 1997.

Veloso, C. M. *Composição corporal e exigências nutricionais de bovinos F1 Limousin x Nelore alimentados com rações contendo diferentes níveis de concentrado.* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 109 p, 2001.

Véras, A. S. C. *Consumo, digestibilidade, composição corporal e exigências nutricionais de bovinos Nelore alimentados com rações contendo diferentes níveis de concentrado.* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 166 p, 2000.

Véras, R. M. L.; Valadares Filho, S. C.; Valadares, R. F. D.; Rennó, L. N.; Paulino, P. V. R.; Souza, M. A. Balanço de compostos nitrogenados e estimativa das exigências de proteína de mantença de bovinos Nelore de três condições sexuais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36:1212-1217, 2007.

Wilkerson, V. A.; Klopfenstein, T. J.; Britton, R. A.; Stock, R. A.; Miller, P. S. Metabolizable protein and amino acid requirements of growing cattle. *Journal of Animal Science*, 71:2777- 2784, 1993.

Winchester, C. F.; Hiner, R. L.; and Scarborough, V. C. Some effects on beef cattle of protein and energy restriction. *Journal of Animal Science*, 16:426-436. 1957.

Zanetti, D. (2017). *Mineral release from different feeds, mineral balance for Nellore bulls, and water intake prediction by beef cattle*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa.

Zinn, R. A.; Owens, F. N. Influence of feed intake level on site of digestion in steers fed a high concentrate diet. *Journal of Animal Science*, 56:471-475, 1983.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-192-0.2023.C010.p.235-272

10

Exigências de minerais para bovinos de corte

Luiz Fernando Costa e Silva, Sebastião de Campos Valadares Filho, Diego Zanetti, Dhones Rodrigues de Andrade, Mateus Pies Gionbelli, Terry Eugene Engle, Mario Fonseca Paulino

INTRODUÇÃO

Os minerais estão presentes em quantidades e proporções variáveis em todos os alimentos e tecidos animais (Underwood, 1981), porém muitos deles, apesar de estarem presentes no corpo, não desempenham uma função específica no metabolismo animal. Os minerais essenciais são os elementos que exercem uma função específica no organismo (McDonald et al., 2002). Vinte e dois minerais foram identificados como essenciais para a vida animal: cálcio (Ca), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cloro (Cl), magnésio (Mg) e enxofre (S), considerados macronutrientes minerais; ferro (Fe), iodo (I), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), cobalto (Co), molibdênio (Mo), selênio (Se), cromo (Cr), estanho (Sn), vanádio (V), flúor (F), silício (Si), níquel (Ni) e argônio (Ar), considerados micronutrientes minerais (Spears e Kegley, 2002). De acordo com sua concentração, os macrominerais são expressos em g/kg de tecido animal, enquanto os microminerais em mg/kg de tecido animal.

Os minerais, embora estejam presentes no corpo animal em menor proporção que outros nutrientes, como proteína e gordura, desempenham funções vitais no organismo, e suas deficiências podem acarretar alterações nutricionais graves, levando o animal a apresentar respostas produtivas e reprodutivas aquém de seu potencial. Os minerais possuem basicamente cinco tipos de função no organismo animal (Suttle, 2010; Wilson et al., 2016), sendo elas:

1. Estrutural: composição dos órgãos e tecidos corporais, como: Ca, P, Mg, F e Si nos ossos e dentes; e P e S nas proteínas musculares. Cerca de 99% do Ca, 80% do P e 70% do Mg corporal estão presentes no esqueleto (AFRC, 1991; Coelho da Silva, 1995; NRC, 2000);

2. Fisiológico: constituintes dos tecidos e fluidos corporais responsáveis pela manutenção da pressão osmótica, equilíbrio ácido-base, permeabilidade de membrana e irritabilidade do tecido, como: Na, K, Cl, Ca e Mg no sangue, fluido cérebro-espinhal e suco gástrico (Suttle, 2010);

3. Catalítico: catalizadores de sistemas enzimáticos e hormonais, sendo desempenhado basicamente pelos microminerais. Dentre os inúmeros exemplos, a regulação exercida pelo Cu no metabolismo e síntese de lipídeos, e do Zn na espermatogênese (Suttle, 2010);

4. Regulatório: regulação da replicação e diferenciação celular, como os íons Ca, que influenciam na transdução de sinais e as selenocisteínas que influenciam na transcrição genética (Suttle, 2010); e

5. Resposta imune: a suplementação de Cu para bezerros aumenta a sua concentração no fígado durante desafios respiratórios, resultando em impactos positivos na resposta imune durante um período de estresse (Wilson et al., 2016).

Essas funções podem ser exercidas apenas se quantidades suficientes dos minerais consumidos forem absorvidas e retidas, a fim de manter o crescimento, desenvolvimento e reprodução, além de repor os minerais perdidos para a produção de leite, por exemplo (Suttle, 2010). Os alimentos comumente utilizados na alimentação de bovinos de corte podem fornecer esses nutrientes (Genther e Hansen, 2014), entretanto, as concentrações são variáveis e/ou inadequadas (Smart et al., 1981), contribuindo, assim, para o baixo desempenho animal e baixa qualidade da carne (Spears e Kegley, 2002). De acordo com Arthington et al. (2014), a suplementação de minerais pode ocorrer por várias maneiras, incluindo mistura mineral, blocos de sal fortificados com minerais, microminerais injetáveis e suplementos energético-proteicos fortificados com microminerais. Dessa forma, a adequação da quantidade de cada mineral fornecido aos animais é recomendada para garantir um adequado desempenho animal e evitar contaminação do solo e cursos d'água pelos minerais excretados via fezes e urina.

Para predizer as exigências de minerais para bovinos, o método fatorial tem sido o mais utilizado (ARC, 1980). As exigências dietéticas

de cada mineral correspondem a soma das exigências líquidas para mantença e produção e o resultado é dividido pelo coeficiente de absorção do mineral no trato digestivo do animal. Contudo, nem todo mineral absorvido pelo animal possui função no organismo, sendo assim excretado via urina. Dessa forma, a utilização do coeficiente de absorção parece não ser o mais adequado, e sim o coeficiente de retenção verdadeiro, que considera as perdas dos minerais via urina.

As exigências de minerais para bovinos são expressas em quantidades por dia ou por unidade de produto, ou ainda em proporção da matéria seca consumida. As exigências de minerais podem ser afetadas pela raça ou grupo genético do animal, alimentação, nível de produção e ambiente (Suttle, 2010). Fatores inerentes aos alimentos ou às dietas, como as frações orgânicas ou inorgânicas do mineral, a disponibilidade e a forma química desse elemento nos ingredientes da dieta, juntamente com aspectos relacionados às inter-relações (antagonismos e agonismos) entre os minerais também podem influenciar as exigências dietéticas dos mesmos.

Para calcular as exigências dietéticas de minerais, há necessidade de conhecer quanto do mineral encontrado no alimento pode ser liberado durante os processos digestivos para que o animal possa absorvê-lo e utilizá-lo. Ainda, acredita-se que há diferença nos alimentos produzidos em regiões de clima tropical e temperado quanto a liberação dos minerais para o organismo animal.

Assim, algumas discussões serão apresentadas nesse capítulo sobre as exigências de macrominerais (Ca, P, Mg, Na, K e S) e microminerais (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se e Zn) para mantença, bem como os coeficientes de retenção de cada mineral com dados provenientes de pesquisas desenvolvidas no Brasil. Também serão apresentadas equações para estimar as exigências líquidas para ganho obtidos com dados de animais criados em condições tropicais. Por fim, serão apresentadas as tabelas de exigências dietéticas para macrominerais e microminerais para bovinos de corte.

FONTES DOS MINERAIS

Atualmente, estão disponíveis duas categorias de minerais para uso em dietas de animais: 1) inorgânica, que compreende fontes como os óxidos, cloretos e sulfatos; e 2) orgânica, que compreende os minerais complexados ou associados às moléculas orgânicas (complexos e quelatos), como polissacarídeos, aminoácidos ou proteínas (AAFCO, 1998).

Fontes inorgânicas de minerais

Há no mercado uma grande quantidade de fontes minerais inorgânicas para uso em misturas minerais e rações balanceadas para dietas de bovinos de corte. Para escolher uma ou mais fontes de minerais a ser utilizado, alguns pontos devem ser levantados, como por exemplo: o custo por unidade dos elementos requeridos, das formas químicas em que os elementos são combinados, das formas físicas muito relacionadas ao tamanho de partícula e, sobretudo, a garantia da ausência de substâncias tóxicas para os animais. Segundo Campos (1980), as principais fontes de minerais inorgânicos utilizadas no Brasil para dietas de bovinos de corte foram descritas na Tabela 10.1.

Os minerais inorgânicos, de origem geológica ou industrial, ainda são as fontes mais comumente utilizadas na nutrição animal (Mottin et al., 2013). Isto ocorre principalmente pelo baixo custo de mercado quando comparado aos minerais quelatos, sendo essa a principal vantagem no uso de mineral inorgânico (Araújo et al., 2008). Em contrapartida, algumas desvantagens são descritas na literatura em relação ao uso dos minerais inorgânicos, como por exemplo (Araújo et al., 2008):

1) apresentam um maior potencial poluidor ao meio ambiente, principalmente devido a sua baixa instabilidade e a presença de contaminantes tais como arsênio, chumbo e cádmio;
2) podem sofrer interações com outros minerais dentro do trato gastrointestinal, se complexando e assim dificultando a absorção ou tornando-os indisponíveis para os animais; e
3) necessitam ser incluídos nas dietas em quantidade superiores às necessárias devido à menor biodisponibilidade.

Tabela 10.1 - Fontes de minerais inorgânicos para bovinos

Mineral	Produto Comercial	Fórmula Química	% do elemento		Forma física
Cálcio e Fósforo	Fosfato bicálcico	$CaHPO_4.2H_2O$	23,3% Ca	18% P	Cristais brancos
	Fosfato de rocha desfluorado	$Ca_3(PO_4)_2.CaX$	29,2% Ca	13,3% P	Pó ligeiramente solúvel
	Carbonato de cálcio	$CaCO_3$	40% Ca	-	Pó branco
	Calcário calcítico	$CaCO_3$	38,5% Ca	-	Pó insolúvel
	Calcário dolomítico	$CaCO_3.MgCO_3$	22,3% Ca	-	Pó insolúvel
	Farinha de ostras	$CaCO_3CaX$	38% Ca	-	Granulado
	Fosfato dibásico de amônio	$(NH_4)_2HPO_4$	-	23,5% P	Cristais brancos
Cloro e Sódio	Cloreto de sódio	NaCl	60% Cl	37% Na	Cristais brancos
Magnésio	Óxido de magnésio	MgO	60,3% Mg		Pó branco
	Sulfato de magnésio	$MgSO_4.7H_2O$	9,9% Mg		Cristais brancos
Enxofre	Flor de enxofre	S	96 (99)% S		Pó amarelo
Iodo	Iodato de cálcio	$Ca(IO_3)_2$	62% I		Cristais brancos
	Iodato de potássio	KIO_3	59% I		Cristais brancos
Cobalto	Carbonato de cobalto	$CoCO_3$	49,5% Co		Cristais brancos
	Cloreto de cobalto	$CoCl_2.6H_2O$	24,7% Co		Cristais vermelho-escuro
	Sulfato de cobalto	$CoSO_4.7H_2O$	20,9% Co		Cristais vermelhos
Manganês	Carbonato de manganês	$MnCO_3$	47,8% Mn		Pó em um tom de vermelho
	Sulfato de manganês	$MnSO_4.H_2O$	32,5% Mn		Cristais em tom de vermelho
Cobre	Cloreto cúprico	$CuCl_2.2H_2O$	37,2% Cu		Cristais verdes
	Óxido cúprico	CuO	80% Cu		Pó preto
	Sulfato cúprico	$CuSO_4.5H_2O$	25,5% Cu		Cristais azuis
Ferro	Sulfato ferroso anidro	$FeSO_4$	36,7% Fe		Pó solúvel
	Carbonato ferroso	$FeCO_3.H_2O$	41,7% Fe		Pó ligeiramente solúvel, amorfo
Zinco	Sulfato de zinco	$ZnSO_4.7H_2O$	22,7% Zn		Cristais brancos
	Óxido de zinco	ZnO	80,3% Zn		Pó branco
Selênio	Selenito de sódio	Na_2SeO_3	45% Se		Cristais brancos

Adaptado de Campos (1980).

Fontes orgânicas de minerais

Nos últimos anos, novas fontes de minerais têm surgido no mercado e são conhecidas como minerais orgânicos. Contudo, devido à variedade de fontes disponíveis, o termo "minerais orgânicos" referindo-se a todos esses produtos não seria o mais adequado. Estes elementos são formados por processos de biossíntese ou podem ser combinados com aminoácidos, proteinatos, polissacarídeos e hidroxi-análogo de aminoácidos (em forma de complexo, quelato ou proteinato dependendo da sua natureza), sendo caracterizados por apresentarem maior biodisponibilidade e, portanto, serem mais bem aproveitados no organismo animal. Por fim, apresentam uma menor excreção pelos animais em comparação aos minerais inorgânicos (Rutz e Murphy, 2009).

Hoje existem várias formas de minerais orgânicos disponíveis no mercado para fins de uso na alimentação animal. Segundo a Association of American Feed Control Officials (AFFCO, 2000), existem várias definições para os minerais orgânicos dependendo do tipo de ligação e estrutura formada, sendo os principais compostos classificados conforme descrito abaixo (Tabela 10.2):

Complexo entre metal e aminoácido: produto resultante da complexação entre um sal metálico solúvel com um ou mais aminoácidos (Ex: Complexo Fe-aminoácido);

Complexo metal-aminoácido específico: produto resultante da complexação de um sal metálico solúvel com um aminoácido específico, formando ligações covalentes coordenadas (Ex: zinco-metionina (Zn-Met), zinco-lisina (Zn-Lis), cobre-lisina (Cu-Lis));

Quelato entre metal e aminoácido: produto resultante da reação entre um íon metálico obtido de um sal metálico solúvel com aminoácidos na relação molar de um mol de metal para um a três moles de aminoácidos (preferencialmente dois) para formar ligações covalentes coordenadas (Ex: cálcio, cobalto, cobre, ferro e zinco);

Complexo entre metal e polissacarídeos: produto resultante de um complexo entre um sal solúvel com uma solução de polissacarídeos (Ex: complexo zinco-polissacarídeos);

Proteinatos: produto resultante da quelação entre um sal solúvel com aminoácidos e/ou proteínas parcialmente hidrolisadas (Ex: proteinato de manganês, proteinato de zinco).

A utilização de minerais orgânicos nas suas diferentes formas pode oferecer algumas vantagens em relação aos minerais inorgânicos, tais como:

1) maior biodisponibilidade;
2) menor dosagem utilizada em relação aos minerais inorgânicos;
3) maior retenção nos tecidos (pois chegam diretamente aos tecidos e sistemas enzimáticos específicos, utilizando as vias de absorção e transporte das moléculas que estão ligadas);
4) baixa interpelação com outros elementos minerais ou outras substâncias no processo de absorção; e
5) menor excreção para o meio ambiente (Zanetti, 2014).

Além disso, Mottin et al. (2013) relataram que existem mais algumas atribuições referentes à comparação entre minerais orgânicos e inorgânicos, principalmente ao tipo de carga destes compostos, negativas ou neutras, ou seja, são metabolizados mais eficientemente. Além disso, o processo de quelação aumenta a absorção passiva, por aumentar a solubilidade em água e lipídeo.

Contudo, nem todo micromineral orgânico é igual. Por isso, vale ressaltar que a escolha da fonte de mineral a ser utilizada deve estar devidamente embasada em trabalhos científicos que demonstrem os reais efeitos da fonte sobre a melhoria dos parâmetros que estão sendo propostos nos trabalhos.

Na edição atual do BR-CORTE, todas as exigências dietéticas dos minerais foram estimadas a partir de trabalhos em que somente as fontes inorgânicas de minerais foram utilizadas. Dessa forma, existe uma carência de informação sobre o impacto dos minerais orgânicos sobre as exigências dietéticas para bovinos de corte. Na Tabela 10.2 são apresentados os principais minerais orgânicos e suas respectivas biodisponibilidades.

Tabela 10.2 - Principais minerais orgânicos e biodisponibilidade

Classificação	Tipo de mineral [1]	Biodisponibilidade do mineral orgânico (%) [2]
Quelato metal aminoácido	Cálcio	92-96
	Cobalto	85-89
	Cobre	91-98
	Ferro	85-94
	Zinco	87-94
Complexo metal aminoácido	Cobre	91-98
	Ferro	85-94
	Manganês	83-87
	Zinco	87-94
Complexo metal aminoácido específico	Cobre lisina	91-98
	Zinco lisina	87-94
	Ferro metionina	85-94
	Zinco metionina	87-94
Proteinatos	Cálcio	92-96
	Cobalto	85-89
	Cobre	91-98
	Zinco	87-94
Complexo metal polissacarídeo	Cobre	91-98
	Ferro	85-94
	Zinco	87-94
	Magnésio	85-94

Adaptada de AAFCO (2000)[1] e Baruselli (2000)[2].

EXIGÊNCIAS DIETÉTICAS DE MINERAIS

As exigências de minerais para mantença incluem os minerais necessários para manter intactos os tecidos de um animal que não está em crescimento, desempenhando trabalho, reproduzindo ou gerando qualquer produto (Underwood, 1981). A manutenção do corpo envolve o metabolismo interno para circulação, respiração e outros processos vitais, juntamente com perdas externas e movimentos normais do animal. Essas exigências são relativas às necessidades do animal para atender as perdas inevitáveis do corpo, também chamadas de secreções ou perdas endógenas (Fontes, 1995).

No entanto, trabalhos desenvolvidos no Brasil, avaliando as perdas endógenas e os coeficientes de absorção de minerais em bovinos são escassos. Os poucos estudos realizados apresentam valores variáveis, não sendo possível estabelecer em edições anteriores uma recomendação precisa para bovinos criados em condições brasileiras. Os principais conselhos mundiais de exigências nutricionais (ARC, 1980; NRC, 2000; NRC, 2001; CSIRO, 2007) consideram que as perdas de minerais via urina são negligenciáveis devido à reciclagem de minerais que ocorre nos rins. Todavia, Costa e Silva et al. (2015a) verificaram que as perdas de minerais via urina podem chegar a 35% da quantidade do mineral consumido e assim, não devem ser desconsideradas. Dessa forma, o coeficiente de retenção verdadeiro deveria ser considerado para todos os minerais ao invés do coeficiente de absorção, pois nem sempre o que está sendo absorvido será aproveitado pelo animal.

Assim, as exigências dietéticas serão calculadas a partir da soma das exigências líquidas para mantença e ganho de peso e posterior divisão pelo coeficiente de retenção.

BANCO DE DADOS

Exigências líquidas para mantença e coeficiente de retenção

As exigências líquidas de cada mineral para mantença e o coeficiente de retenção foram estimados como sendo o intercepto e a inclinação, respectivamente, da regressão entre o mineral retido no corpo e o mineral consumido, calculado a partir do seguinte modelo:

MR = MC – Mef – Meu,

em que MR = mineral retido, MC = mineral consumido, Mef = mineral excretado via fezes e Meu = mineral excretado via urina.

Para estimar as exigências líquidas para mantença e o coeficiente de retenção de cada mineral, um banco de dados foi construído a partir de 10 experimentos conduzidos em condições tropicais: Souza (2010), Gionbelli (2010), Marcondes (2010), Prados (2012), Zanetti (2014), Sathler (2015), Costa e Silva et al. (2015[a]-**2**), Prados (2016) e Zanetti et al. (2017), sendo utilizados dados referentes aos minerais avaliados nos alimentos fornecidos aos animais, nas fezes e na urina (Tabelas 10.3 e 10.4). Esse banco de dados foi constituído por 325 animais, sendo 181 machos não castrados, 73 machos castrados e 71 fêmeas. Ainda, os animais utilizados são oriundos dos seguintes grupos genéticos: Nelore (*n* = 243), Zebu × Holandês (*n* = 46), Angus × Nelore (*n* = 18) e Simental × Nelore (*n* = 18). Foi utilizada uma meta-análise onde classe sexual (efeito fixo), grupo genético (efeito fixo) e experimento (efeito aleatório) foram considerados como efeitos classificatórios a fim de avaliar diferença para cada mineral avaliado.

Tabela 10.3 - Estatística descritiva dos dados utilizados para estimar as exigências líquidas de macrominerais (Ca, P, Mg, Na, K e S) para mantença e o coeficiente de retenção de bovinos de corte

Item	*n*	Média	DP	Máximo	Mínimo
Peso corporal (kg)	325	302	82,3	557	125
Cálcio (g/dia)					
Consumo	325	27,1	18,9	138	2,93
Fezes	324	11,4	6,27	62,0	1,37
Urina	322	1,14	1,13	7,63	0,04
Fósforo (g/dia)					
Consumo	325	22,5	20,6	88,0	3,34
Fezes	325	9,08	5,94	40,5	1,46
Urina	322	0,99	1,16	8,28	0,01
Magnésio (g/dia)					
Consumo	325	16,6	9,42	51,2	2,49
Fezes	307	8,22	5,58	41,5	0,89
Urina	304	3,98	3,43	24,4	0,03
Sódio (g/dia)					
Consumo	325	19,4	13,4	49,7	0,61
Fezes	306	7,27	4,81	22,5	0,19
Urina	297	7,49	5,49	26,3	0,02
Potássio (g/dia)					
Consumo	325	47,2	26,3	140	5,14
Fezes	307	16,3	9,63	56,4	1,82
Urina	297	16,1	13,2	66,8	0,02
Enxofre (g/dia)					
Consumo	149	5,75	2,08	9,29	1,20
Fezes	149	2,43	1,10	4,94	0,44
Urina	143	1,65	1,24	3,96	0,04

Contudo, apenas dois estudos (Costa e Silva et al., 2015a; Zanetti et al., 2017) avaliaram as exigências líquidas para mantença e o coeficiente de retenção para S e microminerais, sendo assim, apenas as recomendações sugeridas por esses autores serão utilizadas nessa edição do BR-CORTE (Tabela 10.4).

Tabela 10.4 - Estatística descritiva dos dados utilizados para estimar as exigências líquidas de microminerais (Cu, Fe, Mn, Se, Zn, Co, Cr e Mo) para mantença e o coeficiente de retenção de bovinos de corte

Item	*n*	Média	DP	Máximo	Mínimo
Peso corporal (kg)	149	307	92,6	557	125
Cobre (mg/dia)					
Consumo	149	87,8	58,8	213	1,87
Fezes	149	50,6	21,9	104	8,02
Urina	95	8,58	6,42	37,3	1,08
Ferro (mg/dia)					
Consumo	149	2.103	1.173	4.780	333
Fezes	149	1608	872	3982	316
Urina	92	98,8	73,4	410	5,40
Manganês (mg/dia)					
Consumo	149	212	133	493	1,87
Fezes	136	193	106	425	4,71
Urina	88	2,01	1,66	6,80	0,06
Selênio (mg/dia)					
Consumo	50	2,05	0,88	3,93	0,69
Fezes	50	1,43	0,64	2,69	0,31
Urina	50	0,70	0,57	1,22	0,01
Zinco (mg/dia)					
Consumo	149	293	169	611	28,0
Fezes	149	195	110	469	15,9
Urina	92	13,1	7,00	37,9	0,86
Cobalto (mg/dia)					
Consumo	149	7,12	4,64	21,3	0,92
Fezes	148	3,68	3,12	12,6	0,04
Urina	80	1,33	1,85	7,67	0,02
Cromo (mg/dia)					
Consumo	102	16,1	8,00	38,2	0,35
Fezes	102	11,3	5,60	28,1	3,30
Urina	46	3,84	1,94	9,26	0,61
Molibdênio (mg/dia)					
Consumo	47	3,92	1,10	6,19	0,89
Fezes	47	2,69	0,80	5,04	0,72
Urina	45	0,41	0,22	1,15	0,11

Exigências líquidas para ganho

O modelo comumente utilizado para estimar as exigências líquidas dos macrominerais para ganho é o alométrico (ARC, 1980), em que o conteúdo corporal do elemento é estimado a partir do peso de corpo vazio (PCVZ):

$Mi = \beta_0 \times PCVZ^{\beta_1}$,

em que Mi é o conteúdo corporal do mineral i (Ca e P (kg); Mg, Na e K (g)) e PCVZ é o peso de corpo vazio (kg). Derivando-se a equação anterior para 1,0 kg de ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ), as exigências líquidas de minerais podem ser estimadas como apresentado a seguir:

$ExLiGi = GPCVZ \times (\beta_0 \times \beta_1 \times PCVZ^{\beta_1-1})$,

Em que ExLiGi são as exigências líquidas do mineral i, GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia) e PCVZ = peso de corpo vazio (kg/dia). Os bovinos atingem um peso corporal no qual não ocorre mais deposição de minerais no corpo, ou seja, as exigências dietéticas ficam referidas apenas para atender às exigências de mantença do animal. Com isso, em conjunto com o ajuste do modelo alométrico, foi considerado o PCVZ onde não existe mais acréscimo significativo do mineral, determinado pelo método alométrico *plateau* como sugerido por Chizzotti et al. (2009) para cálcio e fósforo. Com isso, as exigências líquidas de cada mineral para ganho são consideradas iguais a zero a partir do PCVZ em que o *plateau* é atingido.

Dessa forma, um banco de dados foi construído a partir de 21 experimentos conduzidos em condições tropicais: Paulino (1996), Silva (2001), Veloso (2001), Paulino (2002), Backes (2003), Leonel (2003), Martins (2003), Chizzotti (2007), Véras (2006), Moraes (2006), Marcondes (2007), Paixão (2008), Sales (2008), Gionbelli (2010), Souza (2010), Marcondes (2010), Valente (2012), Rodrigues (2014), Amaral (2012), Costa e Silva et al. (2015a) e Zanetti et al. (2017), sendo utilizados dados referentes aos minerais (Ca, P, Mg, Na e K) retidos no corpo dos animais (Tabela 10.5).

Esse banco de dados foi composto por 844 animais, sendo 432 machos não castrados, 255 machos castrados e 157 fêmeas. Ainda, os animais utilizados são oriundos dos seguintes grupos genéticos: zebuínos (n = 515) e cruzados (n = 329). Para a avaliação, a meta-análise foi o procedimento adotado em que classe sexual (machos não castrados, machos castrados e fêmeas), grupo genético (zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite) e experimentos foram considerados como efeitos aleatórios.

Primeiramente, para os dados de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K), equações foram geradas separadamente quando diferenças foram observadas para classe sexual (machos não castrados, machos castrados e fêmeas) ou grupo genético (zebuínos, cruzados de leite e cruzados de corte). No caso dos cruzamentos, não foi verificada diferença ($P >$ 0,05) para nenhum dos minerais, o que possibilitou a união dos dados e a divisão dos grupos genéticos em zebuínos e cruzados.

Além disso, no BR-CORTE (2010), dois métodos para estimar as exigências líquidas para ganho de Ca e P foram sugeridos: quadrático *plateau* e alométrico *plateau*. Na edição atual, esses métodos foram testados e o alométrico *plateau* foi o que apresentou as melhores estimativas (menores valores de quadrados médios do erro de predição, QMEP) sendo escolhido como o método padrão para estimar as exigências líquidas para ganho de Ca e P. Para Mg, Na e K, o modelo alométrico foi utilizado sem contudo estimar o *plateau* de deposição desses minerais, uma vez que os mesmos estão mais relacionados ao fluido corporal do que com a deposição nos ossos e tecidos corporais.

Por fim, devido à falta de dados na literatura para as exigências líquidas para ganho de S e microminerais (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se e Zn), as recomendações foram feitas a partir dos estudos desenvolvidos por Costa e Silva et al. (2015a) e Zanetti et al. (2017); Tabela 10.6).

Tabela 10.5 - Estatística descritiva dos dados utilizados para estimar as exigências líquidas de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) para ganho de peso de bovinos de corte

Grupo genético/sistema	Classe sexual	*N*	Item	PCVZ	GPCVZ	Ca (kg)	P (kg)	Mg (g)	Na (g)	K (g)
Zebuínos (confinamento)	Machos não castrados	142	Média	342	1,04	4,64	2,95	140	492	538
			DP	83,7	0,45	1,12	0,74	50,9	134	238
			Máximo	549	1,87	7,15	4,45	311	760	990
			Mínimo	172	-0,01	2,09	1,06	49,8	203	170
	Machos castrados	148	Média	311	0,84	5,66	2,59	103	410	605
			DP	88,6	0,49	1,13	0,76	30,7	141	219
			Máximo	460	2,30	7,97	4,20	168	640	1060
			Mínimo	104	-0,21	2,66	0,60	29,7	106	154
	Fêmeas	84	Média	226	0,55	4,41	1,56	81,6	323	311
			DP	64,1	0,37	1,00	0,57	28,5	153	71,0
			Máximo	368	1,25	7,15	2,76	150	708	495
			Mínimo	108	-0,13	2,78	0,64	34,0	110	177
Cruzados (confinamento)	Machos não castrados	149	Média	394	1,39	4,20	3,00	220	511	668
			DP	94,6	0,65	1,40	1,02	106	135	261
			Máximo	600	2,74	6,95	4,43	390	764	990
			Mínimo	167	0,17	1,53	0,78	45,7	284	156
	Machos castrados	107	Média	332	0,94	5,21	2,80	105	432	629
			DP	92,2	0,54	1,12	0,60	32,8	168	272
			Máximo	506	1,64	7,83	4,34	169	705	1046
			Mínimo	161	-0,09	3,13	1,60	48,0	125	131
	Fêmeas	73	Média	292	0,79	4,52	2,10	106	503	323
			DP	73,2	0,50	0,96	0,39	23,1	150	74,6
			Máximo	443	1,73	6,91	2,77	164	776	466
			Mínimo	175	-0,18	2,82	1,29	62,3	237	195
Zebuínos (pasto)	Machos não castrados	141	Média	308	0,33	5,34	2,20	139	591	751
			DP	106	0,27	1,28	0,84	58,0	236	455
			Máximo	604	0,90	8,30	3,72	265	1109	1662
			Mínimo	80,2	-0,41	2,70	0,39	70,0	180	170

Tabela 10.6 - Estatística descritiva dos dados utilizados para estimar as exigências líquidas de S e microminerais (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se e Zn) para ganho de peso de bovinos de corte

Item	n	Média	DP	Máximo	Mínimo
PCVZ (kg)	133	288	110	549	104
GPCVZ (kg/dia)	133	0,74	0,55	1,87	-0,02
S (g)	87	610	506	2197	86
Co (mg)	87	1480	1683	5193	12
Cr (mg)	87	1113	938	3736	154
Cu (mg)	87	1519	1161	4678	153
Mn (mg)	87	913	874	2801	112
Mo (mg)	46	9,05	3,96	19,3	2,81
Se (mg)	50	136	92	328	21
Zn (g)	87	20,4	20,2	65,0	2,17
Fe (g)	87	31,2	22,2	78,5	7,02

MACROMINERAIS

Na segunda edição do BR-CORTE, em 2010, uma compilação de dados referente aos coeficientes de absorção dos macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) foi realizada a partir de trabalhos encontrados na literatura (Tabela 10.7). Contudo, devido à variabilidade dos dados encontrados, principalmente no Brasil, as recomendações foram mantidas, ou seja, seguiram as sugestões propostas pelo NRC (2000) para Ca e P e pelo ARC (1980) para Mg, Na e K.

Tabela 10.7 - Coeficientes de absorção e de retenção dos macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) encontrados na literatura

Fonte	Coeficiente de absorção (%)[1]				
	Ca	P	Mg	Na	K
ARC (1980)	68	60	17	91	100
AFRC (1991)	-	58 a 70	-	-	-
NRC (2000)	50	68	-	-	-
NRC (2001) – forragens	30	80	-	81	-
NRC (2001) – concentrado	60	-	-	100	-
Marshal e Long (1971)	80	-	-	-	-
Blaney et al. (1982)	50	-	-	-	-
Field (1983b)	-	58	-	-	-
Ezequiel (1987)[2]	62	72	52	66	100
Coelho da Silva et al. (1991)[2]	-	-	16	76	-
Rosado (1991)[2]	-	-	44	57	44
Valadares Filho et al. (1991)[2]	-	-	57	-	-
Boin (1993) – Bezerros[2]	-	78	-	-	-
Boin (1993) – Novilhos[2]	-	58	-	-	-
Coelho da Silva et al. (1995)[2]	72	63	38	54	-
Araújo et al. (2001)[2]	59	56	45	94	78
Gionbelli (2010)[2,3]	**55**	56	**16**	19	4
Costa e Silva et al. (2015a)[2,3]	72	82	98	58	70
BR-CORTE (2016)[2,3]	57	68	36	37	43

[1]Valores adotados na edição do BR-CORTE (2010) estão em negrito; [2]Experimentos conduzidos no Brasil; [3]Coeficientes de retenção.

No entanto, a partir do banco de dados gerado na edição atual, verifica-se que a excreção de alguns minerais na urina é relativamente baixa em função do mineral consumido, como por exemplo Ca (4,29%), P (4,33%), Cu (3,82%), Fe (3,59%), Mn (1,72%), Se (6,47%) e Zn (4,03%; Tabela 10.3). Porém, a excreção na urina de outros minerais foi considerada alta, como Na (39,3%), S (34,8%), Mg (24,9%), K (30,3%), Co (14,6%) e Cr (14,6%), o que impossibilita o uso do coeficiente de absorção como fator de conversão das exigências líquidas em dietéticas para todos os minerais. Assim, como forma de padronização, todos os coeficientes relatados nessa edição são os coeficientes de retenção verdadeira, visto que representam diretamente a relação entre o mineral retido e o mineral consumido.

Cálcio

O cálcio (Ca) é o mineral encontrado em maior abundância no corpo do animal; cerca de 99% do Ca está presente nos ossos e dentes e 1% nos tecidos moles e fluidos corporais. O Ca está envolvido na coagulação sanguínea, contração muscular, transmissão de impulsos nervosos, regulação dos movimentos cardíacos, secreção de hormônios e ativação e estabilização de enzimas (Lalman, 2005). Os ruminantes têm pequena capacidade de excretar Ca absorvido em excesso às suas necessidades. A excreção urinária de Ca é pequena, enquanto que as perdas endógenas

fecais são constantes, o que indica que a absorção é regulada a nível intestinal (Field, 1983a). Neste contexto, Costa e Silva et al. (2015a) verificaram que, em média, 3,85% do Ca consumido foi excretado via urina e 47,9% foi excretado via fezes.

A partir de experimentos realizados por Hansard et al. (1954; 1957), em que a disponibilidade verdadeira, as exigências para mantença e a utilização de Ca por bovinos foram estimadas por radioisótopos de Ca, o NRC (1984) recomendou as exigências líquidas de Ca para mantença de 15,4 mg/peso corporal (PC) e devido à falta de trabalhos para alterar esta estimativa, manteve a recomendação nas edições posteriores (NRC, 2000; NRC, 2001). Além disso, o ARC (1965) considerou 16 mg/kg PC como as exigências líquidas de Ca para mantença sendo 0,8 mg/kg PC relacionado às perdas urinárias. Enquanto que o AFRC (1991) sugere uma equação onde as perdas metabólicas fecais (PMF) estão em função do consumo de matéria seca (CMS, kg/dia) e peso corporal dos animais, sendo que essa mesma equação foi adotada pelo CSIRO (2007):

$$PMFCa\ (g/dia) = 0{,}66 \times CMS + 0{,}74 \times PC - 0{,}74.$$

No Brasil, poucos trabalhos foram desenvolvidos visando estimar as exigências líquidas de Ca para mantença. Ezequiel (1987) sugeriu que as exigências líquidas de Ca para mantença foram 33,2; 43,5; e 26,1 mg/kg PC, utilizando animais Nelore, Holandês e ½ HZ × ½ Zebu, respectivamente, estando esses valores acima das recomendações dos principais conselhos mundiais (ARC, 1980; NRC, 2000). No BR-CORTE (2010), dados de apenas um experimento (Gionbelli, 2010) foram utilizados e estimou-se que a exigência líquida para mantença era de 26,5 mg/kg PC. Costa e Silva et al. (2015a), utilizando bovinos Nelore de três classes sexuais (machos não castrados, machos castrados e fêmeas), estimaram as exigências líquidas de Ca para mantença de 20,0 mg/kg PC.

Contudo, a partir da meta-análise no banco de dados composto por 7 experimentos, verificou-se que as exigências líquidas de Ca para mantença e o coeficiente de retenção foram estimados como 11,7 mg/kg PC e 56,8%, respectivamente (Figura 10.1).

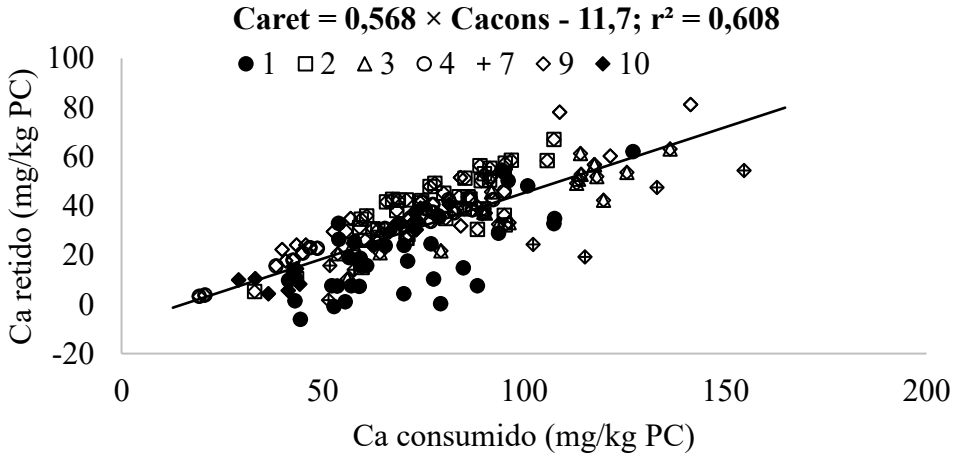


Figura 10.1 - Relação entre o Ca retido (Caret) e o Ca consumido (Cacons) em bovinos de corte. Costa e Silva et al. (2015a - 1 e 2), Zanetti (2014 - 3), Prados (2016 - 4), Gionbelli (2010 - 7), Prados (2012 - 9), Zanetti et al. (2017 - 10).

A partir dessa estimativa, observa-se que para um animal de 300 kg de PC, as exigências líquidas de Ca para mantença seriam de 3,51 e 4,62 g/dia, considerando as estimativas do BR-CORTE e a recomendação do NRC (2000), respectivamente. Assim, percebe-se que o fornecimento de Ca para atender as perdas endógenas pode estar superestimado, assim uma redução no fornecimento desse mineral para os animais deve diminuir as excreções via fezes para o meio ambiente.

Os conselhos nutricionais (ARC, 1980; AFRC, 1991; NRC, 2000; NRC, 2001) consideram que as perdas de minerais via urina são negligenciáveis sugerindo o uso do

coeficiente de absorção. O AFRC (1991) e o NRC (2001) relataram que o coeficiente de absorção seja 68 e 70%, respectivamente, enquanto o NRC (2000) reportou o valor de 50%. Considerando a média entre estes três conselhos, obtêm-se a estimativa de 62,7%, sendo este valor próximo ao encontrado nesta edição para o coeficiente de retenção. Assim, recomenda-se o uso do valor 56,8% como o coeficiente de retenção verdadeiro para bovinos de corte.

Sathler (2015) avaliou a absorção de Ca em diferentes locais ao longo do trato gastrointestinal e observou que a absorção de Ca no rúmen é dependente do fornecimento de uma fonte de Ca na dieta. Quando uma fonte inorgânica de Ca é fornecida na dieta, a absorção é em torno de 25%, enquanto que quando não há fornecimento, a absorção de Ca é de 5,86% no rúmen. Em contrapartida, esse autor encontrou resultados contrários quando a absorção de Ca foi avaliada nos intestinos delgado e grosso. A absorção de Ca no intestino delgado foi de 3,02 e 10,5% para dietas contendo ou não uma fonte inorgânica de cálcio, respectivamente. Para o intestino grosso, os valores encontrados foram de 15,2 e 27,7%, respectivamente. Com isso, observa-se que quando existe o fornecimento de Ca inorgânico na dieta, a maior absorção de Ca é no rúmen enquanto que na falta de uma fonte inorgânica, a absorção ocorre majoritariamente nos intestinos delgado e grosso.

Quanto às exigências líquidas de Ca para ganho (ExLiGCa), diferenças ($P < 0,0001$) foram observadas para grupo genético, o que resultou na geração de equações diferentes (Tabela 10.8). Além disso, um *plateau* foi calculado para todas as equações, onde o mineral contido no corpo passou a ser constante e as ExLiGCa foram consideradas iguais a zero (Tabela 10.8).

Tabela 10.8 - Exigências líquidas de Ca para ganho e *plateau* de deposição de Ca em função do grupo genético (zebuínos e cruzados)

GG[1]	*Plateau*	Conteúdo corporal (kg)	ExLiGCa[2] (g/dia)
Zebuínos	PCVZ < 462 kg	$0,294 \times PCVZ^{0,50}$	$GPCVZ \times (147 \times PCVZ^{-0,50})$
	PCVZ ≥ 462 kg	6,32	0
Cruzados	PCVZ < 453 kg	$0,096 \times PCVZ^{0,68}$	$GPCVZ \times (66,0 \times PCVZ^{-0,32})$
	PCVZ ≥ 453 kg	6,17	0

[1]GG = grupo genético; [2]ExLiGCa = exigências líquidas de Ca para ganho.

Fontes (1995) avaliou dados publicados na literatura brasileira e não encontrou efeito de grupo genético, quando os animais foram divididos em zebuínos, cruzados com raças leiteiras e cruzados com raças de corte. Contudo, esse autor verificou diferenças entre machos não castrados e machos castrados quanto às exigências líquidas, sendo que os machos castrados apresentaram menores valores para as exigências líquidas de Ca para ganho. Já Marcondes et al. (2009) não evidenciaram efeito de classe sexual sobre as ExLiGCa. Os diversos sistemas de exigências nutricionais (AFRC, 1991; NRC, 2000; CSIRO, 2007) também não levam em consideração os efeitos de classe sexual ou grupo genético sobre as exigências dietéticas de Ca. Assim, nessa edição do BR-CORTE, diferenças entre grupos genéticos podem ser observadas para as ExLiGCa, sendo que zebuínos apresentam menores ExLiGCa quando comparados aos cruzados.

O NRC (2000) estimou as exigências de Ca para ganho em função do ganho diário de proteína como 7,1 g de Ca por 100 g de acréscimo de proteína no corpo do animal. Entretanto, Chizzotti et al. (2009) relataram que a deposição de Ca não segue o mesmo comportamento de deposição de proteína. Além disso, estes autores estimaram um *plateau* para deposição de Ca e P aos 416 kg de PCVZ para animais Nelore × Angus, enquanto que 450 kg de PCVZ foi estimado como o *plateau* para deposição de proteína, o que representaria superestimativa das exigências desses minerais para PCVZ entre 416 e 450 kg, caso fossem calculados em função da deposição de proteína. No BR-CORTE (2010), um *plateau* comum para Ca e

P foi sugerido de 412 kg de PCVZ equivalente (469 kg PC para Nelore e 496 kg PC para cruzados). Nessa edição do BR-CORTE, observa-se que a inclusão de dados com animais mais pesados resultou em melhor ajuste e, assim, diferenças ($P < 0,001$) entre grupos genéticos puderam ser verificadas, resultando em estimativas das exigências líquidas para ganho separadamente (Tabela 10.8). Ainda, foi possível estimar um *plateau* para deposição de Ca para cada grupo genético. Assim, sugere-se que o PCVZ a partir do qual não existe mais deposição de Ca seja de 462 e 453 kg de PCVZ para zebuínos e cruzados, respectivamente.

Nos últimos anos, as exigências de minerais têm recebido grande atenção, devido principalmente à relação entre excreção dos minerais e a poluição ambiental. Neste sentido, Costa e Silva et al. (2015b) avaliaram o fornecimento de 43% de Ca das exigências propostas pela edição do BR-CORTE (2010) para machos castrados e fêmeas Nelore e verificaram que esta redução de Ca não influenciou o desempenho animal, o consumo e a digestibilidade dos nutrientes. Prados et al. (2015) avaliaram o fornecimento de 38% das exigências de Ca preconizadas pelo BR-CORTE (2010) na dieta de machos Holandês × Zebu não castrados e observaram que esta redução não afetou o desempenho e a concentração deste mineral nos ossos. Assim, esses autores concluíram que a redução deste mineral poderia representar decréscimo de custos nas operações em confinamento, bem como a diminuição da excreção deste mineral ao meio ambiente. Com isso, percebe-se que mais estudos devem ser realizados objetivando avaliar a redução no fornecimento de minerais na dieta de bovinos com o intuito de reduzir a excreção desse mineral.

Fósforo

O fósforo (P) é o segundo mineral mais abundante no organismo animal, sendo 80% encontrado nos ossos e dentes. O P é exigido para a formação e mineralização da matriz óssea. Os 20% restantes são distribuídos nos fluídos e tecidos onde possuem uma série de funções essenciais (Suttle, 2010). O P é um componente importante para o crescimento e a diferenciação dos ácidos ribonucleicos. Além disso, apresenta também um papel fundamental na regulação osmótica e equilíbrio ácido-base bem como na utilização de energia e transferência de elétrons, formação de fosfolipídios, transporte de ácidos graxos e formação de aminoácidos e proteínas (Suttle, 2010). O P é exigido pelos microrganismos do rúmen para o crescimento e metabolismo celular (NRC, 2000).

O P dietético que excede as exigências do animal não é absorvido ou, se for, é excretado na urina. A excreção de P via urina é baixa em condições normais, enquanto que grandes quantidades de P são recicladas pela saliva (ARC, 1965). Com isso, as exigências líquidas de P para mantença têm sido calculadas pela soma das excreções metabólicas fecais e urinárias desse elemento. O ARC (1980) sugeriu que este valor deveria ser 12 mg/kg PC enquanto que o AFRC (1991) reformulou o cálculo das exigências de P para mantença a partir de uma equação desenvolvida baseada em estudos com ovinos, em que as perdas metabólicas de P foram calculadas em função do CMS. Além disso, o NRC (2000) considera que as exigências líquidas de P para mantença sejam de 16 mg/kg PC. A partir do banco de dados do BR-CORTE, as exigências líquidas de P para mantença e o coeficiente de retenção verdadeiro foram estimadas em 13,5 mg/kg PC e 67,8%, respectivamente (Figura 10.2).

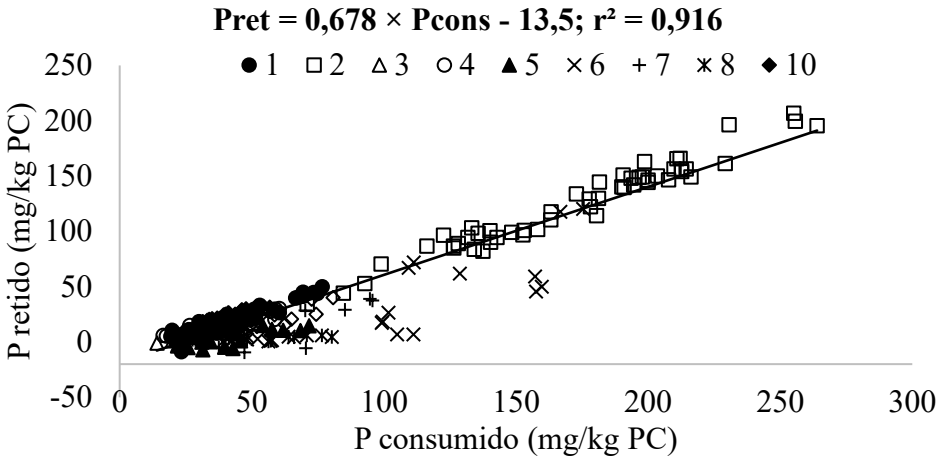


Figura 10.2 - Relação entre o P retido (Pret) e P consumido (Pcons) em bovinos de corte. Costa e Silva et al. (2015a - 1 e 2), Zanetti (2014 - 3), Prados (2016 - 4), Souza (2010 - 5), Marcondes (2010 - 6), Gionbelli (2010 - 7), Sathler (2015 - 8), Zanetti et al. (2017 - 10).

Sathler (2015) avaliou a absorção de P em dietas contendo ou não fornecimento de uma fonte inorgânica de P (fosfato bicálcico) e observou que independente do fornecimento de P, a absorção de P no rúmen é negativa em função da reciclagem de P via saliva que chega ao rúmen e não é considerada como entrada no sistema. Assim, existe a necessidade de avaliar a quantidade de P que é reciclada via saliva dependendo do nível de P na dieta. Além disso, esse autor verificou que 67,3 e 25,5% do P consumido é absorvido pelos intestinos delgado e grosso, respectivamente, sendo esses os principais locais de absorção de P. De acordo com o NRC (2000), as fontes suplementares de P podem ser ranqueadas quanto à disponibilidade (do maior para o menor): fosfato bicálcico, fosfato desfluorado e farinha de ossos (Peeler, 1972). Os conselhos internacionais (AFRC, 1991; NRC, 2000; NRC, 2001; CSIRO, 2007) relataram coeficientes de absorção de P variando de 58 a 75%. Considerando que os estudos que forneceram os dados para as estimativas dessa edição do BR-CORTE utilizaram o fosfato bicálcico como fonte suplementar de P, o valor de 67,8% é recomendado como coeficiente de retenção verdadeiro de P. Ainda, ressalta-se que diferentemente dos conselhos internacionais, essa edição do BR-CORTE considera o coeficiente de retenção, ao invés do coeficiente de absorção, uma vez que a excreção aparente de P na urina foi, em média, de 4,33% da quantidade consumida, não devendo assim, ser negligenciada.

As exigências líquidas de P para ganho (ExLiGP) são apresentadas na Tabela 10.9, e o PCVZ em que não há mais acréscimo significativo de P também foi estimado.

Tabela 10.9 - Exigências líquidas de P para ganho e *plateau* de deposição de P em função do grupo genético (zebuínos e cruzados)

GG	*Plateau*	Conteúdo corporal (kg)	ExLiGP[2] (g/dia)
Zebuínos	PCVZ < 445 kg	$0,05995 \times PCVZ^{0,6446}$	$GPCVZ \times (38,6 \times PCVZ^{-0,36})$
	PCVZ ≥ 445 kg	3,05	0
Cruzados	PCVZ < 479 kg	$0,0339 \times PCVZ^{0,7496}$	$GPCVZ \times (25,4 \times PCVZ^{-0,25})$
	PCVZ ≥ 479 kg	3,46	0

[1]GG = grupo genético; [2]ExLiGP = exigências líquidas de P para ganho.

Da mesma forma que observada para o Ca, os sistemas de exigências nutricionais não consideram efeitos de classe sexual ou grupo genético sobre as exigências dietéticas de P. No BR-CORTE (2010), esse efeito já havia sido observado; no entanto, com a inclusão de novos experimentos que foram desenvolvidos com animais que apresentaram PC maiores que

500 kg, foi possível detectar diferenças quanto ao grupo genético (zebuínos e cruzados) para estimar as ExLiGP (Tabela 10.9). Da mesma maneira que para Ca, o NRC (2000) estimou as exigências de P para ganho em função do ganho diário de proteína, sendo 3,9 g de P por 100 g de ganho proteico. Nessa edição, observa-se que os animais zebuínos apresentam ExLiGP maiores que para bovinos cruzados. Quanto ao PC para a estabilização da deposição de P, animais zebuínos e cruzados apresentaram PCVZ iguais a 445 e 479 kg, respectivamente.

Recentes publicações têm abordado a necessidade de redução do impacto ambiental causado pelo excesso de P excretado por bovinos (Vasconcelos et al., 2007; Costa e Silva et al., 2015b; Prados et al., 2015). Costa e Silva et al. (2015b) verificaram que a redução de 20% de P na dieta de bezerros Nelore não impactou no consumo e na digestibilidade dos nutrientes bem como no desempenho dos animais; enquanto que Prados et al. (2015) avaliaram que a redução de 14% das exigências de P a partir daquela preconizada pelo BR-CORTE (2010) na dieta de bovinos cruzados não afetou o desempenho e a concentração de P nos ossos. Neste contexto, Erickson et al. (1999; 2002) não observaram diferenças no desempenho de novilhos alimentados com 71 ou 162% das exigências de P preconizadas pelo NRC (2000) ou bezerros alimentados com 76 e 190% das exigências de P preconizadas pelo mesmo sistema. Call et al. (1978) alimentaram novilhas de corte por um período de dois anos com 66 e 174% das exigências de P recomendadas pelo NRC (2000) e não observaram diferenças para o ganho de peso. Isso demonstra que as exigências dietéticas de P podem ser reduzidas sem interferir no desempenho dos animais, o que indica que o excesso de P fornecido na dieta está sendo excretado nas fezes. Além disso, percebe-se que a nutrição mineral de bovinos está longe de ser totalmente esclarecida e recomenda-se a continuidade de pesquisas nessa área para um melhor entendimento do metabolismo mineral de bovinos.

O ARC (1980) relata que a razão entre Ca e P na dieta de ruminantes é importante, pois ambos minerais participam conjuntamente da formação óssea, sendo recomendada que essa razão esteja entre 1:1 a 2:1. Assim, uma relação inadequada de Ca:P pode alterar as exigências de mantença desses minerais, caso um deles esteja deficiente na dieta. Hansard e Plumlee (1954) observaram um aumento da excreção metabólica de P, quando a ingestão de Ca foi baixa e sugeriram que uma parte do excesso de P que seria utilizado para a deposição óssea é excretada, quando existe uma quantidade insuficiente de Ca no sangue para a calcificação óssea. Costa e Silva et al. (2015a) encontraram uma relação Ca:P média de 2,15:1 para bovinos Nelore de três classes sexuais criados em confinamento. Neste contexto, Zanetti et al. (2017), avaliando relações Ca:P variando de 0,63 a 1,82, verificaram que a redução do fornecimento de Ca e P na dieta não interferiu no comportamento alimentar, consumo de nutrientes e desempenho de machos Nelore não castrados nas fases de crescimento e terminação. Além disso, esse autor observou que o menor fornecimento desses minerais reduziu a excreção fecal de Ca e P, resultando em menor impacto ambiental.

Nessa edição do BR-CORTE, a relação entre Ca e P foi de 1,46:1, sendo esta relação próxima ao limite inferior preconizado pelo NRC (2000). Entretanto, o NRC (2000) enfatizou que o efeito da razão Ca:P no desempenho de ruminantes foi avaliado (Dowe et al., 1957; Wise et al., 1963) e as razões de Ca:P variando entre 1:1 e 7:1 resultaram em desempenho animal similar.

Magnésio

Aproximadamente 70% do magnésio corporal é localizado nos ossos, os outros 30% atuam nos músculos e em outros tecidos moles. Apenas 1% do Mg é encontrado nos fluidos extracelulares. Nesses tecidos, o Mg atua no metabolismo energético, principalmente através do complexo Mg-ATP, manutenção dos potenciais elétricos e ativação enzimática. Logo, a manutenção das concentrações ideais de Mg para funcionamento dessas funções é essencial. De acordo com ARC (1980), as perdas endógenas de Mg via urina são ignoradas. Contudo, a partir dos dados utilizados nessa edição do BR-CORTE, observa-se que, em média, 49,5% do Mg consumido (Tabela 10.3) é excretado nas fezes, enquanto que 24,0% do Mg consumido

é excretado via urina. Portanto, a excreção urinária de Mg é expressiva e deve ser considerada no intuito de estimar o coeficiente de retenção de Mg. Com isso, o coeficiente de retenção de Mg foi 35,5% (Figura 10.3). O ARC (1980) considerou um valor médio de 29,4% como o coeficiente de absorção; no entanto, o NRC (2000) e o NRC (2001) recomendaram o coeficiente de absorção de Mg de 17%. Assim, o valor de 35,5% está acima dos valores encontrados na literatura. Em relação às exigências líquidas de Mg para mantença, o ARC (1980) e o NRC (2001) sugeriram o valor de 3,0 mg/kg PC. Nessa edição do BR-CORTE, o valor estimado para exigências líquidas de Mg para mantença foi de 5,9 mg/kg PC (Figura 10.3).

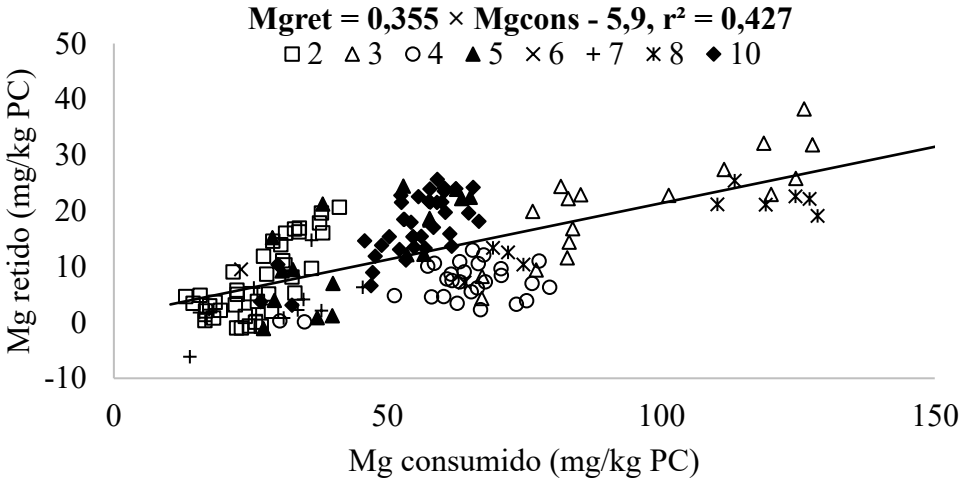


Figura 10.3 - Relação entre Mg retido (Mgret) e Mg consumido (Mgcons) em bovinos de corte. Costa e Silva et al. (2015a - 2), Zanetti (2014 - 3), Prados (2016 - 4), Souza (2010 - 5), Marcondes (2010 - 6), Gionbelli (2010 - 7), Sathler (2015 - 8), Zanetti et al. (2017 - 10).

No BR-CORTE (2010), as exigências líquidas de Mg para ganho (ExLiGMg) foram estimadas a partir do GPCVZ, sendo observado efeito do grupo genético. No entanto, como forma de padronização das exigências dos minerais, a última edição do BR-CORTE adotou o método alométrico. Assim, as ExLiGMg foram estimadas e o efeito de grupo genético continuou a ser observado (Tabela 10.10).

Tabela 10.10 - Exigências líquidas de Mg para ganho em função do grupo genético (zebuínos e cruzados)

GG	Conteúdo corporal (g)	ExLiGMg[2]
Zebuínos	$0,3427 \times PCVZ^{1,0113}$	$GPCVZ \times (0,3466 \times PCVZ^{0,0113})$
Cruzados	$1,3918 \times PCVZ^{0,7614}$	$GPCVZ \times (1,0597 \times PCVZ^{-0,2386})$

[1]GG = grupo genético; [2]ExLiGMg = exigências líquidas de Mg para ganho.

Sódio

Dentre os íons atuantes no equilíbrio osmótico, o sódio é o que apresenta maior concentração. Além disso, o Na contribui para contração muscular, transmissão de impulsos nervosos e transporte de outros nutrientes, a exemplo de glicose. Do sódio proveniente na dieta, o ARC (1980) sugere que seja completamente livre e, portanto, é completamente absorvido. Logo, o conceito de perdas endógenas fecais não se aplicaria a esse mineral. Porém, a quantidade de Na nas fezes e urina é, em média, de 37,5 e 38,6% do Na consumido, respectivamente (Tabela 10.3). Baseado nesses dados, as exigências líquidas de Na para mantença e o coeficiente de retenção verdadeiro foram estimados como 6,3 mg/kg PC e 37,1%, respectivamente (Figura 10.4). Com isso, as exigências líquidas de Na para mantença foram menores que os valores

sugeridos pelo ARC (1980) e NRC (2001) de 6,8 e 15 mg/kg PC, respectivamente. Conforme Aitken (1976), as perdas de Na pela saliva são desprezíveis, exceto para bovinos não aclimatados criados em condições tropicais, onde a perda de Na via saliva é de 1,4 g/dia para cada 100 kg de PC. Contudo, não existem dados de animais criados em condições tropicais que avaliaram as perdas endógenas pela pele e saliva.

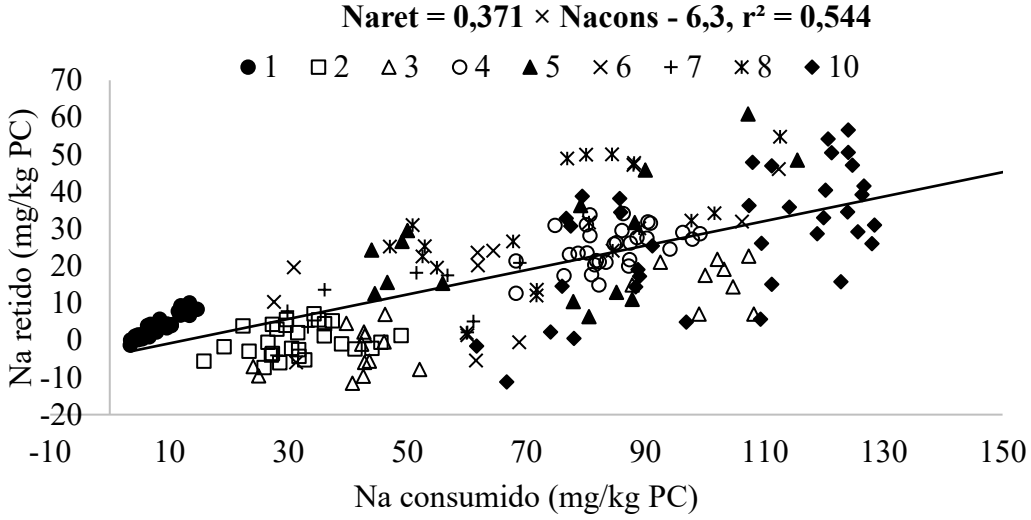


Figura 10.4 - Relação entre Na retido (Naret) e Na consumido (Nacons) em bovinos de corte. Costa e Silva et al. (2015a - 1 e 2), Zanetti (2014 - 3), Prados (2016 - 4), Souza (2010 - 5), Marcondes (2010 - 6), Gionbelli (2010 - 7), Sathler (2015 - 8), Zanetti et al. (2017 - 10).

Quanto ao coeficiente de retenção, o NRC (2000) e NRC (2001) recomendam 91 e 90% como o coeficiente de absorção de Na, respectivamente. Contudo, a partir dos dados do BR-CORTE, estima-se que o coeficiente de retenção de Na seja 37,1% (Figura 10.4). Essa diferença possivelmente se deve à excreção de Na na urina não ter sido contabilizada pelos conselhos internacionais (NRC, 2000; NRC, 2001), uma vez que há em torno de 38,6% de Na na urina. Ressalta-se que algumas dietas usadas para estimar as exigências usaram o bicarbonato de sódio e o óxido de magnésio como agentes tamponantes e alcalinizantes, respectivamente, o que pode ter contribuído para aumentar as excreções urinárias desses minerais.

No BR-CORTE (2010), efeitos de classe sexual e grupo genético foram identificados sobre as exigências líquidas de Na para ganho (ExLiGNa). Contudo, o modelo utilizado foi o mesmo recomendado para Mg. Assim, a partir do modelo alométrico, foi observado efeito do grupo genético sobre as ExLiGNa (Tabela 10.11).

Tabela 10.11 - Exigências líquidas de Na para ganho em função do grupo genético (zebuínos e cruzados)

GG[1]	Conteúdo corporal (g)	ExLiGNa[2] (g/dia)
Zebuínos	$7{,}9897 \times PCVZ^{0{,}7002}$	$GPCVZ \times (5{,}594 \times PCVZ^{-0{,}2998})$
Cruzados	$2{,}0985 \times PCVZ^{0{,}942}$	$GPCVZ \times (1{,}977 \times PCVZ^{-0{,}058})$

[1]GG = grupo genético; [2]ExLiGNa = exigências líquidas de Na para ganho.

O sal comum (NaCl) é rotineiramente utilizado como fonte de Na na alimentação de ruminantes. Uma das principais razões para o desejo inato dos ruminantes em consumir sal foi durante muitos anos justificado como reflexo das exigências dietéticas e estado fisiológico (Cheeke, 2005). Contudo, os ruminantes possuem grande apetite por sal, consumindo quantidades bem superiores às necessárias (Morris, 1980). Com isso, o melhor indicativo do status nutricional de Na é sua relação com o K, que deve ser por volta de 20:1. As dietas de herbívoros geralmente apresentam alto teor de K, devido à sua elevada concentração em forragens, o que pode provocar

baixas relações Na:K (que podem atingir um limite mínimo de 10:1), fator este que pode contribuir para o maior apetite de herbívoros por Na.

Ruminantes possuem grande habilidade de conservar Na no rúmen, pois o mesmo pode ser absorvido para a corrente sanguínea em caso de deficiência de Na, enquanto que o K, nesse caso, é substituto do Na na saliva (Cheeke, 2005). A deficiência de Na pode levar à diminuição da pressão osmótica, que pode resultar em desidratação corporal. Dentre os sintomas de deficiência de Na, estão a diminuição no crescimento e perda de eficiência de uso da proteína e energia (McDonald et al., 2002), além de apetite depravado (Underwood e Suttle, 1999).

Potássio

O potássio é o terceiro íon mais abundante no corpo, e o mais presente no meio intracelular. Apresenta, assim como o Na, importantes funções na manutenção do equilíbrio osmótico, na contração muscular, transmissão de impulsos nervosos, além de atuar em alguns sistemas enzimáticos. No que diz respeito às perdas endógenas de K, o ARC (1980) separou as estimativas em fecal (2,6 g/kg MS), urinária (37,5 mg/kg PC), salivar (0,7 g/100 kg PC) e pela pele (1,1 g/dia), sendo as exigências líquidas de K para mantença calculadas como a soma dessas perdas. Essas estimativas foram adotadas pelo BR-CORTE em 2010. Contudo, os dados utilizados pelo ARC (1980) foram oriundos de apenas um estudo (St. Omer e Roberts, 1967) em que 9 novilhas foram usadas, em 3 quadrados latinos 3 × 3, para avaliar o balanço dos minerais. Objetivando padronizar as exigências líquidas para mantença, as estimativas a partir do banco de dados do BR-CORTE foram de 23,5 mg/kg PC para as exigências líquidas de K para mantença (Figura 10.5). Esse valor é menor que o recomendado pelo NRC (2001) de 38 mg/kg PC.

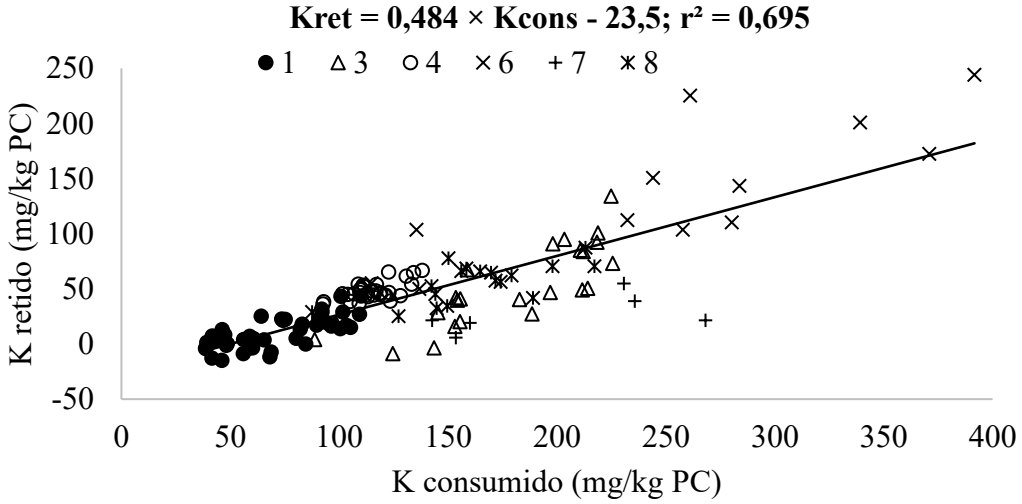


Figura 10.5 - Relação entre K retido (Kret) e K consumido (Kcons) em bovinos de corte. Costa e Silva et al. (2015a - 1), Zanetti (2014 - 3), Prados (2016 - 4), Marcondes (2010 - 6), Gionbelli (2010 - 7), Sathler (2015 - 8).

Ward (1966) relatou que o K é absorvido no rúmen, abomaso e intestinos delgado e grosso. Sathler (2015) avaliou a absorção de K nos diferentes locais do trato digestivo e observou que há absorção negativa de K no rúmen e no intestino grosso, ou seja, a secreção de K para o trato gastrointestinal é maior que a absorção desse mineral. No rúmen, a maior quantidade de K que chega é devido às secreções salivares de K, que não foram quantificadas como consumo. Quanto ao intestino grosso, a maior secreção de K deve-se ao balanço eletrostático que ocorre neste local uma vez que a absorção de Na é alta (Sathler, 2015).

O ARC (1980) assumiu o coeficiente de absorção de K como sendo 100%, enquanto que o NRC (2001) considerou o valor de 90%. Esse alto valor de coeficiente de absorção pode ser justificado por Ward (1966), que indicou

que a urina é a principal rota de excreção de K, enquanto que as reservas corporais de K são mínimas. No banco de dados desenvolvido para a última edição do BR-CORTE, observa-se que a excreção de K nas fezes não pode ser negligenciada e que as excreções urinárias de K não representam a totalidade da excreção diária de K. Portanto, observou-se que as excreções aparentes fecais e urinárias de K foram, em média, 35,3 e 30,3% do consumido (Tabela 10.3), respectivamente, o que proporcionou um coeficiente de retenção de 48,4%, consideravelmente inferior ao preconizado até o momento pelos diversos sistemas internacionais de exigências nutricionais. Isso mostra que não existe uma rota preferencial para excreção de K. Assim, o coeficiente de retenção verdadeiro obtido foi de 48,4% (Figura 10.5) sendo este valor recomendado nessa edição do BR-CORTE.

Para as exigências líquidas de K para ganho (ExLiGK), foi observado efeito de grupo genético, o que resultou em equações distintas para animais zebuínos e cruzados (Tabela 10.12). Houve uma redução em torno de 17% das ExLiGK em relação ao BR-CORTE (2010).

Tabela 10.12 - Exigências líquidas de K para ganho em função do grupo genético (zebuínos e cruzados)

GG[1]	Conteúdo corporal (g)	ExLiGK[2]
Zebuínos	$0{,}8437 \times PCVZ^{1{,}1216}$	$GPCVZ \times (0{,}9463 \times PCVZ^{0{,}1216})$
Cruzados	$0{,}2589 \times PCVZ^{1{,}3200}$	$GPCVZ \times (0{,}3418 \times PCVZ^{0{,}3200})$

[1]GG = grupo genético; [2]ExLiGK = exigências líquidas de K para ganho.

Enxofre

O S é um mineral que participa da composição de diversas substâncias, tais como aminoácidos (metionina, cistina e cisteína), hormônios (insulina e ocitocina) e moléculas ricas em cisteína (metaloteínas), que são importantes na proteção dos animais contra o excesso de Cu, Cd e Zn (Suttle, 2010).

Apesar dos sistemas americanos (NRC, 2000; NRC, 2001) afirmarem que as exigências dietéticas de S para bovinos de corte e de leite não estão bem definidas, esses conselhos recomendam que as exigências dietéticas de S devam estar entre 1,5 e 2,0 g/kg CMS. Contudo, nenhuma recomendação quanto às exigências líquidas de S para mantença e o coeficiente de retenção foi apresentada. Assim, a partir do banco de dados dessa edição, as exigências líquidas de S para mantença e o coeficiente de retenção para bovinos Nelore foram estimadas como 10,4 mg/kg PC e 77,3%, respectivamente (Figura 10.6).

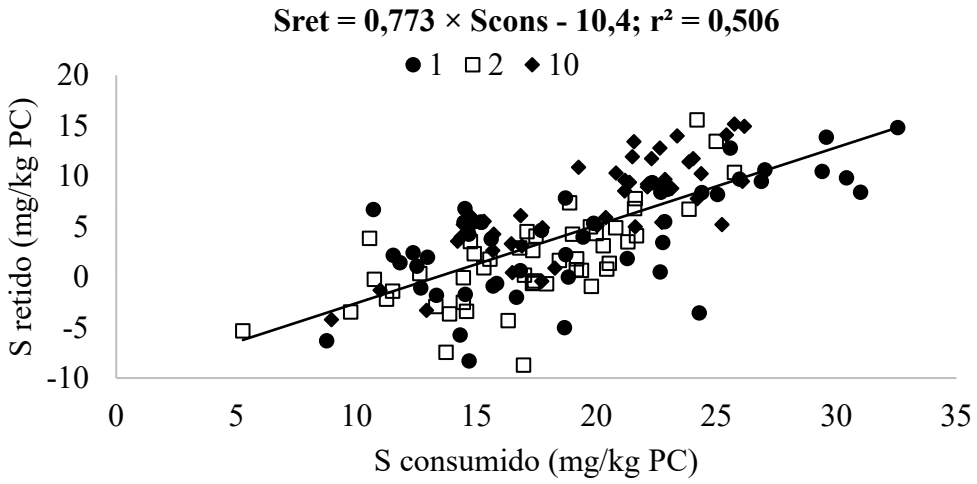


Figura 10.6 - Relação entre S retido (Sret) e S consumido (Scons) em bovinos de corte. Dados de Costa e Silva et al. (2015a – 1 e 2) e Zanetti et al. (2017 – 10).

Quanto às exigências líquidas de S para ganho (ExLiGS), dados apenas do estudo de Costa e Silva et al. (2015a) estão disponíveis, sendo a recomendação a partir da seguinte equação:

$$ExLiGS = GPCVZ \times (0{,}03 \times PCVZ^{0{,}89}).$$

Diferentemente do observado para os outros macrominerais, o expoente da equação foi positivo, o que permite inferir que a medida que o animal cresce (aumenta o PCVZ), as exigências líquidas de S para ganho de peso aumentam.

Quando expresso em gramas por quilograma de CMS, as exigências dietéticas de S são estimadas, em média, como 1,36 g/kg CMS, estando esse valor próximo ao recomendado pelo NRC (2000) e abaixo do preconizado pelo NRC (2001). Neste caso, Costa e Silva et al. (2015a) relataram que essa diferença pode ter ocorrido pois os dados provenientes do NRC (2001) foram oriundos de apenas um estudo (Bouchard e Conrad, 1973), que utilizou vacas Holandesas no terço médio de lactação e que produziam de 30 a 37 kg de leite/dia. Contudo, ressalta-se que mais estudos avaliando as exigências dietéticas de S são necessários a fim de melhorar a acurácia das estimativas para esse mineral.

Cloro

O Cl é o principal ânion presente no fluido extracelular animal. Esse mineral é necessário para a formação de HCl no suco gástrico e para a ativação da amilase. Assim como o Na, o Cl também está envolvido na manutenção da pressão osmótica, controle do balanço hídrico e regulação do equilíbrio ácido-base (Underwood, 1981). Atualmente, os estudos avaliando a inclusão de cloretos na dieta estão mais relacionados ao controle de microrganismos, como *Escherichia coli* no trato gastrointestinal (Callaway et al., 2002; Anderson et al., 2005), do que propriamente avaliar as exigências dietéticas deste mineral.

Assim, as exigências líquidas de Cl para mantença e o coeficiente de retenção em bovinos de corte não estão definidas (Underwood e Suttle, 1999), enquanto que deficiências de Cl não parecem prováveis em condições práticas (NRC, 2000). Informações sobre perdas endógenas de Cl não foram encontradas na literatura; entretanto, o ARC (1980) considera que é possível que exista uma perda na urina inevitável, da mesma forma como acontece para o Na. Conforme Aitken (1976), bovinos criados em condições tropicais possuem maior exigência de Cl para mantença, em função das perdas pela pele e saliva, sendo sugerida uma exigência de Cl de 1,6 g/dia para um bovino de 500 kg de PC criado em condições tropicais, exposto aproximadamente 7 horas por dia a uma temperatura de 40ºC e umidade relativa do ar de 90%, condições estas possíveis de serem observadas em animais em pastejo em clima tropical. Para as perdas via saliva, a recomendação é de 0,9 g/dia para cada 100 kg de PC.

Quanto à absorção de Cl em bovinos, Smith et al. (2012) realizaram uma compilação de trabalhos que avaliaram diversos cloratos, em que foi utilizado um isótopo do Cl como marcador (^{36}Cl-clorato), e observaram que a absorção de clorato de sódio ($NaClO_3$) em bovinos foi, em média, de 12,6%.

O ARC (1980) estimou as exigências dietéticas diárias de bovinos de corte ganhando 1,0 kg/dia de peso corporal como 0,7 gramas por quilograma de MS consumida (g/kg MS). No Brasil, como não existem trabalhos estimando as exigências dietéticas de Cl, sugere-se que o valor apresentado pelo ARC (1980) seja utilizado.

MICROMINERAIS

Devido à falta de estudos na literatura que avaliaram as exigências dietéticas dos microminerais, as recomendações dessa edição do BR-CORTE foram baseadas em apenas dois estudos (Costa e Silva et al., 2015a; Zanetti et al., 2017) sendo a estatística descritiva apresentada na Tabela 10.4.

Cobre

As funções do cobre no organismo estão relacionadas ao metabolismo de lipídeos e à ativação de uma série de enzimas, a exemplo da citocromo oxidase, ceruloplasmina e superóxido dismutase. O principal órgão de reserva de Cu é o fígado, onde as concentrações sofrem influência das concentrações dietéticas. Costa e Silva et al. (2015a) observaram consumo médio de Cu igual a 83,5 mg/dia, com a retenção de Cu de 25,4 mg/dia, o que representa que apenas 30,4% do que foi consumido é realmente retido no corpo dos animais. Em contrapartida, 65,7% do que foi consumido é, em média, excretado nas fezes enquanto que 3,8% é excretado na urina (Tabela 10.3). Neste

sentido, Sathler (2015), avaliando a inclusão ou não de macrominerais e/ou microminerais na dieta de machos Nelore não castrados observou que a excreção fecal de Cu variou de 38,2 a 61,2% do que foi consumido, dependendo do fornecimento ou não de macrominerais e/ou microminerais. Contudo, a excreção urinária de Cu não foi avaliada.

As exigências líquidas de Cu para mantença foram 95,6 µg/kg PC (Figura 10.7), sendo esse valor acima do recomendado pelo ARC (1980) que considerou as exigências líquidas de Cu para mantença como 7,1 µg/kg PC; contudo para chegar a esse valor, o ARC (1980) assumiu uma equação que leva em consideração consumo de Cu, perda hepática de Cu e mudanças no PC. Enquanto isso, o sistema australiano (CSIRO, 2007) adotou o valor de 4,0 µg/kg PC como as exigências de Cu para mantença a partir de resultados de apenas um estudo (Suttle, 1974) que avaliou a biodisponibilidade de Cu em ovinos.

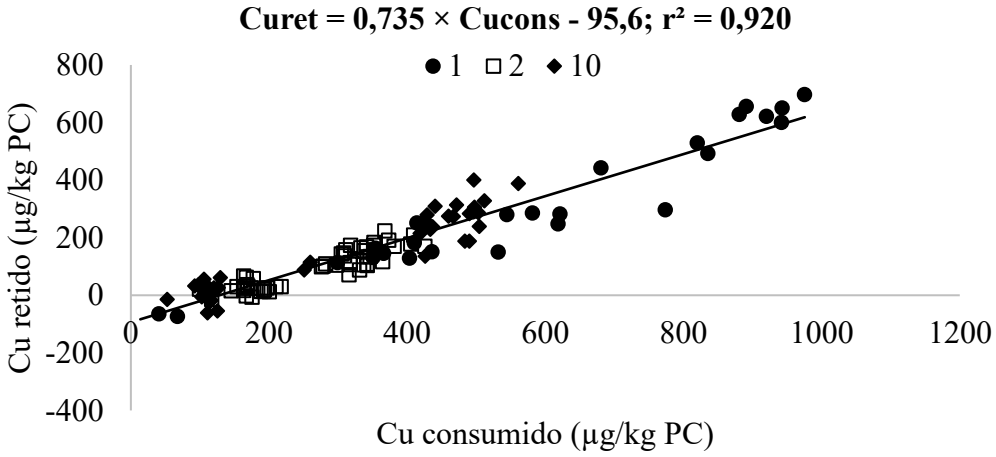


Figura 10.7 - Relação entre Cu retido (Curet) e Cu consumido (Cucons) em bovinos de corte. Dados de Costa e Silva et al. (2015a – 1 e 2) e Zanetti et al. (2017 – 10).

A absorção de Cu em ruminantes é considerada baixa (<1,0 a 10,0%) em relação aos valores descritos para monogástricos (Underwood e Suttle, 1999). Bezerros absorvem cerca de 70% do Cu presente na dieta, enquanto um bovino adulto absorve de 1 a 5% (NRC, 2001). Isso se deve, em grande parte, pelas complexas interações que ocorrem no ambiente ruminal (Sathler, 2015). Contudo, Sathler (2015) observou coeficientes de absorção para Cu variando de 38,2 a 61,2%, dependendo do fornecimento ou não de macrominerais e/ou microminerais, sendo que a menor absorção foi observada quando houve fornecimento de macrominerais sem microminerais.

Diversos fatores afetam a absorção de Cu em ruminantes, como a alta concentração de Mo e S na dieta, que são capazes de interagir com o Cu formando tiomolibdatos, sendo este um complexo insolúvel, que torna o Cu indisponível para absorção (Suttle, 1991). Segundo o NRC (2001), os requerimentos de Cu variam de 4 a 15 mg/kg MS dependendo da concentração de Mo e S na dieta. Assim, estudos que avaliem a interferência de Mo e S na absorção de Cu devem ser conduzidos no intuito de averiguar a quantidade extra de Cu que deve ser suprida aos animais, para que não haja deficiência. Além disso, alguns estudos demonstraram que ocorre redução na absorção ruminal de Cu quando Ca é adicionado à dieta (Dick, 1954; Kirchgessner e Weser, 1965). Sathler (2015) verificou que, dependendo da suplementação mineral, a absorção de Cu no rúmen, intestino delgado e intestino grosso varia conforme a inclusão ou não de macrominerais e/ou microminerais.

Costa e Silva et al. (2015a) sugeriram que a melhor forma de estimar as exigências dietéticas seria utilizando o coeficiente de retenção, uma vez que as excreções urinárias dos minerais não podem ser desconsideradas, que no caso do Cu foram de 3,8%. Assim, o coeficiente de retenção considerado foi de 73,5% (Figura 10.7). Esse valor é bem acima do que foi reportado pelo ARC (1980), de 6%, considerado como o coeficiente de absorção

hepática. Contudo, de acordo com o ARC (1980), a eficiência de absorção e retenção hepática não foi avaliada em bovinos e, assim, a recomendação desse conselho foi baseada em estudos utilizando ovinos.

As exigências líquidas de Cu para ganho de peso foram estimadas como sendo:

$$ExLiGCu = GPCVZ \times (1{,}25 \times PCVZ^{0{,}33})$$

em que GPCVZ é o ganho diário de peso de corpo vazio (kg/dia) e PCVZ é o peso de corpo vazio em kg (Costa e Silva et al., 2015a). Da mesma forma que obtido para o S, como o expoente da equação foi positivo, conclui-se que a medida que o animal cresce (aumenta o PCVZ), as exigências líquidas de Cu para ganho de peso aumentam.

Mullis et al. (2003) estimaram as exigências dietéticas de Cu para novilhas das raças Angus e Simental como sendo 7 mg/kg CMS. Segundo o NRC (2000), as exigências dietéticas de cobre podem variar de 4 a 15 mg/kg CMS dependendo da concentração de molibdênio e enxofre na dieta. Assim, o NRC (2000) recomenda a concentração de Cu na dieta de bovinos de corte de 10 mg/kg CMS. Contudo, essas recomendações não consideraram a quantidade de Cu que foi fornecida na dieta, considerando apenas o que foi utilizado na suplementação. Dessa forma, Costa e Silva et al. (2015a) avaliaram a composição da dieta basal e verificaram que as exigências para bovinos da raça Nelore foram, em média, 9,53 mg/kg CMS, sendo esse valor o recomendado para bovinos Nelore para as exigências dietéticas de Cu.

Ferro

O Fe é um importante componente de diversas proteínas que participam da utilização e transporte de oxigênio, tais como hemoglobina, que contêm 50% de todo o Fe presente no corpo do animal, mioglobina, citocromos e proteínas ferrossulfurosas envolvidas na cadeia transportadora de elétrons (NRC, 2000). Além disso, o fornecimento insuficiente de Fe poderá reduzir as reservas corporais e a concentração de Fe presente no plasma e na hemoglobina do sangue (Thomas, 1970). No entanto, nenhum estudo havia sido conduzido visando estimar as exigências líquidas de Fe para mantença e o coeficiente de retenção, bem como as exigências dietéticas de Fe para bovinos de corte.

O NRC (2000) utilizou resultados de dois experimentos (Bremmer e Dalgarno, 1973; Bernier et al., 1984) que avaliaram a suplementação com Fe em bezerros alimentados com leite na prevenção de anemia e concluíram que o fornecimento de 40 a 50 mg/kg CMS é adequado para permitir o crescimento dos animais e prevenir anemia. Contudo, as exigências para animais mais pesados não foram definidas experimentalmente. Neste sentido, as exigências líquidas para mantença e o coeficiente de retenção de Fe foram estimadas como 2,9 mg/kg PC e 73,4%, respectivamente (Figura 10.8).

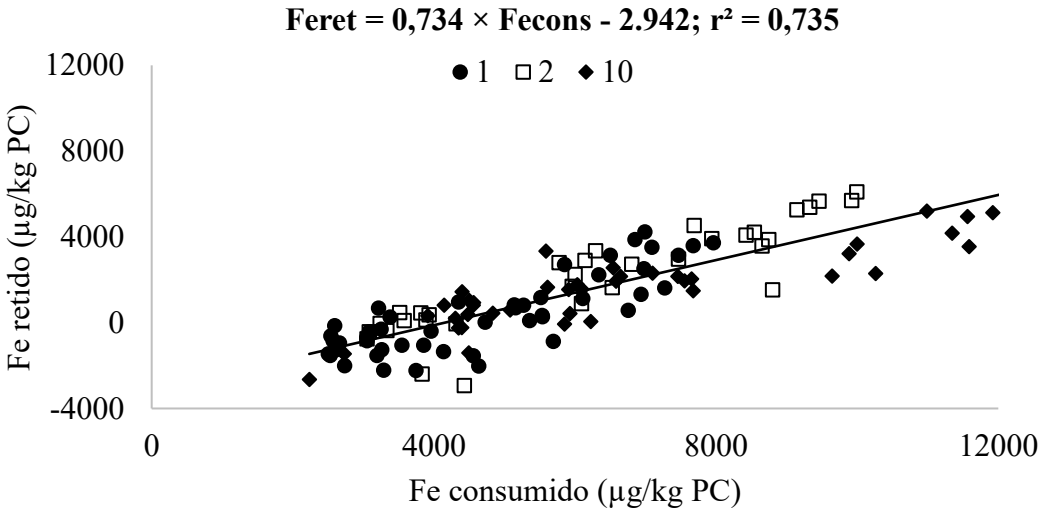


Figura 10.8 - Relação entre Fe retido (Feret) e Fe consumido (Fecons) em bovinos de corte. Dados de Costa e Silva et al. (2015a – 1 e 2) e Zanetti et al. (2017 – 10).

Para as exigências líquidas de Fe para ganho de peso, a equação sugerida por Zanetti et al. (2017) foi utilizada:

$$ExLiGFe = GPCVZ \times (10,4 \times PCVZ^{0,24}).$$

Com isso, observa-se que as exigências dos animais aumentam à medida que o animal cresce, porém a uma taxa menor que o corpo cresce. Fato similar ao que o NRC (2000) sugeriu que à medida que o animal cresce as exigências seriam menores, pois o volume sanguíneo não aumenta proporcionalmente ao PC.

Ao avaliar as exigências dietéticas como mg/kg CMS, sugere-se, em média, o valor de 166 mg/kg CMS; esse valor está muito acima do preconizado pelo NRC (2000), de 50 mg/kg CMS. Contudo, ressalta-se que a concentração de Fe na dieta basal foi levada em consideração nessa edição, enquanto que não foi considerado nos trabalhos citados pelo NRC (2000), uma vez que os estudos avaliaram apenas a suplementação de Fe, descartando a quantidade de Fe que foi fornecida pelo leite aos animais.

Manganês

A quantidade de Mn no corpo é largamente distribuída pelos tecidos e fluídos e pode variar quanto a espécie, idade, órgãos, e em relação à presença de outros microminerais na dieta. Alguns estudos (Bentley e Phillips, 1951; Rojas et al., 1965; DiCostanzo et al., 1986) observaram diferenças quanto ao fornecimento de diferentes níveis de Mn em aspectos reprodutivos, mas sem efeito no desempenho animal. Assim, Schroeder et al. (1966) recomendaram a quantidade de 20 a 25 mg/kg CMS para um animal ter ótimo desenvolvimento esquelético.

As exigências líquidas para mantença e o coeficiente de retenção de Mn foram estimadas em 184,9 µg/kg PC e 43,9%, respectivamente (Figura 10.9). O NRC (2001) sugeriu os valores de 2 µg/kg PC e 75% como as exigências líquidas para mantença e o coeficiente de absorção de Mn, respectivamente. No entanto, alguns autores (Sansom et al., 1978; Sullivan et al., 1979; Van Bruwaene et al., 1984) sugeriram que apenas de 1 a 4% do Mn é absorvido, independente da sua concentração na dieta, e que o principal local de absorção seria o intestino delgado. Sathler (2015) avaliou os coeficientes parciais de absorção no rúmen, intestino delgado e grosso e verificou que o principal local de absorção foi o rúmen. Além disso, foi observado uma absorção aparente média de 35,1% do Mn. Hurley e Keen (1987) reportaram que altas concentrações de outros minerais tais como Ca, P e Fe na dieta diminuem a absorção de Mn. Sathler (2015) observou, ainda, que dietas com maiores concentrações de macrominerais e microminerais apresentaram o coeficiente de absorção 15% inferior à dieta que continha microminerais mas sem macrominerais. Contudo, esse autor verificou que a absorção de Mn no intestino delgado utilizando o tratamento com todos os minerais foi maior comparado ao tratamento sem macrominerais, não alterando o coeficiente de absorção aparente total.

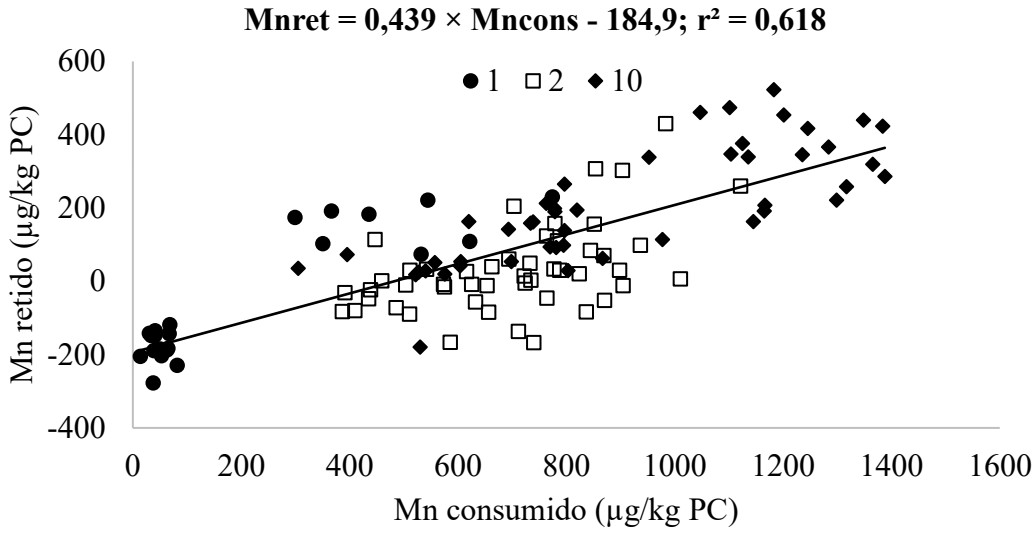


Figura 10.9 - Relação entre Mn retido (Mnret) e Mn consumido (Mncons) em bovinos de corte. Dados de Costa e Silva et al. (2015a – 1 e 2) e Zanetti et al. (2017 – 10).

Para as exigências líquidas de Mn para ganho de peso, Costa e Silva et al. (2015a) sugeriram a seguinte equação:

$$ExLiGMn = GPCVZ \times (0,07 \times PCVZ^{0,80})$$

em que GPCVZ é o ganho diário de peso de corpo vazio (kg/dia) e PCVZ é o peso de corpo vazio (kg).

O NRC (2000) recomenda que as exigências dietéticas de Mn são de 20 mg/kg CMS, sendo essa recomendação adotada pelo BR-CORTE (2010). Hartmans (1974) alimentaram vacas de 2,5 a 3,5 anos com dietas contendo de 16 a 21 mg/kg CMS e não observaram sinal de deficiência de Mn ou melhora no desempenho animal. Possivelmente, o suprimento de Mn estava acima do que o animal requer para um ótimo desempenho. Neste sentido, Costa e Silva et al. (2015a) estimaram as exigências dietéticas de Mn como sendo 9,59 mg/kg CMS, mostrando que a não observância de diferenças quanto ao desempenho dos animais quando foram supridas quantidades acima de 10 mg/kg CMS pode ser devido ao fornecimento de Mn estar acima das exigências dos animais.

Selênio

A concentração de Se no corpo do animal é dependente da quantidade e da forma química do Se na dieta, bem como o tecido em que a concentração está sendo avaliada. Segundo Behne e Wolters (1983), altas concentrações de Se podem ocorrer no fígado e nos rins enquanto que as maiores quantidades de Se são sequestradas pelos músculos. Nesses tecidos, o Se atua como ativador enzimático, a exemplo de algumas enzimas atuantes na produção dos hormônios T3 e T4, e como antioxidante, atuando na redução das concentrações de peróxido de hidrogênio.

Assim, para as exigências líquidas de Se e o coeficiente de retenção de Se foram utilizadas as recomendações de Costa e Silva et al. (2015a) de 3,72 µg/kg PC e 48,7%, respectivamente (Figura 10.10). Esse valor de coeficiente de retenção é acima do apresentado por Wright e Bell (1966) que utilizaram isótopos de Se em ovinos e encontraram o coeficiente de absorção de 35%. O valor sugerido pelo CSIRO (2007) é de 30%. Contudo, o valor encontrado por Costa e Silva et al. (2015a) encontra-se dentro da faixa estabelecida pelo NRC (2001) de 40 a 50%.

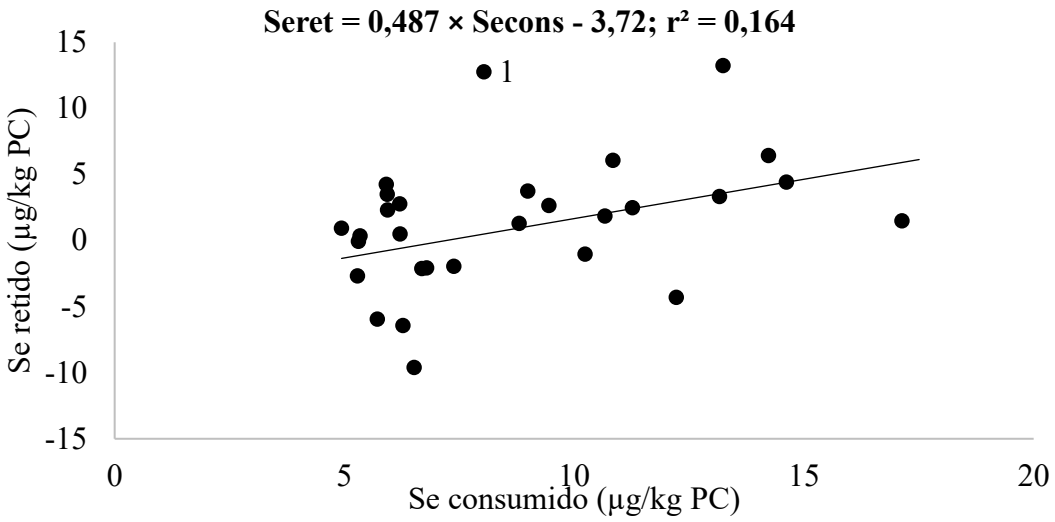


Figura 10.10 - Relação entre Se retido (Seret) e Se consumido (Secons) em bovinos de corte. Dados de Costa e Silva et al. (2015a – 1).

Para as exigências líquidas de Se para ganho de peso, Costa e Silva et a. (2015a) sugeriram a seguinte equação:

$$ExLiGSe = GPCVZ \times (1{,}07 \times PCVZ^{-0{,}07})$$

em que GPCVZ é o ganho diário de peso de corpo vazio (kg/dia) e PCVZ é o peso de corpo vazio (kg). Com isso, percebe-se que as exigências de Se para ganho não variam conforme o animal cresce, uma vez que o expoente da equação é próximo a zero.

Sinais subclínicos de deficiência de Se têm sido relatados em vacas e bezerros de corte recebendo forragem, contendo de 0,02 a 0,05 mg Se/kg CMS (Morris et al., 1984; Hidiroglou et al., 1985; Spears et al., 1986). Tendo como referência esses estudos, o NRC (2000) recomendou que as exigências dietéticas de Se deveriam ser de 0,1 mg/kg CMS. No entanto, Costa e Silva et al. (2015a) estimaram que as exigências dietéticas de Se seriam de 0,57 mg/kg CMS. Além disso, esse valor é também acima do recomendado pelo CSIRO (2007) e NRC (2001), cujos valores são de 0,05 e 0,30 mg/kg CMS, respectivamente. Entretanto, ressalta-se que os valores sugeridos por Costa e Silva et al. (2015a) foram provenientes de apenas um experimento que continha 50 animais Nelore com PC variando de 121 a 300 kg e, assim, recomenda-se que mais estudos devam ser conduzidos para que as exigências dietéticas de Se sejam melhor estimadas.

Zinco

As funções do zinco no organismo estão principalmente relacionadas à ação enzimática, seja por compor a forma ativa ou por atuar na ativação da enzima em questão. Ainda, observa-se que o desenvolvimento e a funcionalidade do sistema imune é dependente de Zn. Alguns pesquisadores (Delezenne, 1919; Bodansky, 1920; Weitzel et al., 1954) relataram que as concentrações de Zn em plantas e animais são frequentemente comparáveis às de Fe e que são geralmente maiores que os outros microminerais (Hambidge et al., 1986). O NRC (2000) utilizou a média de três estudos (Miller et al., 1966; Hansard et al., 1968; Schwarz e Kirchgessner, 1975) para estimar as perdas endógenas, ou seja, as exigências líquidas de Zn para mantença, que foram de 12 µg/kg PC. Weigand e Kirchgessner (1982) estimaram as exigências líquidas de Zn para mantença em vacas lactantes como sendo 53 µg/ kg PC. Além disso, o ARC (1980) e o NRC (2001) estimaram as exigências líquidas de Zn para mantença como 55 µg/kg PC, enquanto o CSIRO (2007) recomendou o valor de 45 µg/kg PC. Entretanto, os experimentos realizados em condições tropicais e, portanto, adotados como banco de dados do BR-CORTE sugerem que este valor é superior aos recomendados anteriormente para as exigências líquidas de Zn para mantença, estimando a exigência em 334,4 µg/kg PC (Figura 10.11).

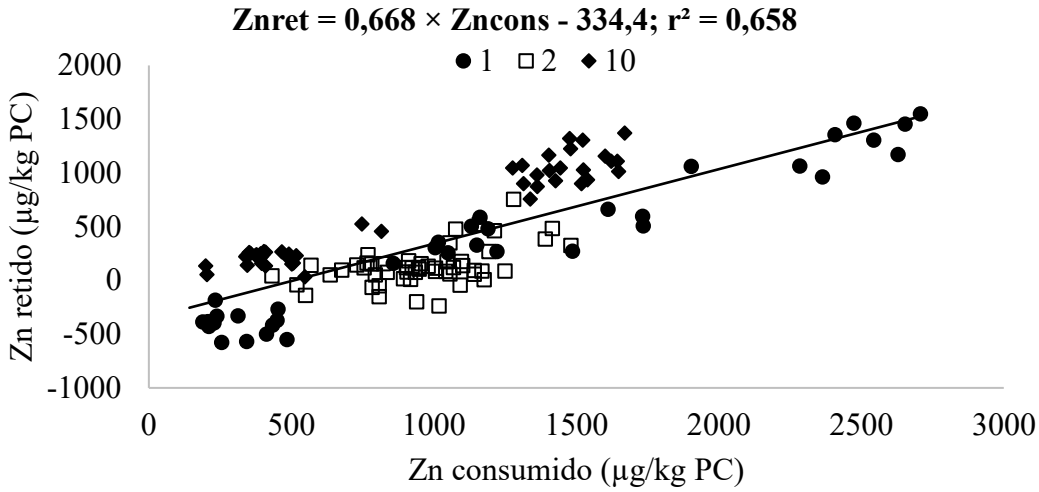


Figura 10.11 - Relação entre Zn retido (Znret) e Zn consumido (Zncons) em bovinos de corte. Dados de Costa e Silva et al. (2015a – 1 e 2) e Zanetti et al. (2017 – 10).

O ARC (1980) sugeriu dois coeficientes de absorção para Zn, sendo 30% para animais ruminantes jovens e 20% para animais à maturidade. Já o CSIRO (2007) adotou o coeficiente de absorção verdadeira de 60% para bezerros pré-ruminantes e 40% para animais mais velhos com o rúmen funcional (SCA, 1990). Contudo, foi observado um coeficiente de retenção de 66,8% (Figura 10.11). Neste contexto, Miller e Cragle (1965) sugeriram que a absorção de Zn ocorre principalmente no abomaso e intestino delgado. Porém, Sathler (2015) observou que, em dietas contendo suplementação de microminerais, o principal local de absorção de Zn foi o rúmen (em torno de 43,7% do que foi ingerido), enquanto que em dietas sem a suplementação de microminerais, o principal local de absorção foi o intestino grosso sendo, em média, 27% do Zn ingerido absorvido. Além disso, alguns trabalhos (Mills et al., 1967; Perry et al., 1968) demonstraram que a absorção de Zn é reduzida, quando Ca é incluído na dieta. Porém, Sathler (2015) avaliou que independente da presença do Ca na dieta, não houve diferença quanto à absorção de Zn.

Quanto às exigências líquidas para ganho de peso, Costa e Silva et al. (2015a) recomendaram a seguinte equação:

$$ExLiGZn = GPCVZ \times (1{,}16 \times PCVZ^{0{,}86}),$$

em que GPCVZ é o ganho diário de peso de corpo vazio (kg/dia) e PCVZ é o peso de corpo vazio (kg). O ARC (1980) sugeriu que de 16 a 31 mg Zn/kg PC podem ser incorporados nos tecidos corporais para cada quilograma de ganho de PC.

O NRC (2000) considera as exigências dietéticas de Zn como sendo 30 mg/kg CMS, enquanto o CSIRO (2007) recomenda 11,6 mg/kg CMS. No entanto, as recomendações do NRC (2000) foram baseadas em dois estudos (Perry et al., 1968; Pond e Otjen, 1988) que avaliaram a resposta do crescimento à suplementação de Zn, em que a concentração de Zn na dieta basal era desconhecida. No entanto, no estudo de Costa e Silva et al. (2015a), as exigências dietéticas de Zn em bovinos Nelore foram de 61 mg/kg CMS e esses autores consideraram a composição de Zn na dieta basal.

Cobalto

O Co é o precursor da vitamina B_{12}, e está, portanto, relacionado com o metabolismo energético, porém a quantidade de Co dietético convertido em vitamina B_{12} varia de 3 a 13% do Co consumido (Smith, 1987). Além disso, alguns estudos (Monroe et al., 1952; Looney et al., 1976) verificaram que de 84 a 98% do Co fornecido na dieta foi encontrado nas fezes em torno de 5 a 14 dias após o consumo. Nessa edição do BR-CORTE, o valor de 86,8% foi estimado como o coeficiente de retenção verdadeiro (Figura 10.12), mostrando que apenas 13,2% do ingerido foi excretado via fezes e urina. Além disso, as exigências líquidas de Co para mantença em bovinos Nelore foram estimadas em 13,5 µg/kg PC (Figura 10.12).

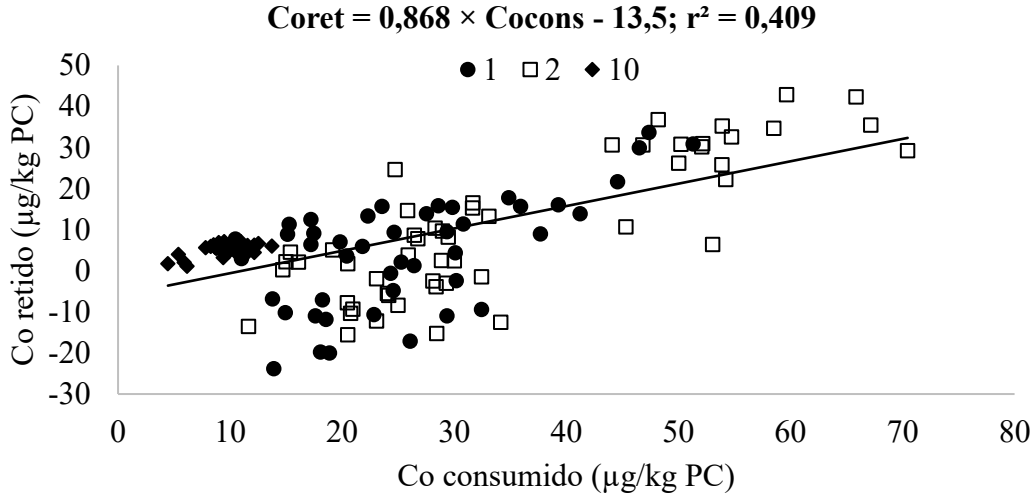


Figura 10.12 - Relação entre Co retido (Coret) e Co consumido (Cocons) em bovinos de corte. Dados de Costa e Silva et al. (2015a – 1 e 2) e Zanetti et al. (2017 – 10).

Quanto às exigências líquidas de Co para ganho de peso (ExLiGCo), a equação sugerida por Zanetti et al. (2017) foi utilizada para estimar ExLiGCo:

$$ExLiGCo = GPCVZ \times (0{,}045 \times PCVZ^{-0{,}023})$$

em que GPCVZ é o ganho diário de peso de corpo vazio (kg/dia) e PCVZ é o peso de corpo vazio (kg). Percebe-se que as ExLiGCo reduzem em relação ao aumento do PCVZ dos animais, mas a uma taxa praticamente constante.

Smith (1987) sugeriu que as exigências dietéticas de Co deveriam ser de 0,11 mg/kg CMS, sendo esse valor o adotado pelo NRC (2000) e NRC (2001). Contudo, esse autor não considerou o coeficiente de absorção e a composição de Co nos alimentos. Assim, nessa edição do BR-CORTE, as exigências dietéticas de Co foram estimadas em média de 0,63 mg/kg CMS, considerando o coeficiente de retenção e a composição de Co nos alimentos.

Cromo

Até o BR-CORTE (2010), nenhuma recomendação a respeito das exigências líquidas de Cr para mantença e o coeficiente de retenção foram sugeridos. No entanto, Costa e Silva et al. (2015a) estimaram as exigências líquidas de Cr para mantença e o coeficiente de retenção como sendo 22,9 µg/kg PC e 78,4%, respectivamente (Figura 10.13).

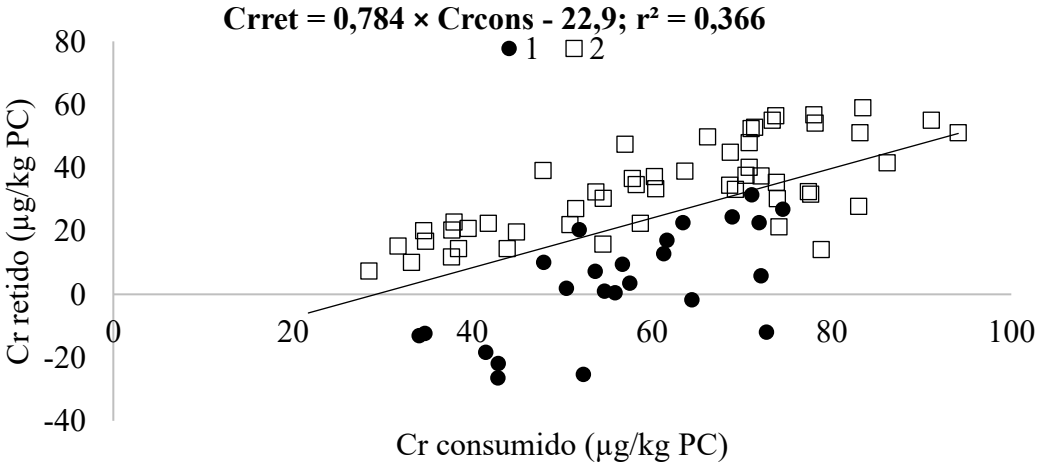


Figura 10.13 - Relação entre Cr retido (Crret) e Cr consumido (Crcons) em bovinos de corte. Dados de Costa e Silva et al. (2015a – 1 e 2) e Zanetti et al. (2017 – 10).

Além disso, Costa e Silva et al. (2015a) estimaram as exigências líquidas de Cr para ganho de peso e sugeriram a seguinte equação:

$$ExLiGCr = GPCVZ \times (0{,}23 \times PCVZ^{0{,}61}),$$

em que GPCVZ é o ganho diário de peso de corpo vazio (kg/dia) e PCVZ é o peso de corpo vazio (kg).

Bernhard et al. (2012) avaliaram os efeitos da suplementação de Cr no desempenho de novilhos e observaram diferença no GMD de novilhos sem suplementação em relação aos que receberam 0,3 mg/kg CMS. Além disso, alguns estudos (Butting et al., 1994; Kegley e Spears, 1995) avaliaram a suplementação de Cr em bezerros e sugeriram que a adição de 0,4 mg/kg CMS de Cr aumenta a taxa de depuração de glicose. Com isso, o NRC (2000) adotou a recomendação de 0,4 mg/kg CMS como as exigências dietéticas de Cr para bovinos de corte. Contudo, Costa e Silva et al. (2015a) estimaram 2,53 mg/kg CMS, valor acima do recomendado na literatura. Todavia, as recomendações do NRC (2000) foram baseadas na suplementação de Cr desconsiderando o quanto a dieta basal fornecia deste mineral aos animais.

Molibdênio

O Mo é um componente essencial das enzimas xantina oxidase, sulfito oxidase e aldeído oxidase (Mills e Davis, 1987). Alguns autores têm relacionado o fornecimento de molibdênio com a melhora da atividade microbiana ou pelo aumento da digestão da celulose (Ellis et al., 1958) ou pelo aumento da taxa de desaparecimento da MS do rumen (Shariff et al., 1990). Além disso, o Mo está relacionado com a síntese intraruminal de tio- ou oxitiomolibdatos e suas subsequentes reações com o Cu podem ser responsáveis para os efeitos inibitórios das fontes dietéticas de Mo e S sobre a utilização de Cu pelos ruminantes. Contudo, estudos avaliando a obtenção direta ou indireta de evidências para a formação de tio- ou oxitiomolibdatos em conteúdos ruminais de bovinos ainda são desconhecidos. Assim, existe a necessidade de verificar a influência de mudanças no fornecimento de Cu dietético na presença de tiomolibdatos solúveis no líquido ruminal e na concentração e distribuição de Cu e Mo no plasma sanguíneo. O NRC (2000) não estabelece as exigências dietéticas de Mo, devido ao fato de deficiências não serem comumente observadas. Zanetti et al. (2017) estabeleceram as perdas endógenas e o coeficiente de retenção para Mo em 3,27 µg/kg PC e 49,7%, respectivamente (Figura 10.14).

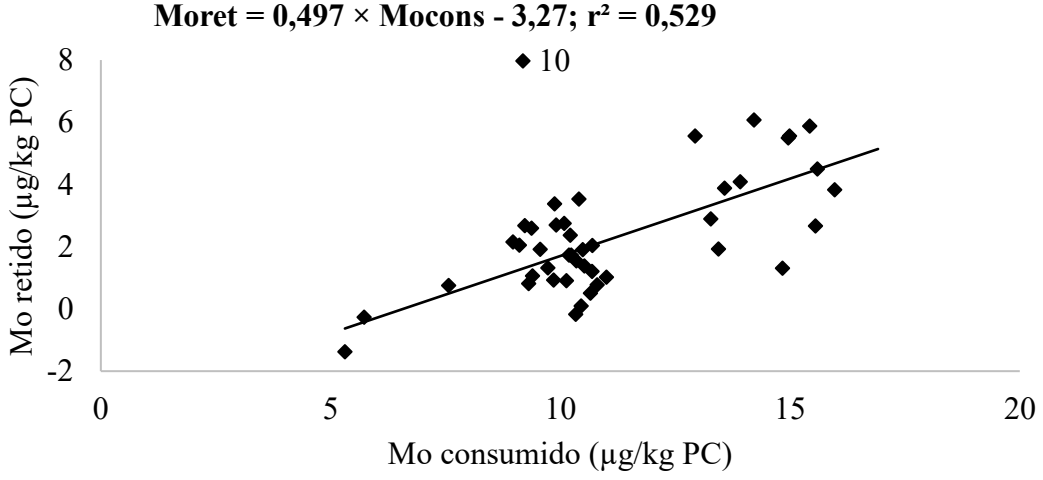


Figura 10.14 - Relação entre Mo retido (Moret) e Mo consumido (Mocons) em bovinos de corte. Dados de Zanetti et al. (2017 – 10).

Além disso, esse autor estimou as exigências líquidas de Mo para ganho de peso e sugeriram a seguinte equação:

$$ExLiGMo = GPCVZ \times (0{,}0035 \times PCVZ^{0{,}4063}),$$

em que GPCVZ é o ganho de peso de corpo vazio (kg/dia) e PCVZ é o peso de corpo vazio (kg).

Iodo

O I é um importante componente dos hormônios da tireoide (tiroxina, T3 e triiodotironina, T4) que são responsáveis pela regulação da taxa de metabolismo da energia no corpo. O I é majoritariamente absorvido na forma de iodeto (entre 70 a 80%) no rúmen, apresentando considerável secreção no abomaso (Miller et al., 1988). Contudo, o I secretado no abomaso é altamente reabsorvido nos intestinos delgado e grosso (NRC, 2000).

Assim como o cloro, as exigências dietéticas de I ainda não estão definidas, sendo que o NRC (2000) sugeriu que o fornecimento de 0,5 mg/kg MS possa ser adequado. Conforme para o ARC (1980), as exigências dietéticas de I podem ser estimadas pela medição das taxas de secreção dos hormônios na tireoide. No entanto, como não existem trabalhos desenvolvidos no Brasil sobre este mineral, sugere-se que as recomendações apresentadas pelo NRC (2000) de 0,5 mg/kg MS sejam seguidas.

TOXICIDADE

Alguns elementos inorgânicos fornecidos em elevadas quantidades podem causar uma série de danos aos bovinos. Para a formulação de rações, recomenda-se que níveis máximos de elementos minerais na dieta sejam fixados como 120% das exigências, de forma a garantir um equilíbrio de minerais na dieta, não prejudicar a absorção e utilização dos mesmos e evitar perdas desnecessárias. Porém, em condições práticas, nem sempre é possível este equilíbrio. Dessa forma, os valores tóxicos de elementos minerais obtidos da literatura são apresentados na Tabela 10.13.

Tabela 10.13 - Níveis tóxicos de minerais para bovinos de corte

Macrominerais	Níveis tóxicos	Microminerais	Níveis tóxicos
Cálcio[1]	44 g/kg de MS	Cobre[4]	40 mg/kg de MS
Potássio[4]	20 g/kg de MS	Manganês[2]	1000 mg/kg de MS
Magnésio[1]	4 g/kg de MS	Selênio[3]	5 mg/kg de MS
Sódio[1]	65 g/kg de MS	Zinco[3]	500 mg/kg de MS
Enxofre[1]	4 g/kg de MS	Cobalto[4]	25 mg/kg de PC
		Cromo[2]	50 mg/kg de MS
		Flúor[3]	30 mg/kg de MS
		Iodo[2]	50 mg/kg de MS
		Molibdênio[3]	6 mg/kg de MS
		Vanádio[2]	30 mg/kg de MS

[1]NRC (2000); [2]McDonald et al. (2002); [3]McDowell (1992); [4]NASEM (2016).

TABELAS DAS EXIGÊNCIAS DE MINERAIS PARA BOVINOS DE CORTE

A partir da estimativa das exigências líquidas dos minerais para mantença e ganho de peso de bovinos de corte e dos coeficientes de retenção (Tabela 10.14), as exigências dietéticas dos minerais foram calculadas. As recomendações para as exigências dietéticas desses minerais são descritas a seguir.

Tabela 10.14 - Resumo das recomendações para o cálculo das exigências líquidas de macro e microminerais para bovinos de corte

Mineral	Exigências líquidas para mantença	Coeficiente de retenção	Exigências líquidas para ganho (ExLiG)[1]	PCVZ no *plateau*
	mg/kg peso corporal	%	g/dia	kg
Ca	11,7	56,8	Zebuíno: ExLiGCa = GPCVZ × (147 × $PCVZ^{-0,50}$)	462
			Cruzado: ExLiGCa = GPCVZ × (66,0 × $PCVZ^{-0,32}$)	453
P	13,5	67,8	Zebuíno: ExLiGP = GPCVZ × (38,6 × $PCVZ^{-0,36}$)	445
			Cruzado: ExLiGP = GPCVZ × (25,4 × $PCVZ^{-0,25}$)	479
Mg	5,9	35,5	Zebuíno: ExLiGMg = GPCVZ × (0,3466 × $PCVZ^{0,0113}$)	-
			Cruzado: ExLiGMg = GPCVZ × (1,0597 × $PCVZ^{-0,2386}$)	-
Na	6,3	37,1	Zebuíno: ExLiGNa = GPCVZ × (5,594 × $PCVZ^{-0,2998}$)	-
			Cruzado: ExLiGNa = GPCVZ × (1,977 × $PCVZ^{-0,058}$)	-
K	23,5	48,4	Zebuíno: ExLiGK = GPCVZ × (0,9463 × $PCVZ^{0,1216}$)	-
			Cruzado: ExLiGK = GPCVZ × (0,3418 × $PCVZ^{0,3200}$)	-
S	10,4	77,3	ExLiGS = GPCVZ × (0,03 × $PCVZ^{0,8900}$)	-
Mineral	µg/kg peso corporal	%	mg/dia	
Cu	95,6	73,5	ExLiGCu = GPCVZ × (1,25 × $PCVZ^{0,33}$)	-
Co	13,5	86,8	ExLiGCo = GPCVZ × (0,045 × $PCVZ^{-0,023}$)	-
Cr	22,9	78,4	ExLiGCr = GPCVZ × (0,23 × $PCVZ^{0,61}$)	-
Fe	2942	73,4	ExLiGFe = GPCVZ × (10,4 × $PCVZ^{0,24}$)	-
Mn	184,9	43,9	ExLiGMn = GPCVZ × (0,07 × $PCVZ^{0,80}$)	-
Mo	3,27	49,7	ExLiGMo = GPCVZ × (0,0035 × $PCVZ^{0,41}$)	-
Se	3,72	48,7	ExLiGSe = GPCVZ × (1,07 × $PCVZ^{-0,07}$)	-
Zn	334,4	66,8	ExLiGZn = GPCVZ × (1,16 × $PCVZ^{0,86}$)	-

[1]GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia); PCVZ = peso de corpo vazio (kg).

Dessa forma, considerando um bovino Nelore não castrado de 400 kg de PC com GMD de 1,00 kg/dia, as exigências dietéticas dos macrominerais e microminerais podem ser calculadas:

$PCJ = 0,8915 \times PC^{1,0151} = 0,8915 \times 400^{1,0151} = 390,4$ kg

$PCVZ = 0,8126 \times PCJ^{1,0134} = 0,8126 \times 390,4^{1,0134} = 344$ kg

$GPCVZ = 0,963 \times GMD^{1,0151} = 0,963 \times 1,0^{1,0151} = 0,963$ kg

• Cálcio:

Mantença: 11,7 × PC = 11,7 × 400 = 4680 mg = 4,68 g/dia

Ganho: GPCVZ × (147 × $PCVZ^{-0,50}$) = 0,963 × (147 × $344^{-0,50}$) = 7,63 g/dia

Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 4,68 + 7,63 = 12,31 g/dia

Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 12,31/0,568 = 21,67 g/dia

• Fósforo:

Mantença: 13,5 × PC = 13,5 × 400 = 5400 mg = 5,40 g/dia

Ganho: GPCVZ × (38,6 × $PCVZ^{-0,36}$) = 0,963 × (38,6 × $344^{-0,36}$) = 4,54 g/dia

Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 5,40 + 4,54 = 9,94 g/dia

Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 9,94/0,678 = 14,66 g/dia

Relação Ca/P =21,67/14,66 = 1,48

• Magnésio:

Mantença: 5,9 × PC = 5,9 × 400 = 2360 mg = 2,36 g/dia

Ganho: GPCVZ × (0,3466 × $PCVZ^{0,0113}$) = 0,963 × (0,3466 × $344^{0,0113}$) = 0,36 g/dia

Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 2,36 + 0,36 = 2,72 g/dia

Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 2,72/0,355 = 7,66 g/dia

• Sódio:

Mantença: 6,3 × PC = 6,3 × 400 = 2511 mg = 2,52 g/dia

Ganho: GPCVZ × (5,594 × $PCVZ^{-0,2998}$) = 0,963 × (5,594 × $344^{-0,2998}$) = 0,94 g/dia

Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 2,52 + 0,94 = 3,46 g/dia

Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 3,46/0,371 = 9,33 g/dia

• Potássio:

Mantença: 23,5 × PC = 23,5 × 400 = 9400 mg = 9,40 g/dia

Ganho: GPCVZ × (0,9463 × $PCVZ^{0,1216}$) = 0,963 × (0,9463 × $344^{0,1216}$) = 1,85 g/dia

Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 9,40 + 1,85 = 11,25 g/dia

Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 11,25/0,484 = 23,24 g/dia

• Enxofre:

Mantença: 10,4 × PC = 10,4 × 400 = 4160 mg = 4,16 g/dia

Ganho: GPCVZ × (0,03 × $PCVZ^{0,89}$) = 0,963 × (0,03 × $344^{0,89}$) = 5,23 g/dia

Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 4,16 + 5,23 = 9,39 g/dia

Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 9,39/0,773 = 12,19 g/dia

• Cobre:

Mantença: 95,6 × PC = 95,6 × 400 = 38240 µg = 38,24 mg/dia

Ganho: GPCVZ × (1,25 × $PCVZ^{0,33}$) = 0,963 × (1,25 × $344^{0,33}$) = 8,27 mg/dia

Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 38,24 + 8,27 = 46,51 mg/dia

Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 46,51/0,735 = 63,28 mg/dia

• Ferro:

Mantença: 2942 × PC = 2942 × 400 = 1176800 µg = 1177 mg/dia

Ganho: GPCVZ × (10,4 × $PCVZ^{0,24}$) = 0,963 × (10,4 × $344^{0,24}$) = 40,7 mg/dia

Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 1177 + 40,7 = 1218 mg/dia

Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 1218/0,734 = 1659 mg/dia

• Manganês:

Mantença: 184,9 × PC = 184,9 × 400 = 73960 µg = 73,96 mg/dia

Ganho: GPCVZ × (0,07 × $PCVZ^{0,80}$) = 0,963 × (0,07 × $344^{0,80}$) = 7,21 mg/dia

Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 73,96 + 7,21 = 81,17 mg/dia

Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 81,17/0,439 = 184,9 mg/dia

• Selênio:

Mantença: 3,72 × PC = 3,72 × 400 = 1488 µg = 1,49 mg/dia

Ganho: GPCVZ × (1,07 × $PCVZ^{-0,07}$) = 0,963 × (1,07 × $344^{-0,07}$) = 0,68 mg/dia

Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 1,49 + 0,68 = 2,17 mg/dia

Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 2,17/0,487 = 4,46 mg/dia

• Zinco:

Mantença: 334,4 × PC = 334,4 × 400 = 133760 µg = 133,8 mg/dia

Ganho: GPCVZ × (1,16 × $PCVZ^{0,86}$) = 0,963 × (1,16 × $344^{0,86}$) = 169,6 mg/dia

Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 133,8 + 169,6 = 303,4 mg/dia

Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 303,4/0,668 = 454,2 mg/dia

• Cobalto:

Mantença: 13,5 × PC = 13,5 × 400 = 5400 µg = 5,40 mg/dia

Ganho: GPCVZ × (0,045 × $PCVZ^{-0,023}$) = 0,963 × (0,045 × $344^{-0,023}$) = 0,038 mg/dia

Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 5,40 + 0,038 = 5,438 mg/dia

Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 5,438/0,868 = 6,26 mg/dia

• Cromo:

Mantença: 22,9 × PC = 22,9 × 400 = 9160 µg = 9,16 mg/dia

Ganho: GPCVZ × (0,23 × $PCVZ^{0,61}$) = 0,963 × (0,23 × $344^{0,61}$) = 7,81 mg/dia

Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 9,16 + 7,81 = 16,97 mg/dia

Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 16,97/0,784 = 21,65 mg/dia

• Molibdênio:

Mantença: 3,27 × PC = 3,27 × 400 = 1310 µg = 1,31 mg/dia

Ganho: GPCVZ × (0,0035 × $PCVZ^{0,4063}$) = 0,963 × (0,0035 × $344^{0,41}$) = 0,037 mg/dia

Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 1,31 + 0,037 = 1,347 mg/dia

Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 1,347/0,497 = 2,71 mg/dia

REFERÊNCIAS

Aitken, F.C. *Tech. Comm. Commonw. Bur. Nutr.* No 26. 1976.

AAFCO. *Publication Official of American Feed Control Officials* (Ed. PM Bachman). 237-238. 1998.

AAFCO. *Publication Official of American Feed Control Official*. Atlanta, 2000.

AFRC – Agricultural and Food Research Council. A reappraisal of the calcium and phosphorus requirements of sheep and cattle (Report 6). *Nutrition Abstracts and Reviews*, 61:573-612. 1991.

Amaral, P. M. 2012. *Desempenho e exigências nutricionais de bovinos mestiços Holandês x zebu alimentados com dietas contendo diferentes níveis de proteína*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 84p. 2012.

Anderson, R. C.; Carr, M. A.; Miller, R. K.; King, D. A.; Carstens, G. E.; Genovese, K. J.; Callaway, T. R.; Edrington, T. S.; Jung, Y. S.; Mcreynolds, J. L.; Hume, M. E.; Beier, R. C.; Elder, R. O.; Nisbet, D. J. Effects of experimental chlorate preparations as feed and water supplements on Escherichia coli colonization and contamination of beef cattle carcasses. *Food Microbiology* 22:439–447. 2005.

Araújo, G. G. L.; Coelho Da Silva, J. F.; Valadares Filho, S. C.; Campos O. F.; Signoretti, R. D.; Turco, S. H. N. Consumo e absorção aparente de macroelementos minerais, em bezerros alimentados com dietas contendo diferentes níveis de volumoso. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30:1824-1828. 2001.

Araújo, J. A.; Silva, J. H. V. S.; Amâncio, A. L. L.; Lima, C. B.; Oliveira, E. R. A. Fontes de minerais para poedeiras. *Acta Vet. Bras.*, 2:53-60, 2008.

ARC – Agricultural Research Council. 1965. *The Nutrient Requirements of Farm Livestock*. London, UK: Agricultural Research Council, 264p.

ARC – *Agricultural Research Council*. 3rd ed. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, UK, 351p. 1980.

Arthington, J. D.; Moriel, P.; Martins, P. G. M. A.; Lamb, G. C.; Havenga, L. J. Effects of trace mineral injections on measures of performance and trace mineral status of pre- and post-weaned beef calves. *Journal of Animal Science*. 92:2630-2640. 2014.

Backes, A. A. *Composição corporal e exigências de energia, proteína e macroelementos minerais para bovinos mestiços leiteiros e zebu, castrados, em fase de recria e engorda, em confinamento*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG. 2003.

Baruselli, M. S. Minerais orgânicos: o que são, como funcionam e vantagens do seu uso em ruminantes. In: Simpósio Internacional de Patologia Clínica Veterinária, 2., 2000, Campo Grande. *Anais*... Campo Grande: Associação Brasileira de Buiatria. 2000.

Behne, D., & Wolters, W. (1983). Distribution of selenium and glutathione peroxidase in the rat. *The Journal of nutrition*, 113(2), 456-461.

Bentley, O. G.; Phillips, P. H. The effects of low Mn rations upon dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 34:396–403. 1951.

Bernhard, B. C.; Burdick, N. C.; Roundsw, Rathmann, R. J.; Carroll, J. A.; Finck, D. N.; Jennings, M. A.; Young, T. R.; Johnson, B. J. Chromium supplementation alters the performance and health of feedlot cattle during the receiving period and enhances their metabolic response to a lipopolysaccharide challenge. *Journal of Animal Science*, 90:3879–3888. 2012.

Bernier, J. F., F. J. Fillion, and G. J. Brisson. 1984. Dietary tibers and supplemental iron in a milk replacer for veal calves. *Journal of Dairy Science* 67:2369-2379.

Blaney, J.; Gartner, J. W.; Head, T. A. The effects of oxalate in tropical grasses on calcium, phosphorus and magnesium availability to cattle. *Journal of Agricultural Science*, 99:533-539. 1982.

Bodansky M. Biochemical studies on marine organisms. II. The occurrence of zinc. *The Journal of Biological Chemistry*, 44:399–407. 1920.

Boin, C. Exigências de minerais pelas categorias do rebanho bovino e funções desses nutrientes. In: Peixoto, A. M. (Ed). *Nutrição de bovinos: conceitos básicos e aplicados*. Piracicaba: FEALQ, p.407-450. 1993.

Bouchard, R.; Conrad, H. R. Sulfur requirement of lactating dairy cows. I. Sulfur balance and dietary supplementation. *Journal of Dairy Science*, 56:1276–1282. 1973.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F., Gionbelli, M. P., Rotta, P. P., Marcondes, M. I., Chizzotti, M. L. *Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle – BR-CORTE*, 3 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2016.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. *Nutrient Requirements of Zebu and crossbred cattle – BR-CORTE*, 2 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2010.

Bremner, I., and A. C. Dalgarno. 1973. Iron metabolism in the veal calf. 2. Iron requirements and the effect of copper supplementation. *British Journal of Nutrition* 30:61-76.

Butting, L. D.; Fernandes, J. M.; Thompson, D. L.; Southern, L. L. Influence of chromium picolinate on glucose usage and metabolic criteria in growing Holstein calves. *Journal of Animal Science*, 72:1591–1599. 1994.

Call, J. W.; Butcher, J. E.; Blake, J. T.; Smart, R. A.; Shupe, J. L. Phosphorus influence on growth and reproduction of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 47:216-225. 1978.

Callaway, T. R.; Anderson, R. C.; Genovese, K. J.; Poole, T. L.; Anderson, T. J.; J. Byrd, A.; Kubena, L. F.; Nisbet. D. J. Sodium chlorate supplementation reduces E. coli O157:H7 populations in cattle. *Journal of Animal Science*, 80:1683–1689. 2002.

Campos, J. (1980) *Tabelas para cálculos de rações*. Viçosa, UFV, 60p.

Cheeke, P. R. *Applied animal nutrition: feeds and feeding*. 3.ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education Inc., 604 p. 2005.

Chizzotti, M. L. *Exigências nutriticionais de animais Nelore, puros e cruzados, de diferentes classes*. 2007. Tese (Doutorado em Zootecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 101 p. 2007.

Chizzotti, M. L.; Valadares Filho, S. C.; Tedeschi, L. O.; Paulino, P. V. R.; Paulino, M. F.; Valadares, R. F. D.; Amaral, P.; Benedeti, P. D. B.; Rodrigues, T. I.; Fonseca, M. L. Net requirements of calcium, magnesium, sodium, phosphorus, and potassium for growth of Nellore × Red Angus bulls, steers, and heifers. *Livestock Sience*, 124:242-247. 2009.

Coelho da Silva, J. F.; Valadares Filho, S. C.; Leao, M. I.; Castro, A. C. G.; Costa, W. P. Efeito da monensina sódica e da uréia sobre o consumo, parâmetros ruminais, digestibilidade aparente e balanço nutricional em bovinos. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 20:454-470. 1991.

Coelho da Silva, J. F. Inorganic macronutrient requirements in cattle: The ARC/AFRC system and the Brazilian experience. In: *Proceedings of International Symposium on the Nutritional Requirements of Ruminants*, 1995, Viçosa, Brazil. Anais. Viçosa, Brazil: JARD. 311-345. 1995.

Costa e Silva, L. F.; Valadares Filho, S. C.; Engle, T. E.; Rotta, P. P.; Marcondes, M. I.; Silva, F. A. S.; Martins, E. C.; Tokunaga, A. T. Macromineral and trace element requirements for beef cattle. *PLoS ONE* 10(12): e0144464. 2015a.

Costa e Silva, L. F.; Engle, T. E.; Valadares Filho, S. C.; Rotta, P. P.; Valadares, R. F. D.; Silva, B. C.; Pacheco, M. V. C. Intake, apparent digestibility, and nutrient requirements for growing Nellore heifers and steers fed two levels of calcium and phosphorus. *Livestock Science*, 181:17–24. 2015b.

CSIRO – Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. CSIRO Publications: Collingwood, AU, 270 p. 2007.

Delezenne C. Le zinc constituant cellulaire de l'organisme animal = sa présence et son rôle dans le venin des serpents. *Ann Inst Pasteur* 33:68. 1919.

Dick, A. T. Studies on the assimilation and storage of copper in crossbred sheep. *Australian Journal of Agricultural Research*, 5:511. 1954.

Dicostanzo, A.; Meiske, J. C.; Plegge, S. D.; Haggard, D. L.; Chaloner, K. M. Influence of manganese, copper, and zinc on reproductive performance of beef cows. *Nutrition Reports International*, 34:287-293. 1986.

Dowe, T. W.; Matsushima, J.; Arthaud, V. H. The effects of adequate and excessive calcium when fed with adequate phosphorus in growing rations for beef calves. *Journal of Animal Science*,16:811– 820. 1957.

Ellis, W. C.; Pfander, W. H.; Muhrer, M. E.; Pickett, E. E. Molybdenum as a dietary essential for lambs. *Journal of Animal Science*, 17:180-188. 1958.

Erickson, G. E.; Klopfenstein, T. J.; Milton, C. T.; Hanson, D.; Calkins, C. Effect of dietary phosphorus on finishing steer performance, bone status, and carcass maturity. *Journal of Animal Science*, 77:2832-2836. 1999.

Erickson, G. E.; Klopfenstein, T. J.; Milton, C. T.; Brink, D.; Orth, M. W.; Whittet, K. M. Phosphorus requirement of finishing feedlot calves. *Journal of Animal Science*, 80:1690-1695. 2002.

Ezequiel, J. M. B. *Exigências de proteína e minerais de bovídeos: frações endógenas*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 131p. 1987.

Field, A. C. A review of requirements of dairy and beef cattle for major elements. *Livestock Production Science*, 10:327-338. 1983a.

Field, A. C. Maintenance requirements of phosphorus and absorbability of dietary phosphorus in sheep. *Journal of Agricultural Science*, 100:231-233. 1983b.

Fontes, C. A. A. Body composition, net requirements of protein, energy and minerals for weight gain and productive performance of Zebu and crossbred European-Zebu cattle. Experimental results. In: Proceedings of International Symposium on the Nutritional Requirements of Ruminants, Viçosa, MG, Brazil. *Anais...* Viçosa, MG, Brazil: JARD, 265-299. 1995.

Genther, O. N.; Hansen, S. L. Effect of dietary trace mineral supplementation and a multi-element trace mineral injection on shipping response and growth performance of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 92:2522-2530. 2014.

Gionbelli, M. P. *Desempenho produtivo e exigências nutricionais de fêmeas Nelore em crescimento*. 2010. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG. 101p. 2010.

Hambidge, K. M.; Casey, C. E.; Krebs, N. F. Zinc. *Trace elements in human and animal nutrition*. Academic Press: San Diego, CA, USA. 1–137. 1986.

Hansard, S. L.; Comar, C. L.; Plumlee, M. P. The effects of age upon calcium utilization and maintenance requirements in the bovine. *Journal of Animal Science*, 13:25-26. 1954.

Hansard, S. L.; Crowder, H. M.; Lyke, W. A. The Biological Availability of Calcium in Feeds for Cattle. *Journal of Animal Science*, 16:437-443. 1957.

Hansard, S. L.; Plumlee, M. P. Effects of Dietary Calcium and Phosphorus Levels upon the Physiological Behavior of Calcium and Phosphorus in the Rat. *Journal of Nutrition*, 54:17-31. 1954.

Hansard, S. L.; Mohammed, A. S.; Turner, J. W. Gestation age effects upon maternal-fetal zinc utilization in the bovine. *Journal of Animal Science*, 27:1097–1102. 1968.

Hartmans, J. Tracing and treating mineral disorders in cattle under field conditions. *Trace Element Metabolism in Animals*. University Park Press: Baltimore, MD, USA, 261–273. 1974.

Hidiroglou, M.; Proulx, J.; Jolette, J. Intraruminal selenium pellet for control of nutritional muxcular dystrophy in cattle. *Journal of Dairy Science*, 68:57-66. 1985.

Hurley, L. S.; Keen, C. L. *Manganese*. *Trace elements in human and animal nutrition.* Academic Press: New York, NY, USA. 185–223. 1987.

Kegley, E. B.; Spears, J. W. Immune response, glucose metabolism, and performance of stressed feeder calves fed inorganic or organic chromium. *Journal of Animal Science*, 73:2721–2726. 1995.

Kirchgessner, M.; Weser, U. Complex-stability and copper absorption. 4. On the dynamics of copper absorption. *Z. Tierphysiol Tiererenahr Futtermittelkd*. 20:44-49. 1965.

Lalman, D. L. Vitamin and mineral nutrition of grazing cattle. In: Doye, D.; Lalman, D. L. (Ed). *Beef cattle manual*. 5.ed. Stillwater, OK: Oklahoma State University, 109-121. 2005.

Leonel, F. P. *Exigências nutricionais em macronutrientes minerais (Ca, P, Mg, Na e K) para novilhos de diferentes grupos zootécnicos*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG. 2003.

Looney, J. W.; Gille, G.; Preston, R. L.; Graham, E. R.; Pfander, W. H. Effects of plant species and cobalt intake upon cobalt utilization and ration digestibility by sheep. *Journal of Animal Science*, 42:693–698. 1976.

Marcondes, M. I. *Desempenho de bovinos Nelore alimentados individualmente ou em grupo, exigências nutricionais e avaliação protéica de alimentos para ruminantes*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 136 p. 2007.

Marcondes, M. I. *Exigências nutricionais e predição da composição corporal de bovinos Nelore puros e cruzados*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG. 2010.

Marcondes, M. I.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Valadares, R. F. D.; Paulino, M. F.; Nascimento, F. B.; Fonseca, M. A. Exigências nutricionais de proteína, energia e macrominerais de bovinos Nelore de três classes sexuais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:1587-1596. 2009.

Marshall, B.; Long, M. I. E. Calcium intake and excretion of zebu cattle used for digestibility trials. *East African Agricultural and Foresty Journal*, 37:46-48. 1971.

Martins, R. G. R. *Exigências de energia, proteína e macroelementos minerais (Ca, P, Mg, Na e K) de bovinos Nelore e mestiços, não castrados, em confinamento*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG. 2003.

McDonald, P. M.; Edwards, R. A.; Greenhalgh, J. F. D. *Animal Nutrition*. 6th edition. Longman, London and New York, 543 p. 2002.

McDowell, L. R. (1992). *Minerals in animal and human nutrition.* Academic Press Inc..

Miller, J. K.; Cragle, R. G. Gastrointestinal sites of absorption and endogenous secretion of zinc in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 48:370–373. 1965.

Miller, J. K.; Ramsey, N.; Madsen, F. C. The trace elements. Pp. 343-401 in *The Ruminant Animal-Digestive Physiology and Nutrition*, Church, D.C., ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. 1988.

Mills, C. F.; Dalgarno, A. C.; Williams, R. B.; Quarterman, J. Zinc deficiency and zinc requirements of calves and lambs. *British Journal of Nutrition*, 21:751-768. 1967.

Mills, C. F.; Davis, G. K. Molybdenum. Pp. 429-463 in *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*. Vol.1. W. Mertz, ed. New York: Academic. 1987.

Monroe, R. A.; Sauberlick, H. E.; Comar, C. L.; Hood, S. L. Vitamin B12 biosynthesis after oral and intravenous administration of inorganic Co6o to sheep. *Proceedings of the society for experimental biology and medicine*. New York, NY, USA, pp. 250. 1952.

Moraes, E. H. B. K. *Desempenho e exigência de energia, proteína e minerais de bovinos de corte em pastejo, submetidos a diferentes estratégias de suplementação*. Tese (Doutor em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 136p. 2006.

Morris, J. G. Assessment of sodium requirements of grazing beef cattle: a review. *Journal of Animal Science*, 50:145-152. 1980.

Morris, J. G.; Cripe, W. S.; Chapman Jr., H. L.; Walker, D. F.; Armstrong, J. B.; Alexander Jr., J. D.; Miranda, R.; Sanchez Jr., A.; Sanchez, B.; Blair-West, J. R.; Denton, D. A. Selenium deficiency in cattle associated with heinz bodies and anemia. *Science*, 223:491-493. 1984.

Mottin, C.; Prado, I. N.; Chefer, D. M.; Eiras, C. E.; Rivaroli, D. C. Suplementação com minerais quelatados em bovinos: uma revisão. *Revista Campo Digital*, 8:59-70. 2013.

Mullis, L. A.; Spears, J. W.; McCraw, R. L. Estimated copper requirements of Angus and Simmental heifers. *Journal of Animal Science,* 81:865–873. 2003.

NASEM. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016. *Nutrient requirements of beef cattle*. 8th revised edition. National Academy Press, Washington DC, USA.

NRC – National Research Council. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 6th.ed. Washington, DC: National Academy Press. 90 p. 1984.

NRC – National Research Council. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th.ed. Washington, DC: National Academy Press, 242 p. 2000.

NRC – National Research Council. *Nutrient requirements of dairy cattle*. Washington, DC, USA: National Academy Press, 362 p. 2001.

Paixão, M. L. *Desempenho produtivo e exigências nutricionais de bovinos de corte em pastagens de brachiaria decumbens, com suplementação protéica*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG. 2008.

Paulino, M. F. *Composição corporal e exigências de energia, proteína e macroelementos minerais (Ca, P, Mg, Na e K) de bovinos não-castrados de quatro raças zebuínas em confinamento.* 1996. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG. 80p. 1996.

Paulino, P. V. R. *Exigências nutricionais e validação da seção hh para predição da composição corporal de zebuínos*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG. 2002.

Peeler, H. T. Biological availability of nutrients in feeds: availability of major mineral ions. *Journal of Animal Science*, 35:695-712. 1972.

Perry, T. W.; Beeson, W. M.; Smith, W. H.; Mohler, M. T. Value of zinc supplementation of natural rations for fattening beef cattle. *Journal of Animal Science*, 27:1674–1677. 1968.

Pond, W. G.; Otjen, R. R. Response of large and medium frame beef steers to protein and zinc supplementation of a corn silage-corn finishing diet. *Nutrition Reports International,* 38:737–743. 1988.

Prados, L. F. *Desempenho e exigências nutricionais de bovinos alimentados com dietas contendo diferentes níveis de cálcio e fósforo*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG, 96p, 2012.

Prados, L. F.; Valadares Filho, S. C.; Santos, S. A.; Zanetti, D.; Nunes, A. N.; Costa, D. R.; Mariz, L. D. S.; Detmann, E.; Amaral, P. M.; Rodrigues, F. C.; Valadares, R. F. D. Reducing calcium and phosphorus in crossbred beef cattle diets: impacts on productive performance during the growing and finishing phase. *Animal Production Science*. 56:1643-1649. 2015.

Prados, L. F. *Reduction of minerals in feedlot diets of Nellore cattle: impacts on intake, performance, and liver and bone status and nutrient requirements; and prediction of chemical rib section composition by dual energy x-ray absorptiometry in Zebu cattle*. 95 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2016.

Rodrigues, F. C. *Turnover protéico, avaliação e predição da composição química da carcaça e do corpo vazio de bovinos ¾ Zebu x ¼ Holandês*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG, 44 p, 2014.

Rojas, M. A.; Dryer, I. A.; Cassatt, W. A. Manganese deficiency in the bovine. *Journal of Animal Science*, 24:664-667. 1965.

Rosado, M. *Efeito do complexo ácido graxo-cálcio sobre a digestibilidade aparente, alguns parâmetros ruminais e taxa de passagem em vacas lactantes*. 1991. 96 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Vicosa, Vicosa. 1991.

Rutz, F., & Murphy, R. (2009). *Minerais orgânicos para aves e suínos. In congresso internacional sobre uso da levedura na alimentação animal* (Vol. 1, pp. 21-36).

Sales, M. F. L. *Desempenho e exigências nutricionais de novilhos zebuínos sob pastejo*. 2008. 128p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG. 2008.

Sansom, B. F.; Symonds, H. W.; Vagg, M. J. The absorption of dietary manganese by dairy cows. *Research of Veterinary Science*, 24:366–369. 1978.

Sathler, D. F. T. *Efeito da suplementação mineral sobre as digestibilidades total, ruminal e intestinal em zebuínos*. 55p. Dissertação (Mestrado em zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2015.

SCA. *Feeding standards for Australian livestock*. 1990. Ruminants. Report for the Standing Committee on Agriculture. CSIRO Publications: Melbourne, AU.

Schroeder, H. A.; Balassa, J. J.; Tipton, I. H. Essential trace metals in man: manganese. A study in homeostasis. *Journal Chronical Disease,* 19:545–571. 1966.

Schwarz, W. A.; Kirchgessner, M. Excretion of zinc in lactating cows receiving various supplies of zinc. *Arch Tierernähr*, 25:597–608. 1975.

Shariff, M. A.; Boila, R. J.; Wittenberg, K. M. Effect of dietary molybdenum on rumen disappearance in cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 70:319-323. 1990.

Silva, F. F. *Desempenho, características de carcaça, composição corporal e exigências nutricionais (de energia, proteína, aminoácidos e macrominerais) de novilhos Nelore, nas fases de recria e engorda, recebendo diferentes níveis de concentrado e proteína.* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 211 p, 2001.

Smart, M. E.; Gudmundson, J.; Christensen, D.A. Trace mineral deficiencies in cattle: A review. *Canadian Veterinary Journal*, 22:372–376, 1981.

Smith R. M. Cobalt. *Trace elements in human and animal nutrition.* Academic Press: New York, NY, USA, 185–223, 1987.

Smith, D. J.; Oliver, C. E.; Taylor, J. B.; Anderson, R. C. Efficacy, metabolism, and toxic responses to chlorate salts in food and laboratory animals. *Journal of Animal Science*, 90:4098–4117, 2012.

Spears, J. M.; Kegley, E. B. Effect of zinc source (zinc oxide vs. zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *Journal of Animal Science*, 80:2747-2752, 2002.

Spears, J. W.; Harvey, R. W.; Segerson, E. C. Effect of marginal selenium deficiency on growth, reproduction and selenium status of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 63:586-594, 1986.

Souza, E. J. 2010. *Desempenho e exigências nutricionais de fêmeas Nelore, F1 Nagus x Nelore e F1 Simental × Nelore em dietas contendo alto e baixo nível de concentrado*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2010.

St. Omer, V. V. E.; Roberts, W. K. Some effects of dietary potassium upon digestibility, serum electrolytes and utilization of potassium, sodium, nitrogen and water in heifers. *Canadian Journal of Animal Science*, 47:39–46, 1967.

Sullivan, J. F.; Blotcky, A. J.; Jetton, M. M.; Hahn, H. K.; Burch, R. E. Serum levels of selenium, calcium, copper, magnesium, manganese and zinc in various human diseases. *Journal of Nutrition*, 109:1432–1437, 1979.

Suttle, N. F. A technique for measuring the biological availability of copper to sheep, using hypocupraemic ewes. *British Journal of Nutrition*, 32:395–405, 1974.

Suttle, N. F. The interactions between copper, molybdenum and sulfur in ruminant nutrition. *Annual Review of Nutrition*, 11:121-140, 1991.

Suttle N. F. *Mineral nutrition of livestock*. 4th ed. CABI Publishing, Oxfordshire, UK. 579 p, 2010.

Thomas, J. W. Metabolism of iron and manganese. *Journal of Dairy Science*, 53:107–1123, 1970.

Valadares Filho, S. C.; Coelho Da Silva, J. F.; Leao, M. I. Absorções aparentes totais de parciais de sódio, potássio, magnésio, cobre e manganês em bovinos alimentados com ração purificada e semipurificada. In: *Reunião* Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, João Pessoa. *Anais*... João Pessoa: SBZ, 1991.

Valente, E. E. L. *Suplementação de bovinos de corte em pastejo com diferentes relações proteína: carboidrato da fase de amamentação ao abate*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG, 2012.

Vasconcelos, J. T.; Tedeschi, L. O.; Fox, D. G.; Galyean, M. L.; Greene, L. W. Review: Feeding nitrogen and phosphorus in beef cattle feedlot production to mitigate environmental impacts. *Professional Animal Scientist*, 23:8-17, 2007.

Van Bruwaene, R.; Gerber, G. B.; Kirchmann, R.; Colard, J.; Van Kerkom, J. Metabolism of ^{51}Cr, ^{54}Mn, ^{59}Fe, and ^{60}Co in lactating dairy cows. *Health Physiology*, 46:1069–1082, 1984.

Veloso, C. M. *Composição corporal e exigências nutricionais de bovinos F1 Limousin x Nelore alimentados com rações contendo diferentes níveis de concentrado*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG, 2001.

Véras, R. M. L. *Consumo, digestibilidades total e parcial, produção microbiana e exigências de proteína para mantença de bovinos Nelore*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2006.

Underwood, E. J. *The mineral nutrition of livestock.* London: Academic Press, 111 p, 1981.

Underwood, E. J.; Suttle, N. F. *The mineral nutrition of livestock*. 3.ed. London. UK: CABI Publishing, 614 p, 1999.

Ward, G. M. Potassium metabolism of domestic ruminants: A review. *Journal of Dairy Science*, 49:268–276, 1966.

Weigand, E.; Kirchgessner, M. Factorial estimation of the zinc requirement of lactating dairy cows. *Z Tierphysiol Tierernahr Futtermittelkd*, 47:1–9, 1982.

Weitzel, G.; Strecker, F.; Roester, U.; Buddecke, E.; Fretzdorff, A. Zink im Tapetum lucidum. *Hoppe–Seyler's Z Physiologische Chemie*, 296:19–30, 1954.

Wise, M. B.; Ordoreza, A.L.; Barrick, E. R. Influence of variations in dietary calcium:phosphorus ratio on performance and blood constituents of calves. *Journal of Nutrition*, 79:79–84, 1963.

Wilson, B. K.; Vazquez-Anon, M.; Step, D. L.; Moyer, K. D.; Haviland, C. L.; Maxwell, C. L.; O´Neill, C. F.; Gifford, C. A., Krehbiel, C. R.; Richards, C. J. Effect of copper, manganese, and zinc supplementation on the performance, clinical signs, and mineral status of calves following exposure to bovine viral diarrhea virus type 1b and subsequent Mannheimia haemolytica infection. *Journal of Animal Science*, 94:1123-1140, 2016.

Wright, P. L., & Bell, M. C. (1966). Comparative metabolism of selenium and tellurium in sheep and swine. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 211(1), 6-10.

Zanetti, D. *Exigências nutricionais, frequência de alimentação e níveis de cálcio e fósforo para bovinos Holandês x Zebu em confinamento*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 78 p, 2014.

Zanetti, D.; Godoi, L. A.; Estrada, M. M; Engle, T. E.; Silva, B. C.; Alhadas, H. M.; Chizzotti, M. L.; Prados, L. F.; Rennó, L. N.; Valadares Filho, S. C. Estimating mineral requirements of Nellore beef bulls fed with or without inorganic mineral supplementation and the influence on mineral balance. *Journal of Animal Science*, 95, 1696–1706, 2017.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-192-0.2023.C011.p.273-298

11

Exigências nutricionais para vacas de corte vazias e gestantes

Mateus Pies Gionbelli, Sebastião de Campos Valadares Filho, Márcio de Souza Duarte

INTRODUÇÃO

A única categoria na qual ainda não se dispunha até então de conhecimentos mínimos sobre requerimentos nutricionais de zebuínos é a de vacas em gestação. Embora seja clara a importância do conhecimento dos requerimentos nutricionais dessa categoria, até 2013 não eram observados na literatura mundial trabalhos envolvendo a quantificação das exigências nutricionais para mantença e gestação de vacas zebuínas. O primeiro trabalho delineado para avaliar as exigências nutricionais de vacas zebuínas adultas foi realizado no Brasil entre os anos de 2010 e 2013, cujos resultados formam a base desse capítulo.

Estima-se que o rebanho brasileiro de matrizes de corte, embora flutuante, tenha entre 65 a 70 milhões (Vasconcelos e Meneghetti, 2006) de um rebanho total de mais de 210 milhões de cabeças (IBGE, 2015). Ou seja, numericamente, cerca de 1/3 do rebanho nacional é composto por matrizes de corte, que são em sua grande maioria zebuínas. Como são animais adultos e estão permanentemente no sistema, o gasto energético no sistema produtivo e a área utilizada por essas vacas representam uma proporção bastante significativa do total usado para produção de carne bovina no Brasil. Diversas publicações já mencionaram que a energia gasta pelo rebanho de cria em bovinos de corte representa cerca de 70% do total de energia gasto no sistema (Ferrell e Jenkins, 1984a; Ritchie, 1995). Somente com a mantença de vacas adultas se gasta algo próximo de 50% da energia do sistema (Ferrell e Jenkins, 1984b).

Com base nisso, percebe-se a importância da definição de referências de níveis nutricionais para vacas de corte adultas. Com base nos atuais índices médios de produtividade de rebanhos de corte no Brasil (Baruselli et al., 2012; ABIEC, 2013; Jank et al., 2014; Chiavegato et al., 2015) estima-se que há um potencial de melhoria de 30 a 40% da eficiência de produção de bezerros de corte (Gionbelli et al., 2015c), considerando melhorias conjuntas em nutrição, reprodução e genética.

Outros sistemas de alimentação em uso no mundo (ARC, 1980; AFRC, 1993; NRC, 2000; CSIRO, 2007; INRA, 2007) baseiam suas recomendações para atendimento das exigências nutricionais de vacas gestantes em alguns poucos trabalhos realizados anteriormente ou em estimativas indiretas e adaptações de valores obtidos com experimentos envolvendo outras categorias ou espécies de ruminantes. O ARC (1980) baseou suas recomendações em trabalho envolvendo vacas Ayrshire e Jersey, realizado no ano de 1975, sendo que o AFRC (1993) não adotou atualizações significativas sobre a forma de calcular os requerimentos nutricionais para gestação. O NRC (2000) baseou suas recomendações nos trabalhos de Calvin Ferrell e colaboradores (Ferrell et al., 1976a; Ferrell et al., 1976b; Ferrell et al., 1976c), realizados com animais Hereford, sendo um dos poucos experimentos conhecidos no qual foi realizado abate comparativo com fêmeas em gestação. Adicionalmente, o NRC (2000) apresentou algumas sugestões de ajustes baseados no trabalho de Prior e Laster (1979), realizado com animais da raça Pardo Suíça. O sistema francês (INRA, 2007) possui estimativas de exigências nutricionais para gestação definidas desde sua edição de 1978, e baseia suas recomendações no trabalho de Ferrell et al. (1976c) e em trabalho sobre composição química de fetos bovinos realizado na França (Cano, 1995). As recomendações de requerimentos nutricionais para gestação apresentadas pelo sistema australiano (CSIRO, 2007) são baseadas nas indicações feitas pelo ARC (1980) e em ajustes e adaptações obtidos a partir de trabalhos realizados com ovinos, que existem em maior número na literatura.

Neste capítulo serão apresentados os resultados de pesquisas recentes realizadas no Brasil para estimar as exigências nutricionais de energia e proteína para vacas zebuínas

adultas para mantença e gestação. Discussões sobre aspectos fisiológicos relacionados à partição de nutrientes por vacas gestantes em função da homeorrese, bem como revisão sobre os impactos do não atendimento das exigências nutricionais de vacas gestantes sobre o desenvolvimento da progênie em bovinos, são também apresentados.

METODOLOGIA UTILIZADA PARA ESTIMATIVA DAS EXIGÊNCIAS

Sabe-se, claramente, que fêmeas de mamíferos gestantes particionam os nutrientes disponíveis de forma a favorecer sua prole. Tal conceito foi apresentado inicialmente por Hammond (1947), que sugeriu que os diferentes tecidos competem por nutrientes circulantes com base nas suas respectivas taxas metabólicas. Esta ideia foi reforçada pela descoberta de altas taxas metabólicas do útero grávido em relação ao corpo da matriz (Meschia et al., 1980). Entretanto, pesquisas recentes têm se concentrado na regulação endócrina dos tecidos ao invés da competição como um mecanismo explicativo de forma geral (Bauman, 2000; Mamontov, 2007). Esta forma de pensamento advém do conceito de "homeorrese", elaborado por Bauman e Currie (1980). Este conceito sugere que há uma influência simultânea de múltiplos tecidos implicando mediação extracelular para que o metabolismo atenda às demandas de forma mais coerente em níveis que otimizem a oportunidade do feto crescer e sobreviver no pós-natal, e minimizando a excessiva depleção das reservas maternais de energia e proteína.

Embora existam modelos matemáticos para tentar explicar a homeorrese (Mamontov, 2007; Psiuk-Maksymowicz e Mamontov, 2008), a aplicação dos mesmos ao particionamento de nutrientes em fêmeas bovinas gestantes ainda está distante do que se pode propor para estimativa das exigências nutricionais. Sabe-se que há ampla interação entre tecidos maternos e o útero gravídico, que implicam em modificações na eficiência de uso dos nutrientes por parte dos tecidos maternos. No entanto, a base da estimativa de exigências nutricionais para vacas zebuínas gestantes que será utilizada aqui, é um modelo fatorial, onde exigências para mantença, acúmulo de reservas corporais e crescimento do útero grávido e formação fetal não interagem entre si, mas, são consideradas somativas. Tal metodologia é semelhante às utilizadas pelos outros sistemas nutricionais. Serão apresentadas, portanto, exigências adicionais para gestação em vacas zebuínas, de forma somativa às exigências para mantença e acúmulo de reservas corporais. Isso não quer dizer, no entanto, que as estimativas usadas não sejam acuradas. A metodologia que aqui se utiliza permite estimar que o resultado quantitativo da interação entre tecidos maternos e tecidos gestacionais seja calculado como exigências para gestação, somando-se ao acúmulo líquido em tecidos gestacionais e o gasto para síntese dos tecidos gestacionais.

O experimento base desse capítulo foi realizado na Universidade Federal de Viçosa (UFV), entre os anos de 2010 e 2011 (Gionbelli, 2013). Quarenta e nove vacas zebuínas, com grau de sangue predominantemente Nelore, foram obtidas do rebanho da UFV e de dois outros rebanhos comerciais, com o objetivo de representar o rebanho nacional de bovinos de corte. Tais vacas foram utilizadas num experimento de abate comparativo, com delineamento semelhante ao trabalho realizado por Calvin Ferrell e seus colaboradores (Ferrell et al., 1976a; Ferrell et al., 1976b; Ferrell et al., 1976c), que serve de base para estimativa das exigências nutricionais de vacas gestantes nos sistemas alimentares que utilizam bovinos taurinos como base. Um grupo de 17 vacas foi mantido sob mesmos tratamentos das outras 32 vacas gestantes (em diferentes níveis alimentares), de modo a estimar de maneira comparativa os requerimentos para mantença, ganho de tecidos maternos e gestação. As 32 vacas gestantes foram abatidas em quatro diferentes estágios de gestação (136, 189, 239 e 269 dias de gestação) para avaliar o acúmulo de nutrientes e energia no útero grávido e nos tecidos maternos, e assim ajustarem-se modelos matemáticos que pudessem ser usados para estimar as exigências líquidas para gestação.

Para estimativas dos acúmulos de energia e proteína relacionadas à gestação ou aos tecidos maternos adotou-se o conceito de componente gestação (GEST), apresentado por Gionbelli et al. (2015a) e discutido no Capítulo 1. O GEST representa as quantidades reais de componentes que crescem diretamente relacionados à gestação. Isso inclui o útero grávido menos o peso estimado do útero não

grávido mais o crescimento da glândula mamária relacionado à gestação. Assim, as quantidades de energia e proteína no corpo total de uma vaca gestante seguem a seguinte relação:

$$CTV = TM + GEST \qquad \text{Eq.11.1}$$

em que CTV = corpo total da vaca, TM = tecidos maternos (carcaça, vísceras, couro, sangue, cabeça, patas, úbere, além do útero não grávido menos o acréscimo no úbere relacionado com a gestação) e GEST = componente gestação. Uma descrição completa das relações que formam a base das estimativas de exigências nutricionais de vacas gestantes e não gestantes é apresentada na Tabela 11.1. As estimativas para as exigências nutricionais de vacas zebuínas gestantes e não gestantes discutidas a seguir são oriundas de trabalhos recentemente publicados sobre o assunto (Gionbelli, 2013; Gionbelli et al., 2013; Gionbelli et al., 2014; Gionbelli et al., 2015a; Gionbelli et al., 2015b).

CONSUMO DE MATÉRIA SECA EM VACAS ZEBUÍNAS ADULTAS

Em mamíferos de estômago simples, há aumento da ingestão de alimentos durante a gestação para coincidir com as altas exigências nutricionais de grandes ninhadas ou mesmo fetos simples. Em porcas esse efeito é bastante pronunciado ao ponto de, adotarem-se na prática, dietas ricas em fibras durante a gestação com objetivo de evitar acréscimo excessivo de gordura corporal (Forbes, 2007). Em ruminantes, é sugerido que as fêmeas possam aumentar a ingestão voluntária de alimentos na metade da gestação, porém, esse aumento é muito menos pronunciado do que em porcas e muitas vezes não é notado (Ingvartsen e Andersen, 2000). Forbes (1996) relatou também que vacas e ovelhas tendem a aumentar, por ficarem mais seletivos, o consumo voluntário de alimentos de maior qualidade nutricional, quando o final da gestação se aproxima. Por outro lado, porém, há redução notável no consumo nas semanas finais da gestação de bovinos, o que é facilmente perceptível.

Ingvartsen et al. (1992) mostraram um quadro contendo 20 grupos de vacas de nove publicações, onde observam-se variações no consumo nas últimas semanas que vão desde aumento de 0,2%/semana até redução de 9,4%/semana. Os mesmos autores também verificaram que novilhas reduziram o consumo voluntário nas últimas 14 semanas de gestação em 1,53%/semana, com aumento dessa taxa nas duas últimas semanas, e cerca de 30% de redução nos cinco dias que antecedem o parto. As variações observadas no consumo durante a gestação também podem ser diferentes para vacas e novilhas (Ingvartsen e Anderson, 2000).

Tabela 11.1 - Partição das exigências nutricionais de vacas zebuínas gestantes e não gestantes pelo método fatorial testadas para esta edição do BR-CORTE

Recuperada	***Líquida***	***Metabolizável***	***Digestível***
	Mantença		
-	ELm = f(PCVZ^{0,75}) PLm = β_0 da relação (PRct/d)=β_0+β_1×CPM	EMm = f(PCVZ^{0,75}) EMm = ELm / km PMm = β_0 da relação CPM=β_0+β_1×rGPCVZ PMm = PLm / zm	
	Gestação		
ERgest = f(DG) NRgest = f(DG)	ELgest = primeira derivada de ERgest PLgest = primeira derivada de NRgest	EMgest = ELgest / $kgest$ $kgest_1$ = ELgest / (CEM – EMm – EMg) $kgest_2$ = (1/β_2) da relação CEM=β_0+β_1×ERct+β_2×ERgest PMgest = PLgest / $zgest$ $zgest_1$ = PLgest / (CPM – PMm – PMg) $zgest_2$ = (1/β_2) da relação CPM=β_0+β_1×PRct+β_2×PRp	ED = EMt / q q = (EB-EU-E)/EB NDT = ED / 4,4
	Ganho de peso		
ERct = f(PCVZng) NRct = f(PCVZng)	ELg = primeira derivada de ERct ELg = f(PCVZng^{0,75}, rGPCVZ) PLg = primeira derivada de NRct×6,25 PLg = f(PCVZng^{0,75}, rGPCVZ) PLg = f(ELg, rGPCVZ)	EMg = ELg / kg kg = β_1 da relação (ERct/d) = β_0+β_1×CEM PMg = PLg / zg zg = β_1 da relação (PRct/d) = β_0+β_1×CPM	PDR = PBmic PNDR = ((PMt – (PBmic×0,64))/0,8 PB = PDR + PNDR
	Total		
ERt = ERgest + ERct	-	EMt = EMm + EMgest + EMg	
NRt = NRgest + NRct	-	PMt = PMm + PMgest + PMg	

Abreviações: PB = proteína bruta, ED = energia digestível, DG = dias em gestação, PCVZ = peso de corpo vazio, PCVZng = peso de corpo vazio em condição de não gestação, E = energia via metano, EB = energia bruta, *kgest* = eficiência parcial do uso da energia metabolizável para gestação, *kg* = eficiência parcial do uso da energia metabolizável para ganho, *km* = eficiência parcial do uso da energia metabolizável para mantença, EMg = energia metabolizável para ganho, CEM = consumo de energia metabolizável, EMm = energia metabolizável para mantença, EMgest = energia metabolizável para gestação, PMg = proteína metabolizável para ganho, CPM = consumo de proteína metabolizável, PMm = proteína metabolizável para mantença, PMgest = proteína metabolizável para gestação, ELg = energia líquida para ganho, ELm = energia líquida para mantença, ELgest = energia líquida para gestação, PLg = proteína líquida para ganho, PLm = proteína líquida para mantença, PLgest = proteína líquida para gestação, PBmic = proteína bruta microbiana, *q* = metabolizabilidade da energia, PDR = proteína degradada no rúmen, rGPCVZ = ganho de peso de corpo vazio real, ERct = energia recuperada nos tecidos corporais de vacas, ERgest = energia recuperada nos componentes da gestação, NRct = N recuperado nos tecidos corporais de vacas, NRgest = N recuperado nos componentes da gestação, PRct = proteína recuperada nos tecidos corporais de vacas, PNDR = proteína não degradável no rúmen, NDT = nutrientes digestíveis totais, EMt = energia metabolizável total, PMt = proteína metabolizável total, ERt = energia recuperada total, NRt = N recuperado total, EU = energia via urina, *zgest* = eficiência parcial do uso da proteína metabolizável para gestação, *zg* = eficiência parcial do uso da proteína metabolizável para ganho e *zm* = eficiência parcial do uso da proteína metabolizável para mantença

Fatores reguladores de consumo em vacas gestantes

A regulação da ingestão de alimentos por vacas em gestação pode apresentar fatores físicos e fisiológicos que não são contemplados em modelos tradicionais de regulação da ingestão de alimentos em ruminantes (Forbes, 1980; Fisher et al., 1987). Essas particularidades, como a influência do peso do bezerro na redução da capacidade ruminal, a regulação hormonal da gestação, ou ainda o mecanismo homeorrético de utilização dos nutrientes, são difíceis de modelar e são as principais causas das variações no consumo voluntário observado nesse estágio fisiológico de bovinos. Dentre os vários fatores envolvidos na regulação da ingestão de alimento por vacas gestantes podem-se destacar:

Fatores físicos: Tem sido sugerido que a redução na ingestão de alimentos, observada no final da gestação, pode ser causada devido à compressão do rúmen pelo útero em crescimento e agravada pela gordura abdominal (Forbes, 2007). O deslocamento do rúmen em função do crescimento do feto em ovinos foi ilustrado graficamente por Forbes (1968), que abateu ovelhas em diferentes estágios de gestação, congelou-as inteiramente, cortou seções transversas do abdômen e fotografou. Forbes (1969) observou uma relação negativa entre o volume de conteúdo ruminal no momento do abate (VR, litros) e o volume de conteúdo compressível ruminal (útero grávido + gordura abdominal, CCR, litros), em ovelhas alimentadas com feno, conforme a seguinte relação: VR = 10,3 – 0,37 × CCR. Ainda no mesmo trabalho, o consumo de matéria seca (CMS, kg/dia) durante as duas últimas semanas antes do abate foi positivamente relacionado ao VR (litros) no momento do abate: CMS = 0,48 + 0,033 × VR. A queda no consumo de alimentos foi proporcionalmente menor do que a do volume ruminal, provavelmente como resultado do aumento da taxa de passagem como fator de compensação para a redução do volume ruminal. Posteriormente, outros estudos (Kaske e Groth, 1997; Gunter et al., 1990; Coffey et al., 1989) confirmaram a teoria de que a gestação aumenta a taxa de passagem da digesta em ovinos, provavelmente como fator compensador da compressão ruminal pelo útero grávido.

Em vacas, Lagerlof (1929) relatou aumento da quantidade de gordura abdominal e compressão física do rúmen pelo útero. Lamberth (1969) realizou dois experimentos para comparar o efeito da gestação sobre o consumo voluntário, a digestibilidade e a taxa de passagem da matéria seca em novilhas. Os dois experimentos foram realizados utilizando-se pares de novilhas gêmeas, com uma de cada par estando gestante e outra não. A digestibilidade da matéria seca foi menor nas novilhas gestantes, causando também uma redução na ingestão de matéria seca digestível. As medidas de volume ruminal e taxa de passagem não geraram resultados conclusivos.

Estas informações fornecem evidências suficientes para que se possa afirmar que há um efeito físico da gestação sobre a redução do consumo de matéria seca de vacas e ovelhas no final da gestação. Porém, é improvável que a diminuição do volume ruminal seja a única causa para a queda no consumo. Coppock et al. (1974) observaram que a redução no consumo de matéria seca de vacas no final da gestação foi mais pronunciado quando a dieta continha altos níveis de concentrado, comparado à dietas com menor nível. Portanto, é provável que outros fatores também estejam envolvidos na redução do consumo no final da gestação. Além disso, é importante observar que os efeitos de compressão física coincidem com as mudanças nos fatores endócrinos e reservas corporais, mediadas em resposta ao avanço da gestação e preparação para uma lactação futura.

No parto, a cavidade abdominal é aliviada pela saída do líquido amniótico, feto e membranas fetais, sendo essa diminuição na ordem de 70 kg para vacas leiteiras e 50 kg para vacas de corte. O desaparecimento de uma massa tão grande da cavidade abdominal deveria permitir um aumento rápido no consumo voluntário de alimentos nos primeiros dias após o parto, caso a compressão física fosse o único fator que causasse a redução no consumo. Em geral, nenhum aumento rápido da ingestão de matéria seca é observado logo após o parto, sendo esse aumento relativamente lento, até mesmo em relação ao aumento na produção de leite (Friggens et al., 1998).

Fatores fisiológicos: Uma série de fatores endócrinos, metabólicos e comportamentais estão relacionados com a variação da ingestão de alimentos durante a

gestação em vacas. Sugere-se que o principal hormônio atuante na redução do consumo seja o estrógeno (Forbes, 2007). No momento do cio na vaca, um pico de estrógeno coincide com baixa ingestão de alimentos que, nesse caso, é temporária (Forbes, 2007). Durante a gestação, entretanto, os níveis plasmáticos de estrógeno aumentam para cerca de 300 pg/mL durante o primeiro semestre de gestação e mantêm-se estáveis até um mês antes do parto, quando os níveis se elevam até 4000-6000 pg/mL nos últimos dias antes do parto. Este aumento nos dias que antecedem o parto que correlaciona com a redução do consumo.

A progesterona parece não ter um efeito direto sobre o consumo de alimentos em bovinos (Ingvartsen e Andersen, 2000), porém, por bloquear os efeitos do estrógeno (Gagliostro et al., 1991), pode reduzir os efeitos deste na redução do consumo. Bargeloh et al. (1975) infundiram diariamente progesterona ao nível de 0,25 mg/kg em vacas no final da gestação e observaram maior consumo de matéria seca das vacas tratadas em relação às não tratadas (17,1 kg/dia vs 11,7 kg/dia, respectivamente) nos últimos 6 dias de gestação. Houve também prolongamento da gestação em algumas vacas que receberam as doses de progesterona, causando problemas e dificultando o uso comercial de algum desse tipo de infusão hormonal.

Fatores metabólicos: Um desbalanço entre os nutrientes requeridos pela mãe e pelo feto durante o final da gestação também pode reduzir a ingestão de alimento pelas fêmeas ruminantes nessa fase. Barry e Manley (1986) infundiram glicose e caseína no abomaso de ovelhas gestantes e observaram aumento do consumo voluntário quatro semanas antes do parto nas ovelhas infundidas, havendo posteriormente, redução mais pronunciada do consumo do que nos animais não infundidos. Os autores sugeriram que o efeito do maior consumo nos animais infundidos causou maior depressão pré-parto no consumo, enquanto que nos animais não infundidos, o consumo foi limitado pelo desbalanço da dieta e pelos demais fatores presentes no final da gestação.

Fatores comportamentais: Preocupação e desconforto com a necessidade de procurar um local adequado para o parto também são sugeridos como fatores que reduzem o consumo de alimentos por vacas gestantes no final da gestação. Mudanças endócrinas associadas com o parto (corticosteróides, prostaglandinas, ocitocina, relaxina, etc.) também podem estar correlacionadas (Forbes, 2007).

Consumo de matéria seca por vacas zebuínas gestantes

Uma representação gráfica do consumo de matéria seca (CMS) por vacas zebuínas gestantes é apresentada na Figura 11.1 (Gionbelli, 2013). O efeito da gestação sobre o consumo voluntário de matéria seca foi avaliado, comparando-se o consumo de vacas gestantes e não gestantes recebendo dieta com alto nível de volumoso (85%) por período de duração semelhante. O ajuste de modelos segmentados foi testado, para verificar o decréscimo no CMS a partir de determinado período de gestação. Observou-se redução linear (parâmetros quadrático e cúbico também foram testados) no consumo de matéria seca em proporção do peso corporal por vacas zebuínas gestantes ($P<0,05$) a partir de 131 dias de gestação (decréscimo de 0,0204 gramas de matéria seca por kg de PCJ para cada dia de gestação além de 135 dias). Conforme descrito nos itens posteriores, para essa edição do BR-CORTE, optou-se por considerar as exigências para gestação em vacas zebuínas a partir de 135 dias de gestação (4,5 meses). Dessa forma, um modelo de redução do CMS em função dos dias de gestação foi ajustado para vacas zebuínas adultas, a partir dos 135 dias de gestação. Portanto, as equações propostas para descrever o CMS de vacas zebuínas gestantes devem ser:

$$CMSgest\ (g/PCJ) = CMSng - 0,02 \times (TG - 135) \quad \text{Eq. 11.2}$$

$$CMSgest\ (kg/dia) = CMSng - (PCJ \times 0,00002 \times (TG - 135)) \quad \text{Eq. 11.3}$$

em que: CMSgest = consumo de matéria seca após 135 dias de gestação (em g/PCJ ou em kg/dia), CMSng = consumo de matéria seca não gestante ou até 135 dias de gestação (em g/PCJ para a Equação 11.2 e em kg/dia para a Equação 11.3), TG = tempo de gestação (dias) e PCJ = peso corporal em jejum (kg).

As equações acima apresentadas podem ser utilizadas para qualquer rebanho em qualquer situação, pois envolvem apenas ajuste do consumo de matéria seca em função

do avançar da gestação. Ainda não está disponível uma equação padronizada para estimar o consumo de matéria seca de vacas zebuínas adultas não gestantes, que depende certamente de características do animal e da qualidade e disponibilidade da forragem (e suplemento).

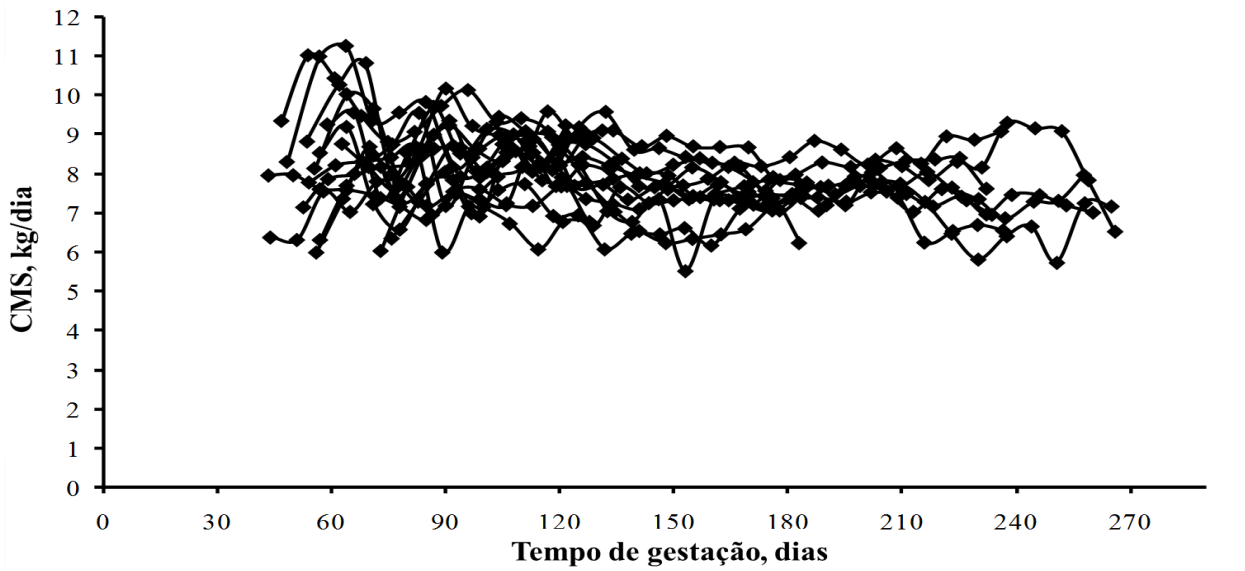


Figura 11.1 - Relação entre consumo de matéria seca e dias de gestação em vacas zebuínas gestantes.

EXIGÊNCIAS PARA MANTENÇA

Exigência de energia para mantença

As exigências de energia líquida para mantença (ELm, kcal/PCVZng^{0,75}/dia) foram estimadas a partir da relação entre a produção de calor (PCalor, kcal/PCVZng^{0,75}/dia) e o consumo de energia metabolizável (CEM, kcal/PCVZng^{0,75}/dia), utilizando um modelo exponencial, da mesma forma que para animais em crescimento e terminação. O modelo obtido com base nos dados de Gionbelli (2013) é o seguinte:

$$PCalor = 85{,}9 \times \exp^{(0{,}0028 \times CEM)} \qquad \text{Eq. 11.4}$$

O valor de ELm é correspondente ao intercepto da Equação 11.4, representando a quantidade de calor produzida em absoluto jejum. Ainda com base na Equação 11.4, são estimadas as exigências de energia metabolizável para mantença (EMm, kcal/PCVZng^{0,75}/dia), por meio de um processo iterativo para igualar a PCalor e o CEM. A EMm representa o ponto em que o calor produzido pelo animal é igual à energia metabolizável consumida. Assim, as estimativas de ELm e EMm para vacas zebuínas adultas podem ser obtidas pelos modelos apresentados abaixo:

$$ELm\,(kcal/dia) = 85{,}9 \times PCVZ^{\,0{,}75} \qquad \text{Eq. 11.5}$$

$$EMm\,(kcal/dia) = 120 \times PCVZ^{\,0{,}75} \qquad \text{Eq. 11.6}$$

em que PCVZ = peso de corpo vazio (kg).

A eficiência parcial de uso da energia metabolizável para mantença (*km*) é obtida através da razão entre ELm e EMm (85,9/120), correspondendo a 0,72 ou 72%. Uma vez que é muito difícil modelar as exigências de energia metabolizável para mantença para vacas gestantes, da mesma maneira que Ferrell et al. (1976c), assume-se que o *km* não varia entre vacas gestantes e não gestantes. Robinson et al. (1980) também sugeriu que o valor de *km* é similar entre animais gestantes e outras categorias.

O experimento usado como base para as estimativas de exigências de energia para vacas zebuínas (Gionbelli et al., 2015a) foi realizado com vacas em confinamento para garantir o controle experimental necessário a um estudo desse tipo. As estimativas de exigências de energia apresentadas no Capítulo 8 mostram que bovinos de corte criados em condições tropicais em pastejo apresentam EMm 8,5% superiores àqueles criados em confinamento. Como vacas de corte em cria são rotineiramente mantidas a pasto em condições tropicais, sugere-se o acréscimo de

8,5% no valor de EMm calculado para esta categoria (120 × 1,085), sendo:

$$EMm\ (kcal/dia) = 130 \times PCVZ^{0,75} \qquad \text{Eq. 11.7}$$

em que PCVZ = peso de corpo vazio (kg).

O valor de EMm estabelecido para vacas zebuínas vazias e gestantes nessa edição do BR-CORTE é igual a EMm de uma novilha zebuína em crescimento, com ganho médio diário de 0,375 kg (o *km*, usado no cálculo da EMm de animais em crescimento, leva em consideração a taxa de ganho de peso – vide Capítulo 8). Já uma novilha em crescimento com ganho médio diário de 1 kg tem EMm igual a 119 kcal/PCVZng^{0,75}/dia, valor inferior à EMm de uma vaca adulta vazia ou gestante.

Embora existam evidências de que as exigências para mantença (por unidade de tamanho metabólico, PCVZ^{0,75}) possam aumentar até 50% no final da gestação em bovinos de corte (Brody, 1946; Ferrell et al., 1976c; NASEM, 2016), tal acréscimo não tem sido diretamente considerado nos experimentos de abate comparativo realizados com vacas gestantes (Ferrell et al., 1976c; Gionbelli et al., 2015b). Nesses casos, o gasto energético adicional para mantença que é relativo à gestação é quantificado no cálculo das exigências nutricionais para gestação, conforme metodologia apresentada nesse capítulo (Tabela 11.1). Assim, torna-se possível calcular separadamente os requerimentos nutricionais de maneira fatorial, para mantença, acúmulo de tecidos maternos e gestação, conforme já discutido.

Quando comparada à EMm para vacas zebuínas lactantes (135,4 kcal/PCVZ^{0,75}/dia; Capítulo 12), o valor de EMm apresentado para vacas vazias ou gestantes é 4% menor. Uma compilação de trabalhos realizada pelo sistema americano (NASEM, 2016) sugere que a exigência de mantença para vacas lactantes é cerca de 20% maior (variação de 10 a 49%) do que para em vacas não lactantes em raças bovinas para corte.

Os valores de EMm estimados para vacas zebuínas não gestantes e não lactantes são cerca de 5% menores do que os valores de EM_m estimados para vacas taurinas (cruzas de Angus-Hereford) da mesma categoria (Tabela 11.2). Em comparação aos valores de EMm estimados para vacas taurinas de grande porte (continentais), os valores de EMm de vacas zebuínas não gestantes e não lactantes são cerca de 14% menores, para vacas de mesmo peso (considerando dados de C.L. Ferrell e T.G. Jenkins, não publicados, citados pelo NASEM,(2016).

Tabela 11.2 - Exigências de energia metabolizável para mantença estimadas para vacas zebuínas e taurinas de corte com 450 e 600 kg de peso corporal

Subespécie	PC, kg	PCJ, kg	PCVZ, kg	UTM, kg	EM_m, Mcal/dia	%
Bos taurus indicus	450	438[1]	397[3]	89[5]	11,6[5]	94[7]
Bos taurus taurus	450	432[2]	368[4]	98[6]	12,3[6]	100
Bos taurus indicus	600	589[1]	536[3]	111[5]	14,5[5]	95[7]
Bos taurus taurus	600	576[2]	490[4]	121[6]	15,3[6]	100

PC = peso corporal, PCJ = peso corporal em jejum, PCVZ = peso de corpo vazio, UTM = unidade de tamanho metabólico e EMm = exigência de energia metabolizável para mantença; [1]PCJ = 0,8084 × PC^{1,0303} (Capítulo 1); [2]PCJ = 0,96 × PC (NRC); [3]PCVZ = 0,8424 × PCJ^{1,0122} (Capítulo 1); [4]PCVZ = 0,851 × PCJ (NRC); [5]EMm = 130 × PCVZ^{0,75} / 1000; [6]EMm = 126 × PC^{0,75} / 1000, para vacas Angus-Hereford, dados de C.L. Ferrell e T.G. Jenkins, não publicados, citados no NRC (2000); [7]Como % da EMm de vacas taurinas.

Exigências de proteína para mantença

Assim como as exigências de energia para mantença, as exigências de proteína para mantença foram calculadas a partir do banco de dados de vacas não gestantes e não lactantes do experimento de Gionbelli (2013). A exigência de proteína metabolizável para mantença (PMm, g/dia) foi obtida a partir da relação entre o consumo de proteína metabolizável (CPM, g/dia), a proteína retida nos tecidos maternos (PRtm, g/dia) e o peso corporal em jejum médio metabólico (PCJ^{0,75}), mostrada na Equação 11.8. Com base na Equação 11.8, o CPM necessário para manter o conteúdo corporal de proteína estável é igual a 3,93 gramas por kg de PCJ^{0,75}, que representa o valor de PMm para vacas zebuínas não gestantes e não lactantes. Este valor é muito próximo ao valor de PMm recomendado para animais em crescimento criados em condições de pastejo (Capítulo 9, PMm, g/dia = 3,9 x PCJ^{0,75}). Devido à pequena diferença numérica, o mesmo valor de PMm é também sugerido para vacas zebuínas (Equação 11.9).

$$CPM = 3{,}93 \times PCJ^{0{,}75} + 2{,}63 \times PRtm$$

Eq. 11.8

$$PMm\ (g/dia) = 3{,}9 \times PCJ^{0{,}75}$$

Eq. 11.9

em que CPM = consumo de proteína metabolizável (g/dia), PCJ = peso corporal em jejum (kg) e PRtm = proteína retida nos tecidos maternos (g/dia).

EXIGÊNCIAS PARA GANHO DE TECIDOS MATERNOS

As exigências nutricionais para ganho de tecidos maternos foram estimadas de acordo com a taxa diária de acúmulo de tecidos maternos (GMD relativo a tecidos maternos – vide Capítulo 1) e o Escore de Condição Corporal (ECC). Permite-se assim, usar essas estimativas para rebanhos com peso à maturidade variáveis. Apesar de representar parametrização de um conjunto de avaliações subjetivas, o ECC é uma ferramenta de alta significância prática e comprovadamente relacionada às variações da composição corporal de vacas adultas (NRC, 2000).

Cabe ressaltar também que, conforme a metodologia proposta na Tabela 11.1, as exigências para ganho de peso de vacas gestantes e não gestantes são consideradas similares, embora possa haver efeito de metabolismo homeorrético (Hammond, 1947). No entanto, Gionbelli et al. (2015b) não observaram efeito da gestação sobre a dinâmica da deposição de tecidos maternos (P=0,388), indicando que, quantitativamente, a composição do ganho de tecidos maternos de vacas gestantes e não gestantes é similar. Isso sustenta o uso do modelo fatorial para cálculo das exigências nutricionais de vacas zebuínas, no qual exigências para mantença, ganho de tecidos maternos e gestação são calculadas independentemente e somadas para calcular as exigências totais.

Exigências de energia para ganho

As exigências nutricionais de energia líquida para ganho de peso de vacas adultas (ELg, Mcal/dia), são calculadas através da seguinte equação:

$$ELg = 3{,}82 \times GPCVZng^{1{,}07} \times ECC^{0{,}35}$$

Eq. 11.10

em que GPCVZng = ganho de peso de corpo vazio não gestante (kg), que considera o ganho de peso relativo a tecidos maternos da vaca (para vacas não gestantes é igual ao GPCVZ) e ECC = escore de condição corporal da vaca (escala de 1 a 9).

Com base na Equação 11.10, a exigência líquida de energia para ganho de peso de duas vacas adultas, com ECC de 5, mas com pesos diferentes (ex.: 500 e 600 kg) é a mesma, pois pressupõe-se que a composição corporal de ambas é proporcional ao ECC e se o peso a um mesmo ECC for diferente, significa que o peso maduro do rebanho ao qual fazem parte é diferente. Isso ocorre porque a ELg é calculada com base nas variações da composição corporal e, consequentemente, da composição do ganho. O expoente 1,07 do GPCVZ significa que a composição do ganho varia em função da taxa diária de acúmulo de reservas. Para taxas maiores de GMD, maior proporção de gordura será depositada e, consequentemente, maior será a ELg por kg de ganho. Uma exemplificação de aplicação da Equação 11.10 é apresentada a seguir.

Tabela 11.3 - Exigências líquidas de energia para ganho de peso de vacas adultas de diferentes escores de condição corporal e a diferentes taxas de ganho de peso

ECC	GMD, kg	GPCVZ, kg[1]	ELg, Mcal/dia	ELg/kg GPCVZ, Mcal
3	0,2	0,19	0,94	4,99
3	0,5	0,48	2,54	5,33
3	0,8	0,77	4,23	5,51
5	0,2	0,19	1,12	5,97
5	0,5	0,48	3,04	6,37
5	0,8	0,77	5,06	6,59
7	0,2	0,19	1,26	6,71
7	0,5	0,48	3,41	7,17
7	0,8	0,77	5,69	7,41

ECC = escore de condição corporal, GMD = ganho médio diário, GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio e ELg = exigência líquida de energia para ganho de peso; [1]GPCVZ = 0,963×GMD^{1,0151} (Capítulo 1).

A concentração de energia no ganho para vacas adultas apresentada na Tabela 11.3 é, em geral, maior do que para animais em crescimento (Capítulo 8) para ECC ≥ 4. Vacas com ECC < 4 apresentam considerável proporção de tecido magro na composição do ganho. Tal fato ocorre, provavelmente, porque embora tenham teoricamente atingido a maturidade fisiológica, a quantidade de tecido muscular esquelético na carcaça está abaixo da regular, devido à mobilização para atendimento das exigências de gestação, lactação ou até mesmo mantença. Existem evidências de grande mobilização de tecido muscular esquelético na carcaça de fêmeas ruminantes adultas para atender a grande demanda de aminoácidos para placenta nos estágios finais da gestação (Bell et al., 2000; Bell e Ehrhardt, 2000; Bell et al., 2005).

As exigências líquidas de energia para acúmulo de reservas aqui apresentadas para vacas zebuínas são similares àquelas para vacas taurinas apresentadas pelo Sistema americano (NASEM, 2016), considerando ainda as variações de ECC. Segundo a 8ª edição desse Sistema (NASEM, 2016), uma vaca adulta com ECC = 5, independente do peso à maturidade, requer 6,38 Mcal para cada kg de GPCVZ. Já os dados apresentados nessa edição do BR-CORTE para vacas zebuínas mostram que uma vaca zebuína adulta com ECC = 5, independente do peso à maturidade, requer entre 5,97 e 6,69 Mcal por kg de GPCVZ, dependendo da taxa de ganho de peso (nesse caso, 5,97 Mcal/kg GPCVZ para GPCVZ = 0,2 kg/dia e 6,69 Mcal/kg GPCVZ para GPCVZ = 1,0 kg/dia). Tal variação na composição do ganho em função da taxa de ganho, no entanto, não é contemplada pelo Sistema americano.

A eficiência parcial para conversão de energia metabolizável em energia líquida (*kg*) para ganho de peso sugerida para vacas zebuínas adultas é de 0,53 (Gionbelli et al., 2015b). Assim, o cálculo das exigências de energia metabolizável para ganho de peso de tecidos maternos (EMg, Mcal/dia) para vacas zebuínas adultas pode ser realizado de acordo com a Equação 11.11:

$$EMg = ELg/0,53 \quad \text{Eq. 11.11}$$

em que EL_g = exigência de energia líquida para ganho (Mcal/dia).

Exigências de proteína para ganho

As exigências líquidas de proteína para ganho de peso de vacas adultas (PLg, g/dia) foram estimadas por um modelo linear que leva em consideração o GPCVZ e a ELg. Dessa forma, contempla-se também o efeito do ECC sobre a composição de proteína no ganho, que reduz conforme aumenta o ECC. A equação que descreve as exigências de PLg (g/dia) é apresentada a seguir:

$$PLg = 307 \times GPCVZng - 34 \times ELg \quad \text{Eq. 11.12}$$

em que GPCVZng = ganho de peso de corpo vazio não gestante (kg) e ELg = exigência de energia líquida para ganho de peso (Mcal/dia).

Um exemplo de aplicação da Equação 11.12 é apresentado na Tabela 11.4. Comparando-se a PLg de uma vaca zebuína adulta e uma novilha em crescimento (350 kg) com ganho médio diário de 0,5 kg/dia, o valor médio de PL_g de uma vaca com ECC = 5 é cerca

de 40% inferior ao de uma novilha zebuína em crescimento. Tal fato é explicado pela variação na composição do ganho, visto que novilhas em crescimento têm maior proporção de ganho de tecido magro do que vacas adultas em ECC médio. Ainda de acordo com a Equação 11.12 e a Tabela 11.4, observa-se que quanto maior o ECC, menor o ganho diário proporcional de proteína, chegando a níveis irrisórios com ECC > 6.

Tabela 11.4 - Exigências líquidas de proteína para ganho de peso de vacas adultas de diferentes escores de condição corporal e a diferentes taxas de ganho de peso

ECC	GMD, kg	GPCVZ, kg[1]	PLg, g/dia	% de Proteína no GPCVZ
3	0,2	0,19	26	13,7
3	0,5	0,48	60	12,6
3	0,8	0,77	92	12,0
5	0,2	0,19	20	10,4
5	0,5	0,48	43	9,0
5	0,8	0,77	64	8,3
7	0,2	0,19	15	7,9
7	0,5	0,48	30	6,3
7	0,8	0,77	42	5,5

ECC = escore de condição corporal, GMD = ganho médio diário, GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio e PLg = exigência líquida de proteína para ganho de peso; [1]$GPCVZ = 0{,}963 \times GMD^{1{,}0151}$ (Capítulo 1).

Para conversão das exigências líquidas de proteína para acúmulo de tecidos maternos em exigências de proteína metabolizável, usa-se a eficiência de uso de proteínas absorvidas (*k*) que para vacas zebuínas adultas foi usado o valor de 0,474 sugerido pelo sistema BR-CORTE. Assim, o cálculo das exigências de energia metabolizável para ganho de peso de tecidos maternos (PMg, g/dia) para vacas zebuínas adultas pode ser realizado de acordo com a Equação 11.13.

$$PMg = PLg/0{,}474 \qquad \text{Eq. 11.13}$$

em que PLg = exigência de proteína líquida para ganho (g/dia).

EXIGÊNCIAS PARA GESTAÇÃO

As estimativas de exigências nutricionais para gestação dessa edição do BR-CORTE foram realizadas com base em um único experimento de abate comparativo utilizando vacas zebuínas (Nelore) gestantes e não gestantes realizado até o momento (Gionbelli, 2013; Gionbelli et al., 2015b). Para estimar as quantidades de energia e proteína retidas em constituintes relacionados à gestação, o conceito de componente gestação (GEST) foi adotado. O conceito de GEST foi apresentado por Gionbelli et al. (2015a) e é também descrito no Capítulo 1 do BR-CORTE. Com base no GEST, as quantidades de energia e proteína utilizadas para calcular as exigências líquidas para gestação foram aquelas genuinamente relacionadas à gestação, que incluíram: o útero grávido menos o útero não grávido (estimado) e o acréscimo no úbere relativo à gestação. Assim sendo, as quantidades de energia e proteína consideradas como tecidos maternos foram aquelas presentes na carcaça, órgãos internos, sangue, cabeça, membros, úbere não grávido e útero não grávido. Ou seja, as quantificações de energia e proteína retidas em constituintes maternos ou componente gestação seguiram as mesmas diretrizes utilizadas para o peso desses compartimentos (descrito no Capítulo 1). O conceito de GEST não aborda, no entanto, o possível efeito da gestação que faz variar constituintes corporais maternos como ossos, tecido muscular esquelético, tecido adiposo e órgãos internos. Tais variações ocorrem em função do efeito homeorrético da gestação (Hammond, 1947), no qual tecidos periféricos e órgãos podem "trabalhar" para dar suporte ao crescimento e metabolismo de um órgão, tecido ou sistema prioritário. Tal interação é extremamente difícil de modelar. No trabalho de Gionbelli et al. (2015b), no entanto, não foram observadas evidências significativas do efeito da gestação sobre a dinâmica de deposição de tecidos maternos (variações na composição do ganho de tecidos maternos de vacas gestantes e não gestantes).

Exigências de energia para gestação

A equação utilizada nesta edição do BR-CORTE para descrever as exigências líquidas de energia para crescimento de tecidos relacionados à gestação em vacas zebuínas gestantes foi gerada a partir da primeira derivada de um modelo do tipo potência entre o tempo de gestação e o acúmulo de energia no GEST. Posteriormente, a equação foi adaptada para contemplar pesos variáveis de bezerro ao nascimento (BEZ, em kg), para que possa ser aplicável a rebanhos de diferentes fenótipos. Portanto, as exigências líquidas de energia para gestação (ELgest, Mcal/dia) para vacas zebuínas adultas podem ser calculadas pela seguinte equação:

$$ELgest = \frac{BEZ \times 0{,}000000793 \times TG^{3{,}017}}{1000}$$

Eq. 11.14

em que BEZ = peso médio dos bezerros do rebanho ao nascer (kg) e TG = tempo de gestação (dias).

O modelo do tipo potência foi utilizado em detrimento ao uso de um modelo logístico (utilizado para estimar o peso do útero grávido no Capítulo 1) para facilitar a aplicabilidade das estimativas e por apresentar diferenças não significativas nos valores estimados. Quando comparadas às exigências de EL_{gest} adotadas pelo Sistema americano (NASEM, 2016) para gestação de bezerros com mesmo peso estimado ao nascimento, as exigências estimadas para gestação em vacas zebuínas são cerca de 30% menores (Figura 11.2).

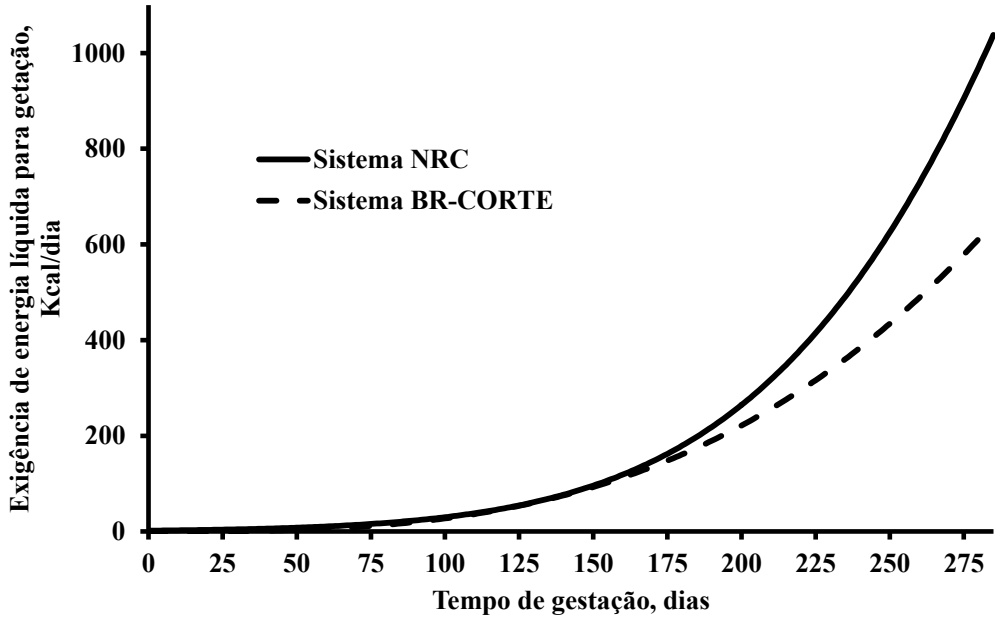


Figura 11.2 - Exigências líquidas de energia para gestação de uma vaca Angus-Hereford gestando um bezerro com peso estimado ao nascimento de 32 kg (linha contínua, NASEM, 2016) e de uma vaca Nelore gestando um bezerro com peso estimado ao nascimento de 32 kg (linha tracejada, BR-CORTE, 2016).

Para conversão da exigência de EL_{gest} em exigência de energia metabolizável para gestação (EMgest, Mcal/dia), o valor de ELgest deve ser dividido pela eficiência de uso da energia metabolizável para gestação (k_{gest}), cujo valor reportado por Gionbelli et al. (2015b) foi de 0,12. O valor de k_{gest} de 12% é bastante próximo ao valor médio de 14% obtido por Ferrell et al. (1976c) para gestação de vacas taurinas e próximo também do valor de 13% adotado pelo Sistema americano (com base em uma média resultados de trabalhos envolvendo ovinos e bovinos). Dessa forma, EMgest deve ser calculada da seguinte maneira:

$$EMgest = ELgest / 0{,}12 \qquad \text{Eq. 11.15}$$

em que ELgest = exigência de energia líquida para gestação (Mcal/dia).

Considerando-se uma vaca zebuína com 500 kg de PC na última semana de gestação (TG

= 285) um bezerro com peso estimado ao nascer de 32 kg, as exigências de energia metabolizável para mantença e gestação correspondem, respectivamente, a 12,6 e 5,4 Mcal/dia. Ou seja, no ápice das exigências nutricionais para gestação, o valor de EMgest pode chegar a 43% do valor da EMm, considerando uma vaca de porte médio. Em vacas de pequeno porte a exigência de energia metabolizável para gestação pode ser superior a 50% da exigência de mantença. Considerando-se os últimos 90 dias de gestação, a exigência média de energia metabolizável para gestação de uma vaca zebuína de 500 kg de PC, gestando um bezerro com peso estimado ao nascer de 32 kg, é de 3,4 Mcal/dia, o que corresponde a 28% da sua exigência para mantença. Ou seja, considera-se necessário um acréscimo de 28% nas exigências de mantença para que uma vaca de 500 kg de PC corporal consiga manter um ECC estável nos últimos 90 dias de gestação.

Tomando-se como base as equações descritas na Equação 11.14 e Equação 11.15, por iteração, observa-se que a exigência de EM_{gest} passa a ser maior do que 5% da EMm aos 140 dias de gestação, quando EMgest = 0,63 Mcal/dia (considerando-se uma vaca com 500 kg de PC gestando um bezerro com peso estimado ao nascimento de 32 kg e EMm = 12,6 Mcal/dia).

Exigências de proteína para gestação

O modelo adotado nessa edição do BR-CORTE para estimar as exigências líquidas de proteína para gestação em vacas zebuínas foi um modelo do tipo potência, semelhante ao descrito na Equação 11.14 para estimar as exigências líquidas de energia para gestação.

$$PLgest(g/dia) = BEZ \times 0{,}0000001773 \times TG^{2{,}945} \quad \text{Eq. 11.16}$$

em que BEZ = peso médio dos bezerros do rebanho ao nascer (kg) e TG = tempo de gestação (dias).

Uma comparação dos valores de PLgest para vacas taurinas e zebuínas gestando bezerros de mesmo peso estimado ao nascer é apresentada na Figura 11.3. Para estimar a exigência de proteína metabolizável para gestação (PMgest, g/dia), o valor de PLgest deve ser dividido pela eficiência parcial de utilização da proteína absorvida para gestação, que para vacas zebuínas adultas foi considerado o valor de 0,474 (BR-CORTE, 2016). Assim, a exigência de proteína metabolizável para gestação pode ser calculada como:

$$PMgest = PLgest/0{,}474 \quad \text{Eq. 11.17}$$

em que PLgest = exigência de proteína líquida para gestação (g/dia).

A exigência de proteína metabolizável para gestação calculada de acordo com a Equação 11.16 e Equação 11.17 para uma vaca zebuína de 500 kg, gestando um bezerro de 32 kg de peso estimado ao nascer, aos 285 dias de gestação é de 203 g/dia, o que corresponde a 50% da exigência de proteína para mantença dessa mesma vaca (PMm = 405 g/dia).

Considerando-se os últimos 90 dias de gestação, a exigência média de PMgest para a mesma vaca desse exemplo é de 143 g/dia, o que corresponde a um aumento médio de 35% nas exigências de proteína, em relação à mantença (sem considerar ganho de tecidos maternos). Tais valores são representativos do grande aumento das exigências de proteína em função do tempo de gestação. A taxa de metabolismo uteroplacentário e fetal durante os estágios finais da gestação é muito alta (Battaglia e Meschia, 1988; Bell et al., 2005). Estudos anteriores reportam um grande aumento da demanda por glicose e aminoácidos pela placenta de ruminantes com o decorrer da gestação (McNeill et al., 1997; Freetly e Ferrell, 1998, 2000). Embora pouco seja conhecido sobre o particionamento de aminoácidos para a gestação, estima-se que em fêmeas ruminantes em final de gestação alimentadas com 110 até 140% das exigências de proteína para gestação, cerca de 80% da proteína digerida passe pelo útero grávido (Bell e Ehrhardt, 1998). Já em fêmeas ruminantes alimentadas com quantidades de proteína próximas ou abaixo das exigências para gestação, estima-se que os níveis de aminoácidos circulantes necessários para o bom andamento da gestação sejam mantidos por meio da mobilização de tecido muscular esquelético (Bell e Ehrhardt, 2000). Existem evidências de grande mobilização de tecido muscular esquelético materno para suprir a demanda de gestação quando as exigências dietéticas de proteína não são atendidas (McNeill et al., 1997).

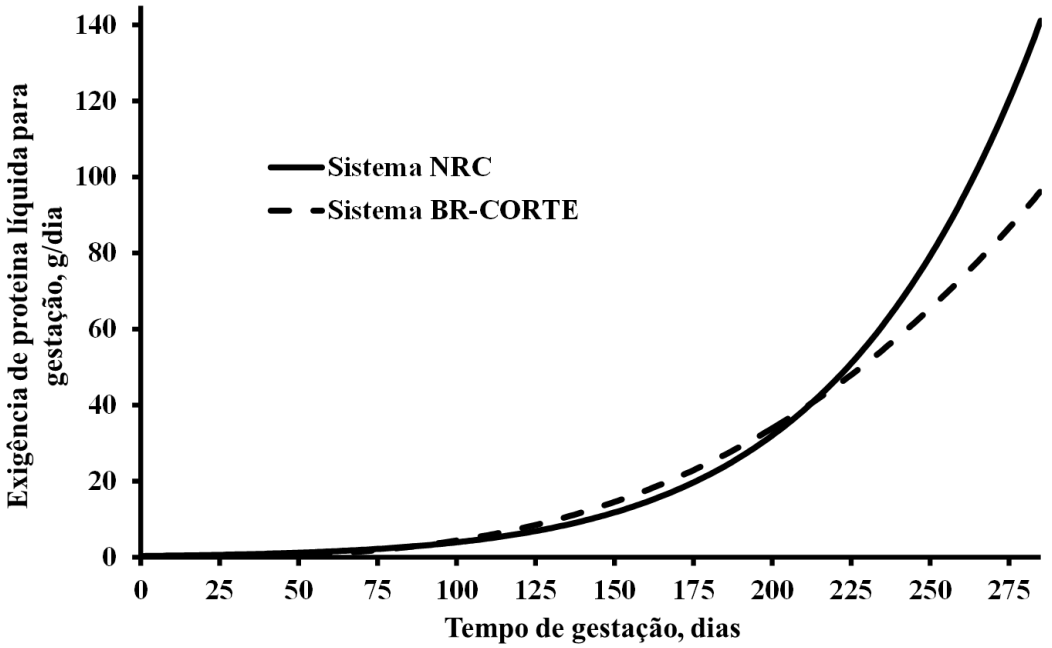


Figura 11.3 - Exigências líquidas de proteína para gestação de uma vaca Angus-Hereford gestando um bezerro com peso estimado ao nascimento de 32 kg (linha contínua, NASEM, 2016) e de uma vaca Nelore gestando um bezerro com peso estimado ao nascimento de 32 kg (linha tracejada, BR-CORTE, 2016).

ATENDIMENTO DAS EXIGÊNCIAS DE GESTAÇÃO E SEUS IMPACTOS NA PROGÊNIE

Adicionalmente ao que foi até então abordado, o atendimento ou não dos requerimentos nutricionais da gestação pode alterar a trajetória de desenvolvimento da progênie, impactando o seu desempenho durante a vida pós-natal. Tal situação é comumente observada em países onde a produção de bovinos de corte se dá majoritariamente a pasto. A variação sazonal da quantidade e qualidade das pastagens surge como um dos principais pontos críticos que reduz a eficiência de produção. Consequentemente, vacas gestantes criadas a pasto frequentemente são submetidas a variações na oferta e qualidade da forragem principalmente na época seca do ano. Visando amenizar tal problema, alguns produtores buscam diferentes estratégias de suplementação as quais geralmente se restringem ao terço final da gestação, o qual é apontado como a principal etapa em que a restrição alimentar da matriz pode afetar o desenvolvimento do bezerro, uma vez que a captação de nutrientes pelo feto torna-se quantitativamente importante na segunda metade da gestação.

Contudo, a restrição alimentar durante os estágios iniciais da gestação causa também redução da deposição de tecido muscular e adiposo bem como no desempenho do bezerro, mesmo que não seja notada redução do peso e tamanho ao nascimento (Wu et al., 2006). Isso ocorre como o resultado de mudanças específicas nos mamíferos durante o desenvolvimento intra-uterino que altera quantitativa e/ou qualitativamente a trajetória de desenvolvimento com resultados que persistem por toda vida do indivíduo. Baseado nessa premissa, estudos têm sido realizados com objetivo de compreender os processos envolvidos com o crescimento e desenvolvimento dos tecidos, uma vez que a produção de animais de corte visa maximização do seu desempenho e crescimento muscular aliado à adequada deposição de gordura (Tabela 11.5). Tal conhecimento torna viável a adoção de estratégias alimentares durante os diferentes estágios da gestação que possam resultar em incrementos no desempenho da progênie.

Durante a fase fetal, o músculo esquelético tem menor prioridade na partição de nutrientes comparativamente a órgãos vitais tais como o cérebro e coração. Dessa forma, em situações desafiantes ao feto durante o seu desenvolvimento, o tecido muscular esquelético se torna vulnerável à deficiência nutricional da matriz. A fase fetal é crítica para o desenvolvimento muscular, uma vez que não ocorre aumento no número de células musculares após o nascimento. A formação de fibras musculares é denominada miogênese, processo em que células mesenquimais multipotentes são convertidas em células musculares. A formação das fibras musculares ocorre a partir de dois eventos distintos temporalmente. Inicialmente, durante o desenvolvimento embrionário ocorre a formação das miofibras primárias, processo que se estende pelos dois primeiros meses de gestação (Russell e Oteruelo, 1981). Essas miofibras são utilizadas como suporte para posterior formação das miofibras secundárias, que ocorre durante a fase fetal e que por sua vez contribuem de forma majoritária para o aumento da massa muscular na fase pré-natal. Contudo, a maior parte das fibras musculares é formada entre o segundo e o oitavo mês de gestação e a redução da formação de fibras musculares durante este estágio de desenvolvimento fetal causa efeitos fisiológicos negativos persistentes no animal durante a fase pós-natal (Zhu et al., 2006).

Dado o fato de que células musculares assim como adipócitos e fibroblastos são oriundos do mesmo pool de células mesenquimais indiferenciadas, a nutrição materna durante a gestação tem sido reportada como sendo um dos principais fatores que afetam a miogênese e conseqüentemente o crescimento e desenvolvimento muscular fetal (Wu et al., 2006). A nutrição gestacional causa modificações na rota de sinalização celular podendo direcionar o pool de células mesenquimais indiferenciadas ao cometimento com formação de células musculares, adipócitos ou fibroblastos (Duarte et al., 2014).

Dessa forma, variações no atendimento dos requerimentos nutricionais da matriz podem ser utilizadas para maximizar o desenvolvimento do tecido muscular esquelético em detrimento à formação do tecido adiposo e conjuntivo. Similarmente, caso seja de interesse, a produção de animais com maior potencial de deposição de gordura corporal, pode-se utilizar de intervenção intrauterina via nutrição gestacional a fim de se maximizar o desenvolvimento de adipócitos com objetivo de que o animal consiga maior deposição deste tecido na fase pós-natal em detrimento à deposição do tecido muscular esquelético.

Ressalta-se que o período da gestação em que a matriz é ou não submetida ao estresse nutricional é crucial para programação do desenvolvimento muscular da progênie. A partir do conhecimento de quando se dá prioritariamente a formação de células musculares durante a fase fetal ditará o momento em que deva ocorrer a manipulação da dieta materna visando a maximização da formação deste tecido no feto. De forma similar, caso seja interesse maior formação de células adipogênicas com intuito de potencializar a deposição de gordura pelo animal, o conhecimento de quando os adipócitos têm sua formação maximizada possibilitará a intervenção no desenvolvimento via nutrição materna para maximização da formação deste tecido. Trabalhos recentes têm evidenciado que a adipogênese em animais ruminantes inicia-se concomitantemente com a miogênese secundária no terço médio da gestação (Muhlhausler et al., 2007). Dessa forma, a adoção da nutrição materna adequada durante a gestação pode resultar em maior número de adipócitos, em função do aumento do comprometimento de células mesenquimais com a adipogênese, acarretando maior quantidade de gordura intramuscular na progênie.

Por fim, cabe ressaltar ainda as evidências até então encontradas de que o atendimento ou não dos requerimentos nutricionais da matriz durante a gestação podem afetar o metabolismo energético do animal durante a fase pós-natal. Estudos demonstraram que fetos de matrizes ovinas superalimentadas (150% dos valores recomendados pelo NRC) apresentam menor atividade da principal via de sinalização de regulação do metabolismo energético em tecido muscular esquelético (conhecida como via de sinalização AMPK) quando comparados a fetos de matrizes recebendo 100% dos requerimentos de mantença de acordo com as recomendações do

NRC (Zhu et al., 2008). Tal fato nos leva a crer que, devido a possibilidade de perpetuação do efeito ao longo da vida pós-natal, estes animais poderão apresentar alteração na sua eficiência de crescimento também devido à alteração do metabolismo energético.

EXIGÊNCIAS DIETÉTICAS E CONSIDERAÇÕES PRÁTICAS PARA EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE GESTAÇÃO

Exigências dietéticas de energia para vacas gestantes e não gestantes

As exigências totais de energia metabolizável (EMtotal, Mcal/dia) para vacas zebuínas adultas, gestantes e não gestantes, são representadas pela soma das exigências para mantença, ganho de tecidos maternos e para gestação, conforme segue:

Vacas vazias:

$$EM\ total = EMm + EMg \quad \text{Eq. 11.18}$$

Vacas gestantes:

$$EM\ total = EMm + EMg + EMgest \quad \text{Eq. 11.19}$$

em que EMm = exigência de energia metabolizável para mantença (Mcal/dia), EMg = exigência de energia metabolizável para ganho de tecidos maternos (Mcal/dia) e EMgest = exigência de energia metabolizável para gestação (Mcal/dia).

Para conversão das exigências de energia metabolizável em exigências de energia digestível para vacas zebuínas adultas, quando a concentração energética da dieta (ou só da forragem, para vacas criadas a pasto sem suplementação) for conhecida (Mcal de ED/kg ou NDT) as três primeiras equações abaixo podem ser utilizadas Equação 11.20, Equação 11.21 ou Equação 11.22. Quando a concentração energética da dieta não for conhecida, a Equação 11.23 deverá ser utilizada:

$$[EM] = 0{,}9147 \times [ED] - 0{,}2227 \quad \text{Eq. 11.20}$$

$$[ED] = \frac{0{,}2227 + [EM]}{0{,}9147} \quad \text{Eq. 11.21}$$

$$EM/ED = 0{,}65 + 0{,}44 \times NDT - 0{,}24 \times NDT^2 \quad \text{Eq. 11.22}$$

$$ED = EM/0{,}82 \quad \text{Eq. 11.23}$$

em que [EM] = concentração de energia metabolizável (Mcal/kg), [ED] = concentração de energia digestível (Mcal/kg), EM = energia metabolizável (Mcal/dia), ED = energia digestível (Mcal/dia) e NDT = nutrientes digestíveis totais (em escala centesimal, de 0 a 1).

As Equações 11.20 e 11.21 apresentadas acima são oriundas da relação entre EM e ED obtida em dietas de vacas zebuínas adultas gestantes e não gestantes (Figura 11.4). A Equação 11.22 é uma variação das equações anteriores, considerando que 1 kg de NDT = 4,4 kg de ED. A Equação 11.23 representa o valor padrão de eficiência de conversão de ED em EM historicamente utilizada pelos sistemas de alimentação (NASEM e BR-CORTE). Para vacas zebuínas adultas, o coeficiente de 0,82 representa, de acordo com a Equação 11.23, uma dieta com 55% de NDT. A relação apresentada na Figura 11.4 não difere muito daquela obtida por Galyean et al. (2016) para bovinos *Bos taurus taurus* em crescimento e terminação (EM = 0,9611 × ED – 0,2999).

Para conversão das exigências totais de energia digestível em exigências dietéticas de energia, representadas por NDT, deve-se dividir o valor de EDtotal por 4,4, considerando a relação 1 kg de NDT = 4,4 kg de ED.

Tabela 11.5 - Seleção de trabalhos científicos publicados nos últimos anos que utilizaram animais ruminantes como modelo biológico e que demonstram alterações sofridas no desenvolvimento muscular esquelético fetal e/ou da progênie em função da variação no atendimento ou não dos requerimentos nutricionais da matriz durante a gestação

Referência	Observações relevantes
Raja, JS. et al. Restricted maternal nutrition alters myogenic regulatory factor expression in satellite cells of ovine offspring, *Animal*, 2016. DOI: 10.1017/S1751731116000070	O fornecimento de 50% dos requerimentos de mantença da matriz durante a gestação reduziu a expressão de fatores de regulação miogênica em células satélites isoladas do tecido muscular esquelético dos fetos
Reed, S. et al. Poor maternal nutrition inhibits muscle development in ovine offspring. *Journal of Animal Science and Biotechnology* ,2014. DOI: 10.1186/2049-1891-5-43	O fornecimento de 60% ou de 140% dos requerimentos de mantença da matriz durante a gestação prejudicou o crescimento muscular esquelético da progênie
Duarte, MS. et al. Maternal overnutrition enhances mRNA expression of adipogenic markers and collagen deposition in skeletal muscle of beef cattle fetuses, *Journal of Animal Science,* 2014. DOI: 10.2527/jas.2014-7568	O fornecimento de 140% dos requerimentos de mantença para matrizes durante a gestação não alterou o desenvolvimento muscular esquelético fetal. Contudo, aumento a expressão de marcadores de adipogênese e o conteúdo de colágeno intramuscular fetal.
Peñagaricano, F. et al. Maternal nutrition induces gene expression changes in fetal muscle development and adipose tissues in sheep, *BMC Genomics*, 2014. DOI: 10.1186/1471-2164-15-1034	O fornecimento de dietas para matrizes contendo diferentes níveis de proteína bruta durante o terço médio - final da gestação causou alterações na expressão de genes envolvidos com o desenvolvimento do tecido muscular esquelético e adiposo fetal.
Yan et al. Maternal obesity downregulates microRNA let-7g expression, a possible mechanism for enhanced adipogenesis during ovine fetal skeletal muscle development, *International Journal of Obesity*, 2013. DOI: 10.1038/ijo.2012.69	O fornecimento de 150% dos requerimentos nutricionais para matrizes durante a gestação alterou a expressão de microRNA's ocasionando o favorecimento de deposição de gordura intramuscular na progênie.
Huang, Y. et al. Maternal obesity enhances collagen accumulation and cross-linking in skeletal muscle of ovine offspring, *PLoS One*, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0031691	O fornecimento de 150% dos requerimentos nutricionais para matrizes durante a gestação ocasionou maior deposição de colágeno intramuscular bem como a quantidade de ligações cruzadas presentes na molécula de colágeno.
Yan, X. Maternal obesity-impaired insulin signaling in sheep and induced lipid accumulation and fibrosis in skeletal muscle of offspring, *Biology of Reproduction*, 2011. DOI:10.1095/biolreprod. 110.089649	O fornecimento de 150% dos requerimentos de energia para matrizes por dois meses antes da gestação até o desmame da progênie atenuou a via de sinalização de insulina no tecido muscular esquelético além de aumentar a fibrogênese e a deposição de gordura intramuscular.

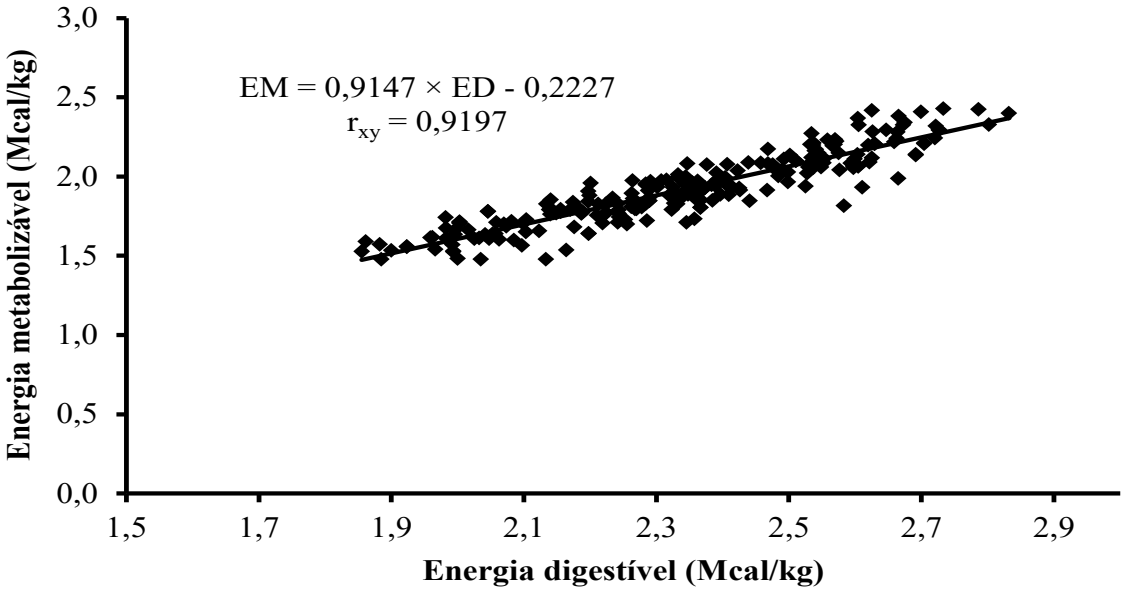


Figura 11.4 - Relação entre energia metabolizável e energia digestível em vacas zebuínas adultas (Gionbelli et al., dados não publicados).

Exigências dietéticas de proteína para vacas gestantes e não gestantes

As exigências totais de proteína metabolizável (PM_{total}, g/dia) para vacas zebuínas adultas, gestantes e não gestantes, são representadas pela soma das exigências para mantença, ganho de tecidos maternos e para gestação, conforme segue:

Vacas vazias:

$$PM\ total = PMm + PMg \quad \text{Eq. 11.24}$$

Vacas gestantes:

$$PM\ total = PMm + PMg + PMgest \quad \text{Eq. 11.25}$$

em que PMm = exigência de proteína metabolizável para mantença (g/dia), PMg = exigência de proteína metabolizável para ganho de tecidos maternos (g/dia) e PMgest = exigência de proteína metabolizável para gestação (g/dia). Para conversão das exigências totais de proteína metabolizável em exigências dietéticas de proteína degradável no rúmen (PDR), proteína não degradável no rúmen (PNDR) e proteína bruta total (PB), os mesmos procedimentos descritos para animais em crescimento e terminação são utilizados (Capítulo 9). Nesse sentido, as exigências de proteína bruta são representadas pela soma das exigências de PDR e PNDR.

Nessa edição do BR-CORTE, as exigências dietéticas de PDR são consideradas iguais à produção diária de proteína bruta microbiana (PBmic), pois as estimativas de N que retornam ao rúmen através da reciclagem de N compensam quantitativamente a ineficiência de conversão da proteína degradável no rúmen em PBmic, estimada em 10% nas edições anteriores do BR-CORTE. Assim, tem-se que: PDR = PBmic. A produção diária de PBmic é estimada pela equação abaixo (apresentada no Capítulo 3 dessa edição do BR-CORTE):

$$PBmic = -53{,}07 + 304{,}9 \times CPB + 90{,}8 \times CNDT - 3{,}13 \times CNDT^2 \quad \text{Eq. 11.26}$$

em que: CPB = consumo de proteína bruta (kg/dia) e CNDT = consumo de NDT (kg/dia). Nessa equação, o CNDT deve ser a exigência dietética de NDT em (kg/dia) calculada conforme descrito no item anterior. Uma vez que no cálculo das exigências de PB, o CPB ainda não é conhecido, sugere-se o uso de um valor inicial com base no CNDT e na relação média entre NDT e PB nas dietas de vacas vazias e gestantes. Dessa forma, para vacas vazias sugere-se um valor inicial de CPB (kg/dia) como sendo 0,15 × CNDT (kg/dia) e para vacas gestantes CPB (kg/dia) = 0,20 × CNDT (kg/dia).

As exigências dietéticas de PNDR (kg/dia) para vacas zebuínas adultas, vazias e gestantes, podem ser calculadas pela equação abaixo (Capítulo 9):

$$PNDR = \frac{PMtotal - (PBmic \times 0{,}64)}{0{,}80}$$

Eq. 11.27

em que PM_{total} = exigência total de proteína metabolizável (g/dia) e PBmic = produção diária de proteína microbiana (g/dia).

Considerações práticas para exigências nutricionais para gestação

Com base nos modelos utilizados nesse capítulo para estimar as exigências de energia e proteína para gestação, percebe-se que nos primeiros meses de gestação, as quantidades requeridas para suportar o crescimento dos constituintes do útero grávido são pequenas. Quantitativamente, as exigências de energia e proteína metabolizável para gestação passam a representar mais do que 5% das exigências de energia e proteína metabolizável para mantença a partir de 141 e 131 dias de gestação, respectivamente (considerando uma vaca com 500 kg de PC gestando um bezerro com peso estimado ao nascer de 32 kg). Para facilitar a aplicação prática dos requerimentos para gestação aqui propostos, considera-se importante considerar as exigências para gestação a partir do momento em que passam a representar uma porcentagem significativa da dieta das vacas. Assim sendo, para essa edição do BR-CORTE, considera-se que as exigências para gestação são significativas do ponto de vista prático a partir de 135 dias gestação (4,5 meses de gestação), quando as exigências de energia e proteína representam, em média, um acréscimo nas exigências para mantença (4,5% para energia e 5,5% para proteína). Este ponto foi escolhido pois representa o momento pelo qual as exigências de energia ou proteína passam a representar mais do que 5% das exigências para mantença. Antes dos 135 dias de gestação, as exigências para gestação podem ser consideradas insignificantes e não precisam ser contabilizadas. Dessa forma, consideram-se significativos os requerimentos de energia e proteína para gestação nos últimos 155 dias de gestação (considerando uma gestação de 290 dias em zebuínos).

Outro ponto a ser considerado, diz respeito às variações nas exigências para gestação ao longo da gestação e como devem ser consideradas nos programas nutricionais aplicados às vacas gestantes. Sabe-se, que na prática, é inviável ajustar a dieta de vacas gestantes em curtos períodos de tempo (semanalmente, por exemplo). Dessa forma, é proposto um esquema para atendimento das exigências de gestação do tipo "degraus", contendo 3 fases, divididas de acordo com as variações nas exigências nutricionais para gestação. Essas 3 fases, chamadas de início, meio e final de gestação, tem durações distintas e são melhor visualizadas na Figura 11.5 e na Tabela 11.6.

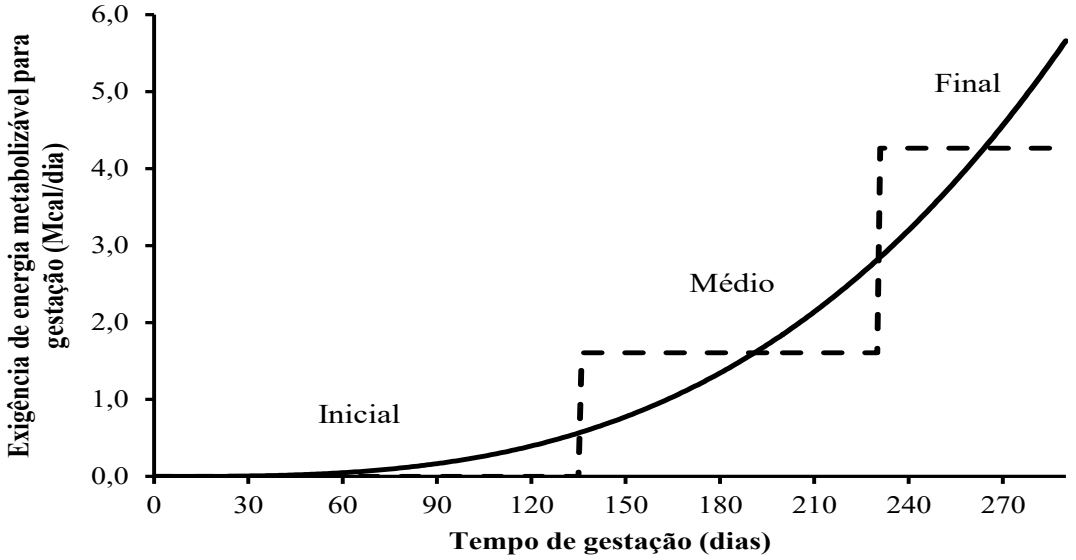


Figura 11.5 - Exigências de energia metabolizável para gestação de uma vaca zebuína adulta (500 kg de PC gestando um bezerro com peso estimado ao nascer de 32 kg) divididas em três períodos de gestação (inicial, médio e final). A linha contínua representa as exigências calculadas diariamente e a linha tracejada representa as exigências médias a serem consideradas em cada período.

Tabela 11.6 - Descrição e duração dos períodos de gestação para aplicação prática das exigências nutricionais para gestação de vacas zebuínas adultas

Período de gestação		Exigências para gestação (equivalências)[1]
Denominação	Duração (dias)	
Inicial	135 (0 ao 135º)	-
Médio	95 (136 ao 230º)	191 dias de gestação
Final	60 (231º ao 290º)	264 dias de gestação

[1]Até 135 dias de gestação as exigências para gestação são consideradas não significativas. No período médio de gestação (136 a 230 dias), as exigências médias são equivalentes às exigências de aos 191 dias de gestação. No período final de gestação (231 aos 290 dias), as exigências médias são equivalentes às exigências aos 264 dias de gestação. Ou seja, para calcular as exigências para gestação nos períodos médio e final de gestação, deve-se utilizar respectivamente 191 e 264 dias de gestação nos modelos descritos nesse capítulo.

De acordo com o sistema de produção e a recomendação técnica, um número maior de "degraus" pode ser utilizado na elaboração de programas nutricionais para vacas em gestação. Os degraus apresentados acima são adotados nessa edição do BR-CORTE para elaboração das tabelas de exigências nutricionais para gestação em vacas zebuínas adultas.

As exigências nutricionais de vacas zebuínas ao longo de um ciclo produtivo (intervalo entre dois partos) podem ser mais bem entendidas de acordo com a Tabela 11.7. Isso significa que, no caso de uma vaca com intervalo de partos de 12 meses, desde o parto até a desmama, as exigências nutricionais deverão ser calculadas de acordo com o Capítulo 12 dessa edição do BR-CORTE (Exigências nutricionais de vacas de corte lactantes e seus bezerros). A partir da desmama, as exigências nutricionais para essa vaca deverão ser calculadas de acordo com as exigências para período médio de gestação, pois com intervalo de partos de 12 meses, a vaca terá emprenhado aos 75 dias de lactação e à desmama estará com 135 dias de gestação. Se o intervalo de partos for de 14 meses, haverá um período (60 dias) do ciclo produtivo em que a vaca estará não lactante e em período inicial de gestação, quando as exigências para gestação são não significativas. Nesse caso, durante esse período, as exigências totais de tal vaca deverão ser calculadas como exigências para mantença + exigências para ganho de tecidos maternos, conforme descrito nesse capítulo.

Tabela 11.7 - Como calcular as exigências nutricionais para vacas zebuínas de acordo com a fase do ciclo produtivo quando o intervalo de partos é de 12, 14, 16 ou 18 meses

Intervalo de partos, meses (dias)	Fase do ciclo produtivo (duração e justificativa)			
	Lactação	Não lactante, vazia ou em período inicial de gestação	Período médio de gestação	Período final de gestação
12 (365)	210 dias (parto até desmama)	0 dias, pois terá concebido aos 75 dias de lactação e ao desmame estará com 135 dias de gestação	95 dias (136 ao 230º dia de gestação)	60 dias (231º dia de gestação até o parto)
14 (425)	210 dias (parto até desmama)	60 dias, pois terá concebido aos 135 dias de lactação e estará com 75 dias de gestação à desmama	95 dias (136 ao 230º dia de gestação)	60 dias (231º dia de gestação até o parto)
16 (485)	210 dias (parto até desmama)	120 dias, pois terá concebido aos 195 dias de lactação e estará com 15 dias de gestação à desmama	95 dias (136 ao 230º dia de gestação)	60 dias (231º dia de gestação até o parto)
18 (545)	210 dias (parto até desmama)	180 dias, pois terá concebido 45 dias após a desmama	95 dias (136 ao 230º dia de gestação)	60 dias (231º dia de gestação até o parto)
Como calcular as exigências nutricionais?	**Exigências para vacas lactantes (Capítulo 12)**	**Exigências para vacas vazias (mantença + ganho de tecidos maternos)**	**Exigências para vacas em período médio de gestação (mantença + ganho de tecidos maternos + exigências de 191 dias de gestação)**	**Exigências para vacas em período final de gestação (mantença + ganho de tecidos maternos + exigências de 264 dias de gestação)**

Com base na Tabela 11.7 a duração do período em que as exigências de uma vaca deverão ser calculadas para vaca não lactante, vazia ou em período inicial de gestação (mantença + ganho de tecidos maternos) pode ser calculado com base no intervalo entre parto e a concepção e na duração da lactação (idade à desmama adotado para o rebanho), como sendo:

$$PX = 135 + IPC - LACT \qquad \text{Eq. 11.28}$$

em que PX = duração do período (dias) em que as exigências da vaca deverão ser consideradas iguais às exigências de mantença + ganho de tecidos maternos (não lactante e vazia ou com exigências para gestação não significativas), IPC = intervalo entre parto e concepção ou período de serviço (dias) e LACT = duração da lactação (dias).

Tomando-se como base a Equação 11.28, uma vaca que emprenhar com 100 dias após o parto (IPC = 100), num sistema de produção com idade de bezerros à desmama de 7 meses (LACT = 210), terá um PX de 25 dias (PX = 135 + 100 – 210). Já uma vaca que emprenhar com 80 dias após o parto (IPC = 80), num sistema de produção que adota desmama precoce aos 3 meses de idade do bezerro (LACT = 90), terá um PX de 125 dias (PX = 135 + 80 – 90). Assim, no caso desse último exemplo, após a desmama, a vaca deverá receber dieta que atenda suas exigências de mantença + ganho de tecidos maternos por um período de 125 dias após a desmama, quando então deverá passar a receber uma dieta que atenda as exigências de mantença, ganhos de tecidos maternos e exigências para período médio de gestação.

Exigências de minerais para vacas gestantes e não gestantes

Para esta edição do BR-CORTE ainda não estão disponíveis dados de exigências de minerais para gestação em vacas zebuínas adultas. Dessa forma, sugere-se a adoção das estimativas de exigências de minerais para a mantença de fêmeas zebuínas de corte apresentadas no Capítulo 10 dessa edição do BR-CORTE. Para vacas gestantes, sugere-se um acréscimo de 20% nas exigências de minerais para mantença para os períodos médio e final de gestação. Assim, as exigências de minerais para vacas zebuínas vazias e gestantes podem ser calculadas de acordo com a Tabela 11.8.

Tabela 11.8 - Sugestão de cálculo para exigências nutricionais de minerais para vacas adultas zebuínas vazias e gestantes

Categoria	Exigências de minerais
Vacas vazias e até 135 dias de gestação	Mantença
Período médio de gestação (136 a 230 dias de gestação)	Mantença × 1,2
Período final de gestação (231 dias de gestação até o parto)	Mantença × 1,2

REFERÊNCIAS

ABIEC. *Estatísticas: balanço da pecuária. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes*. Available at:

AFRC. *Energy and Protein Requirements of Ruminants*. Wallingford, UK:Agricultural and Food Research Council. CAB International, 159p. 1993.

ANUALPEC. *Anuário da Pecuaria Brasileira*. FNP, 2015.

ARC. *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. London, UK:Agricultural Research Council. The Gresham Press, 351p, 1980.

Bargeloh, J. F.; Hibbs, J. W.;Conrad, H. R. Effect of prepartal hormone administration on feed intake and mineral metabolism of cows. *Journal of dairy science,* v. 58, n.11, p.1701-1707, 1975.

Barry, T. N. and Manley, T. R. Glucose and protein metabolism during late pregnancy intriplet-bearing ewes given fresh forages. 1. Voluntary intake and birth weight. *British Journal of Nutrition 54*: 521–534, 1986.

Baruselli, P.; Sales, J.; Sala, R.; Vieira, L. History, evolution and perspectives of timed artificial insemination programs in Brazil. *Animal Reproduction*, 9:139-152, 2012.

Battaglia, F. C.; Meschia, G. Fetal nutrition. *Annual Review of Nutrition*, 8:43-61, 1988.

Bauman, D. E. Regulation of nutrient partitioning during lactation: homeostasis and homeorhesis revisited. In: CRONJÉ, P.B.(Ed). *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*. New York: CABI Publishing, 311-328, 2000.

Bauman, D.E., and W.B Currie. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *Journal Dairy Science*. 63, 1514-1529, 1980.

Bell, A. W.; Ehrhardt, R. A. Placental regulation of nutrient partitioning during pregnancy. In: Hansel, W.; Bray, G. A.; Ryan, D. H.(Ed). *Nutrition and Reproduction*. Baton Rouge: Louisiana State University Press, 229-254, 1998.

Bell, A. W.; Burhans, W. S.; Overton, T. R. Protein nutrition in late pregnancy, maternal protein reserves and lactation performance in dairy cows. *Proceedings of the Nutrition Society*, 59:119-126, 2000.

Bell, A. W.; Ehrhardt, R. A. Regulation of macronutrient partitioning between maternal and conceptus tissues in the pregnant ruminant. In: Cronjé, J. S.(Ed). *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*. New York: CAB International, 275-293, 2000.

Bell, A. W.; Ferrell, C. L.; Freetly, H. C. Pregnancy and Fetal Metabolism. In: Dijkstra, J.; Forbes, J.M.; France, J.(Ed). *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*. 2.ed. Oxfordshire: CAB International, 523-550, 2005.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F., Gionbelli, M. P., Rotta, P. P., Marcondes, M. I., Chizzotti, M. L. *Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle – BR-CORTE*, 3 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2016.

Brody, S. *Bioenergetics and growth*. NY:Reinhold, 1023p, 1946.

Cano, J. G. The INRA systems of nutritional requirements of cattle .In: Simpósio Internacional Sobre Exigências Nutricionais De Ruminantes, 1. 1995, Viçosa, MG. *Anais*... Viçosa, MG:JARD, 1995.

Chiavegato, M. B.; Rowntree, J. E.; Carmichael, D.; Powers, W. J. Enteric methane from lactating beef cows managed with high- and low-input grazing systems. *Journal of Animal Science*, 93:1365-1375, 2015.

Coffey, K. P.; Paterson, J. A.; Saul, C. S.; Coffey, L. S.; Turner, K. E.; Bowman, J. G. The Influence of Pregnancy and Source of Supplemental Protein on Intake, 136 Digestive Kinetics and Amino Acid Absorption by Ewes. *Journal Animal Science*, 67: 1805- 1814, 1989.

Coppock, C. E.; C. H. Noller and S. A. Wolfe. Effect of energy-concentrate ratio in complete feeds fed ad libitum on energy intake in relation to requirements by dairy cows. *Journal Dairy Science*, 57:1371-1380, 1974.

CSIRO. *Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants*. Collingwood, VIC:Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 270p. 2007.

Duarte, M. S.; Gionbelli, M. P.; Paulino, P. V. R.; Serão, N. V. L.; Nascimento, C. S.; Botelho, M. E.; Martins, T. S.; Filho, S. C. V.; Dodson, M. V.; Guimarães, S. E. F.; Du, M. Maternal overnutrition enhances mRNA expression of adipogenic markers and collagen deposition in skeletal muscle of beef cattle fetuses. *Journal of Animal Science*, 92:3846-3854, 2014.

Ferrell, C. L.; Garrett, W. N.; Hinman, N. Growth, development and composition of the udder and gravid uterus of beef heifers during pregnancy. *Journal of Animal Science*, 42:1477-1489, 1976a.

Ferrell, C. L.; Garrett, W. N.; Hinman, N. Estimation of Body Composition in Pregnant and Non-Pregnant Heifers. *Journal of Animal Science*, 42:1158-1166, 1976b.

Ferrell, C. L.; Garrett, W. N.; Hinman, N.; Grichting, G. Energy Utilization by Pregnant and Non-Pregnant Heifers. *Journal of Animal Science*, 42:937-950, 1976c.

Ferrell, C. L.; Jenkins, T. G. Relationships among various body components of mature cows. *Journal of Animal Science*, 58:222-233, 1984a.

Ferrell, C. L.; Jenkins, T. G. Energy utilization by mature, nonpregnant, nonlactating cows of different types. *Journal of Animal Science*, 58:234-243, 1984b.

Fisher, L. J.; Lessard, J. R. Intake and digestibility of corn, rye and sorghum-sudan grass silages by lactating cows. *Canadian Journal Animal Science*, 67: 1027-1032, 1987.

Forbes, J. M. *A model of the short-term control of feeding in the ruminant: effects of changing animal or feed characteristics*. Appetite, 1: 21-41, 1980.

Forbes, J. M. The effect of pregnancy and fatness on the volume of rumen contents in the ewe. The *Journal of Agricultural Science* 72: 119-121, 1969.

Forbes, J. M. The physical relationships of the abdominal organs in the pregnant ewe. *The Journal of Agricultural Science* 70: 171-177, 1968.

Forbes, J. M. Integration of regulatory signals controlling forage intake in ruminants. *Journal of Animal Science*, 74:3029-3035, 1996.

Forbes, J. M. *Voluntary Food Intake and Diet Selection in Farm Animals*. 2nd.ed. Wallingford, UK:CABI Publishing, 2007. p.

Freetly, H. C.; Ferrell, C. L. Net flux of glucose, lactate, volatile fatty acids, and nitrogen metabolites across the portal-drained viscera and liver of pregnant ewes. *Journal of Animal Science*, 76:3133-3145, 1998.

Freetly, H. C.; Ferrell, C. L. Net flux of nonesterified fatty acids, cholesterol, triacylglycerol, and glycerol across the portal-drained viscera and liver of pregnant ewes. *Journal of Animal Science*, 78:1380-1388, 2000.

Friggens, N. C.; Emmans, G. C.; Kyriazakis, I.; Oldham, J. D.; Lewis, M. Feed intake relative to stage of lactation for dairy cows consuming total mixed diets with a high or low ration of concentrate to forage. *Journal Dairy Science*, 81:2228-2239, 1998.

Gagliostro, G. A.; Chilliard, Y.; Davicco, M.J. Duodenal Rapeseed Oil Infusion in Early and Midlactation Cows. 3. Plasma Hormones and Mammary Apparent Uptake of Metabolites, *Journal of Dairy Science*, 74, 1893-1903, 1991.

Galyean, M. L.; Cole, N. A.; Tedeschi, L. O.; Branine, M. E. Board-invited review: Efficiency of converting digestible energy to metabolizable energy and reevaluation of the California Net Energy System maintenance requirements and equations for predicting dietary net energy values for beef cattle. *Journal of Animal Science*, 94:1329-1341, 2016.

Gionbelli, M. P. *Nutrient requirements and quantitative aspects of growth, development and digestion of pregnant and non-pregnant nellore cows*. PhD Thesis (PhD in Animal Science) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. 198p. 2013.

Gionbelli, M. P.; Duarte, M. S.; Valadares Filho, S. C.; Freetly, H. C.; Paulino, P. V. R.; Rodrigues, F. C.; Silva, B. C.; Santos, T. R.; Sathler, D. F. T.; Machado, M. G.; Marcondes, M. I. Development of gravid uterus components in function of days of gestation and feeding level in pregnant Nellore cows. *Journal of Animal Science*, 91:320-321 (abstract W285), 2013.

Gionbelli, M. P.; Duarte, M. S.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Silva, B. C.; Sahtler, D. F. T.; Gionbelli, T. R. S.; Villadiego, F. A. C.; Silva, L. H. P. Effect of pregnancy and feeding level on voluntary intake, digestion and microbial N production in Nellore cows. *Journal of Animal Science*, 92, 2014.

Gionbelli, M. P.; Duarte, M. S.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Chizzotti, M. L.; Rodrigues, F. C.; Zanetti, D.; Gionbelli, T. R. S.; Machado, M. G. Achieving Body Weight Adjustments for Feeding Status and Pregnant or Non-Pregnant Condition in Beef Cows. *PLoS One*, 9, n.12, p.e115724, 2015a.

Gionbelli, M. P.; Duarte, M. S.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Gionbelli, T. R. S.; Zanetti, D.; Silva, L. H. P. Energy requirements for pregnant and nonpregnant Nellore cows. *Journal of Animal Science*, 93:547, 2015b.

Gionbelli, M. P.; Duarte, M. S.; Valadares Filho, S. C.; Ladeira, M. M.; Gionbelli, T. R. S. Recent advances in beef cows nutrition according to the physiological stage. In: Ladeira, M. M.; Gionbelli, M. P.; Teixeira, P. D., et al.(Ed). *IX SIMPEC - 4th International Symposium of Beef Cattle Production*.ed. Lavras, MG, Brazil: Suprema Gráfica e Editora, 15-36, 2015c.

Gunter, S. A.; Judkins, M. B.; Krysl, L. J.; Broesder, J. T.; Barton, R. K.; Rueda, B. R.; Hallford, D. M.; Holcombe, D. W. Digesta kinetics, ruminal fermentation characteristics and serum metabolites of pregnant and lactating ewes fed chopped alfalfa hay. *Journal Animal Science*, 68: 3821-3831, 1990.

Hammond, J. Animal breeding in relation to nutrition and environmental conditions. *Biological Reviews*, 22:195-213, 1947.

Ingvartsen, K. L.; Andersen, B. B. Integration of metabolism and intake regulation: A review focusing on periparturient animals. *Journal of Dairy Science*, 83:1573-1597, 2000.

Ingvartsen, K. L.; Andersen, H. R.; Foldager, J. Effect of sex and pregnancy on feed intake capacity of growing cattle. *Acta Agriculture Scandinavia*, 42: 40-46, 1992.

INRA. *Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux. Valeurs des aliments*. Versailles, France:Editions Quae, 307p. 2007.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2015. Indicadores IBGE : Estatística da Produção pecuária. 2015.

Jank, L.; Barrios, S. C.; Do Valle, C. B.; Simeao, R. M.; Alves, G. F. The value of improved pastures to Brazilian beef production. *Crop & Pasture Science*, 65:1132-1137, 2014.

Kaske, M.; Groth, A. Changes in factors affecting the rate of digesta passage during pregnancy and lactation in sheep fed on hay. *Reprod. Nutr. Dev.,* 37: 573- 588, 1997.

Lagerlof, Nils Petrus. *Investigations of the Topography of Abdominal Organs in Catle: And Some Clinical Observations and REmarks in Connection with the Subject.* Almqvist & Wiksells, 1929.

Lamberth, J. The effect of pregnancy in heifers on voluntary intake, total rumen contents, digestibility and rate of passage. *Australian Journal of Experimental Agriculture,* 9: 493-496, 1969.

Mamontov, E. Modelling homeorhesis by ordinary differential equations. *Mathematical and Computer Modelling*, 45:694-707, 2007.

Meschia, G.; Battaglia, F. C.; Hay, W. W. et al. *Utilization of substrates by the ovine placenta in vivo*. Federation Proceedings, 39, 245–249, 1980.

Mcneill, D. M.; Slepetis, R.; Ehrhardt, R. A.; Smith, D. M.; Bell, A. W. Protein requirements of sheep in late pregnancy: partitioning of nitrogen between gravid uterus and maternal tissues. *Journal of Animal Science*, 75:809-816, 1997.

Muhlhausler, B. S.; Duffield, J. A.; Mcmillen, I. C. Increased maternal nutrition stimulates peroxisome proliferator activated receptor-gamma, adiponectin, and leptin messenger ribonucleic acid expression in adipose tissue before birth. *Endocrinology*, 148:878-885, 2007.

NASEM-National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*: Eighth Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/19014.

NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle.* updated 7th.ed. Washington, DC, USA:National Academy Press, 242p. 2000.

Prior, R. L.; Laster, D. B. Development of the bovine fetus. *Journal of Animal Science*, 48:1546-1553, 1979.

Psiuk-Maksymowicz, K.; Mamontov, E. Homeorhesis-based modelling and fast numerical analysis for oncogenic hyperplasia under radiotherapy. *Mathematical and Computer Modelling*, 47:580-596, 2008.

Ritchie, R. W. The optimum cow – what criteria must she meet? .In:Research symposium and annual meeting, 27, 1995, Kansas City. Anais. Kansas City:Beef Improvement Federation, p.126-145. 1995.

Robinson, P. H., S. Tamminga, and A. M. Van Vuuren. "Influence of declining level of feed intake and varying the proportion of starch in the concentrate on rumen ingesta quantity, composition and kinetics of ingesta turnover in dairy cows. *Livestock Production Science* 17 (1987): 37-62.

Russell, R. G.; Oteruelo, F. T. An ultrastructural study of the differentiation of skeletal muscle in the bovine fetus. *Anat Embryol (Berl)*, 162:403-417, 1981.

Vasconcelos, J. L. M.; Meneghetti, M. Sincronização de ovulação como estratégia para aumentar a eficiência reprodutiva de fêmeas bovinas, em larga escala. *Simpósio de Produção de Gado de Corte*, v.1, p.529-541, 2006.

Wu, G.; Bazer, F. W.; Wallace, J. M.; Spencer, T. E. Board-invited review: Intrauterine growth retardation: Implications for the animal sciences. *Journal of Animal Science*, 84:2316, 2006.

Zhu, M. J.; Ford, S. P.; Means, W. J.; Hess, B. W.; Nathanielsz, P. W.; Du, M. Maternal nutrient restriction affects properties of skeletal muscle in offspring. *The Journal of Physiology*, 575:241-250, 2006.

Zhu, M. J.; Han, B.; Tong, J.; Ma, C.; Kimzey, J. M.; Underwood, K. R.; Xiao, Y.; Hess, B. W.; Ford, S. P.; Nathanielsz, P. W.; Du, M. AMP-activated protein kinase signalling pathways are down regulated and skeletal muscle development impaired in fetuses of obese, over-nourished sheep. *J Physiol*, 586:2651-2664, 2008.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-192-0.2023.C012.p.299-328

12

Exigências nutricionais de vacas de corte lactantes e seus bezerros

Sidnei Antônio Lopes, Luiz Fernando Costa e Silva, Sebastião de Campos Valadares Filho, Matheus Fellipe de Lana Ferreira, Douglas Teixeira Saraiva, Éllem Maria de Almeida Matos, Pedro Veiga Rodrigues Paulino, Mário Fonseca Paulino, Gustavo Rezende Siqueira

INTRODUÇÃO

Na produção de bovinos de corte, a fase de cria tem grande impacto na cadeia produtiva da carne pois fornece os futuros animais que serão utilizados nas fases seguintes do sistema de produção. Adicionalmente, essa fase é caracterizada pela utilização de um grande número de animais, em que aproximadamente 31% do rebanho de produção são representados por vacas de corte (Calegare, 2004). Estima-se que aproximadamente 70% das exigências de energia requerida para a produção de carne são utilizadas para funções envolvidas com a mantença das vacas (Ferrell e Jenkins, 1985). Assim, quase 50% da energia requerida para produzir um animal até o abate é utilizada para manutenção das vacas.

Nesse sentido, a pecuária brasileira tem sido pressionada a desenvolver um programa de produção contínua de carne eficiente e competitivo com base nas áreas de pastagens atualmente utilizadas, o que obrigatoriamente se baseia na redução do ciclo produtivo. Dessa forma, os sistemas de produção têm se intensificado a fim de reduzir a idade de abate dos animais, elevando a quantidade e a qualidade dos produtos ofertados. Sob essa ótica, um primeiro passo que se torna essencial é o conhecimento do consumo de matéria seca (CMS) potencial das vacas e dos bezerros, para um adequado planejamento e adoção de tecnologias, a fim de alcançar as metas produtivas estabelecidas no sistema.

Durante a fase de cria, a mensuração correta da produção de leite torna-se indispensável uma vez que essa retrata a quantidade de nutrientes que a vaca está secretando no leite. Além disso, essa estimativa será considerada para calcular a quantidade de nutrientes que o bezerro está ingerindo pelo leite, o que será levado em consideração para o atendimento das exigências nutricionais desses animais, sendo, portanto, um fator que interfere diretamente no desempenho dos bezerros. A produção de leite pode ser medida diretamente ou indiretamente, sendo que os métodos mais comuns são: a pesagem do bezerro antes e após a mamada (Williams et al., 1979), a ordenha manual (Totusek et al., 1973; Ferreira et al., 2020) e a ordenha mecânica após aplicação de ocitocina (Lopes et al., 2014: Almeida et al., 2018; Ferreira et al., 2021).

Independentemente do método de coleta, a estimativa da produção de leite de vacas de corte é laboriosa pois demanda manejos extensos e intensivos de separação do bezerro. Essas circunstâncias explicam não só a escassez de estudos, mas também o baixo número de pontos da lactação avaliados para ajustar uma equação que descreve a produção de leite para vacas de corte em pastejo.

As exigências de energia do animal correspondem ao somatório das necessidades de mantença e produção que por sua vez, podem ser divididas em: exigências de energia para crescimento, lactação e gestação (Webster, 1979). Todavia, poucos estudos (Fonseca, 2012a; b) foram conduzidos no Brasil para estimar as exigências nutricionais dos animais na fase de cria, ou seja, das vacas lactantes e dos bezerros lactentes. Com isso, a partir do conhecimento da produção de leite e das exigências nutricionais dos bezerros, a quantidade de energia e proteína secretada pelo leite pode ser conhecida, o que permitiria estimar o momento em que o leite não fornece quantidades suficientes de nutrientes e, assim, obter o momento correto para que haja a suplementação dos bezerros.

O consumo de energia metabolizável (CEM) para que não ocorram mudanças na energia presente no corpo irá influenciar as exigências dietéticas de energia para mantença, sendo essa considerada uma característica de moderada a alta herdabilidade (Carstens et al., 1988). Com isso, a ineficiência

energética, de 60 a 70% do total de energia exigida para mantença dos animais (Bottje e Carstens, 2009), tem sido atribuída ao *turnover* proteico, bomba de íons (Na^+ e K^+) e ao desacoplamento da fosforilação oxidativa na mitocôndria. Assim, a seleção de animais que possuem exigências para mantença mais baixas poderia ser adotada objetivando obter animais mais eficientes.

Nesse capítulo, serão apresentadas discussões sobre equações desenvolvidas para estimar o CMS e a produção e composição do leite de vacas Nelore lactantes, bem como o CMS de bezerros Nelore lactentes. Ainda, serão apresentadas as exigências de energia, proteína e minerais para vacas Nelore lactantes e seus bezerros.

CONSUMO DE MATÉRIA SECA DE VACAS DE CORTE LACTANTES

Na edição do BR-CORTE (2016) foi utilizado o modelo de Wilmink (1987) acrescido da variável ganho médio diário (GMD), a partir do estudo de Costa e Silva (2015), que avaliou cinco modelos disponíveis para estimar o CMS de vacas Nelore durante sete meses de lactação. Nesse estudo, as vacas receberam uma dieta com alta quantidade de silagem de milho, no intuito de simular uma dieta a pasto, obtendo o seguinte modelo:

$$CMS\ (g/kg\ PC) = 27,259 - 13,861 \times exp^{(-0,836 \times SL)} - 0,317 \times SL + 0,606 \times GMD,$$

em que: CMS = consumo de matéria seca, SL = semana de lactação, GMD = ganho médio diário.

Apesar de apresentar melhor estimativa do CMS do que a edição do BR-CORTE (2010), que considerou um valor constante de 2,39% do PC para vacas Nelore lactantes durante os seis primeiros meses de lactação, a equação sugerida não estimou corretamente o CMS, a partir de um banco de dados independente com 372 observações (Tabela 12.2), devido provavelmente ao fato da equação ter sido gerada usando dados de vacas Nelore consumindo silagem de milho (Costa e Silva, 2015).

Porém, considerando que vacas em pastejo estão sujeitas a variações na disponibilidade e valor nutritivo da forragem, uma nova equação foi elaborada a partir de dados de 3 experimentos conduzidos com vacas Nelore em lactação sob pastejo (Tabela 12.1), contendo 372 observações, sendo o modelo de Wilmink (1987), acrescido da variável produção de leite (PL) aquele que proporcionou as melhores estimativas do CMS (Figura 12.1).

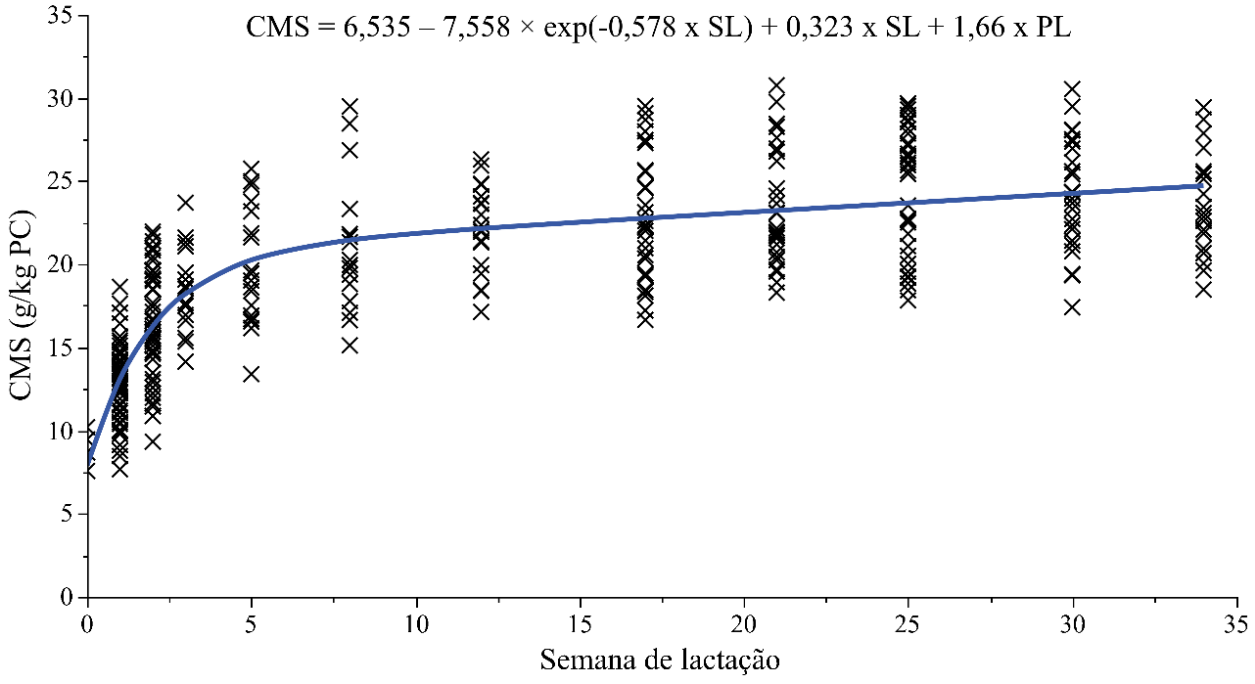


Figura 12.1 - Consumo de matéria seca (g/kg PC) de vacas Nelore durante o período de lactação.

A nova equação obtida foi:

$$CMS\ (g/kg\ PC) = 6,535 - 7,558 \times \exp^{(-0,578 \times SL)} + 0,323 \times SL + 1,66 \times PL,$$

em que: CMS = consumo de matéria seca, SL = semana de lactação, PL = produção de leite (kg).

Considerando os valores preditos pela nova equação sugerida e a recomendação do BR-CORTE (2016), percebe-se que a equação recomendada pelo BR-CORTE (2016) superestima o CMS em 6,1 g/kg PC dia (13,4 *vs*. 7,3 g/kg PC) no dia do parto (Semana 0) e subestima em 6,4 g/kg PC dia (17,8 *vs*. 24,2 g/kg PC) na semana 30.

Um banco de dados independente contendo 92 observações (Tabela 12.1), foi utilizado para validar a equação sugerida por Wilmink (1987).

Tabela 12.1 - Estatística descritiva do banco de dados utilizado para desenvolver e validar as equações de predição do consumo de matéria seca (CMS) de vacas de corte

Estudo	Item	n	Média	DP	Máximo	Mínimo
Dados para desenvolvimento da equação						
Matos (2023)	Semana de lactação	217	22,1	7,8	34	8
	Produção de leite[1]	217	5,8	0,8	7,2	4,6
	CMS total	217	23,3	3,6	30,8	15,1
	Peso corporal	217	527	65	680	416
	Ganho médio diário	217	0,11	0,13	0,35	-0,17
David (2022)	Semana de lactação	37	4,4	1,4	6	3
	Produção de leite[1]	37	7,4	0,1	7,5	7,4
	CMS total	37	20	2,6	25,7	13,4
	Peso corporal	37	518	74,1	639	407
	Ganho médio diário	37	-0,11	0.35	-0,07	-0,17
Ferreira (2022)	Semana de lactação	118	1,7	1	3	0
	Produção de leite[1]	118	6,4	1,4	7,6	-
	CMS total	118	14	3,1	23,7	7,6
	Peso corporal	118	495	9,7	528	455
Dados para validação da equação						
Lopes (2012)	Semana de lactação	-	26,5	5,45	37	12
	Produção de leite[1]	143	6,97	1,58	9,99	4,24
	CMS total	32	11,8	2,35	17	7,95
	Peso corporal	32	481	50,6	558	359
	Ganho médio diário	32	-0,34	0,35	0,22	-1,38
Cardenas (2012)	Semana de lactação	-	28,1	6,38	40	12
	Produção de leite[1]	170	7	1,36	9,87	4,21
	CMS total	60	12,9	1,45	16,7	9,94
	Peso corporal	60	450	51,6	567	362
	Ganho médio diário	60	0,2	0,09	0,4	-0,04

[1] Produção de leite estimada, usando dados da equação descrita na Figura 12.2.

A partir das avaliações descritas na Tabela 12.2, observa-se que o intercepto e a inclinação da equação não foram diferentes de 0 e 1, respectivamente. Além disso, o erro médio de predição foi próximo de zero, estando esse associado ao erro aleatório (Tabela 12.2).

Assim, na atual edição, o BR-CORTE recomenda que o CMS de vacas Nelore seja estimado a partir da seguinte equação:

$$CMS\ (g/kg\ PC) = 6,535 - 7,558 \times \exp^{(-0,578 \times SL)} + 0,323 \times SL + 1,66 \times PL$$

PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DO LEITE DE VACAS NELORE

Como descrito anteriormente, a correta estimativa da produção de leite de vacas de corte é importante para o cálculo de exigências nutricionais para vacas e bezerros. Neste sentido, torna-se necessário entender as

metodologias de coletas de leite para essas estimativas.

Os primeiros estudos avaliando a produção de leite de vacas de corte se basearam numa estimativa indireta, pesando os bezerros antes e após a mamada. Esta técnica gera grande estresse nos animais devido ao excesso de manejo, além de maior variação e erro na coleta, uma vez que qualquer fator no momento da pesagem (erro na balança, bezerros que urinam e defecam no momento da mamada) causará grande variação nas estimativas de PL.

Com o passar dos anos, a ordenha manual ou mecânica se tornou a metodologia mais utilizada para esse tipo de avaliação (Ferreira et al., 2021). Contudo, existem duas formas de estimar a produção de leite de vacas de corte sem um consenso na literatura: ordenha apenas pela manhã e corrigir para 24 horas (M24), e ordenhar de manhã e à tarde do mesmo dia (MT). No método M24, o registro dos horários de separação do bezerro da mãe no dia anterior e o final da ordenha no dia seguinte são fundamentais (Costa e Silva, 2015).

Nesse sentido, esta edição se baseou na abordagem meta-analítica de Lopes et al. (2022), que reuniu informações de 16 experimentos com vacas Nelore em pastejo entre 2014 e 2021, totalizando 1.503 observações (Tabela 12.3). Este trabalho trouxe informações sobre a metodologia da estimativa da produção de leite, além de novas equações para estimativa de produção e composição do leite de vacas Nelore.

Tabela 12.2 - Média (kg) e estatística descritiva para a relação entre os valores observados e preditos para o consumo de matéria seca (CMS) de vacas Nelore em lactação

Item	CMS total de vaca		
	OBS[1]	BR-CORTE (2016)[2]	BR-CORTE (2023)[3]
Média	19,8	21,5	22,7
DP	5,45	2,69	1,95
Máximo	30,7	25,4	20,2
Mínimo	6,07	13,4	16,2
R	-	0,04	0,52
CCC[4]	-	-0,15	0,44
Regressão			
Intercepto			
Estimativa	-	28,48	-1,88
EP	-	2,31	3,32
P-valor[5]	-	<0,0001	0,57
Inclinação			
Estimativa	-	-0,40	1,19
EP	-	0,11	0,15
P-valor[6]	-	<0,0001	0,19
QMEP[7]	-	45,19	11,48
Vício	-	3,07	5,9
Erro sistemático	-	2,54	0,13
Erro aleatório	-	27,9	5,45

[1]OBS = valores observados; [2]BR-CORTE (2016) = valores preditos da equação gerada a partir do modelo proposto por Wilmink (1987) adicionado do ganho médio diário (GMD); [3]BR-CORTE (2023) = valores preditos da equação gerada a partir do modelo proposto por Wilmink (1987) adicionado da produção de leite (PL); [4]CCC = coeficiente de correlação e concordância; [5]H_0: $\beta_0 = 0$; [6]H_0: $\beta_1 = 1$; [7]QMEP = quadrado médio do erro de predição.

Inicialmente, os autores compararam a produção de leite estimada pelo método M24 (Valente et al., 2013; Lopes et al., 2014) e o método MT (Almeida, et al., 2018; Ferreira et al., 2021; Tabela 12.3). O método M24 foi aplicado aos estudos que ordenharam manhã e tarde, e os dois métodos foram comparados dentro do subconjunto MT. Não foi observada diferença na produção de leite de acordo com o método de coleta. As médias foram de 6,70 e 6,51 kg,

respectivamente. Assim, para a avaliação da produção de leite de vacas Nelore, sugere-se a ordenha pela manhã corrigida para 24 horas como descrito nos estudos de Valente et al. (2013) e Lopes et al. (2014), devido a menor laboriosidade e interferência no comportamento dos animais.

Para a estimativa da produção de leite, a edição do BR-CORTE (2016) se baseou no trabalho desenvolvido por Costa e Silva (2015) para sugerir a equação para estimar a produção de leite de vacas Nelore. O autor avaliou cinco modelos disponíveis para estimar a produção e composição do leite de vacas Nelore durante sete meses de lactação. Nesse estudo, as vacas receberam uma dieta com alta quantidade de silagem de milho (85%) no intuito de simular uma dieta a pasto.

A equação que apresentou as melhores estimativas foi aquela ajustada usando o modelo proposto por Cobby e Le Du (1978). Assim, O BR-CORTE (2016) adotou a seguinte equação:

$$PL = 8{,}819 - 0{,}069 \times SL - 8{,}819 \times \exp^{(-3{,}211 \times SL)},$$

em que PL = produção de leite; SL = semana de lactação.

Apesar de apresentar melhor estimativa do que a edição anterior, a equação sugerida superestima a produção de leite, uma vez que foi gerada usando dados de vacas Nelore em confinamento (Ferreira et al., 2021). Dessa forma, Ferreira et al. (2021) desenvolveram novas equações de acordo com a ordem de parto para estimar a produção de leite de vacas Nelore em condições de pastejo. Porém, considerando que vacas em pastejo estão sujeitas a variações na disponibilidade e valor nutritivo da forragem, foi necessário, usar uma equação robusta que incluísse um grande número de dados de diferentes regiões e rebanhos para maior confiabilidade.

No estudo de Lopes et al. (2022), foram utilizados 9 trabalhos para gerar novas equações para vacas multíparas e 3 estudos escolhidos aleatoriamente para validação independente da equação (Tabela 12.3). Considerando que vacas multíparas e primíparas diferem em potencial de produção de leite (Ferreira et al., 2021) foram utilizados outros 4 estudos para o desenvolvimento de uma equação para estimar a produção de leite de vacas primíparas separadamente (Tabela 12.3).

A equação sugerida no BR-CORTE (2016) não estimou adequadamente os dados observados e apresentou maior viés e erro de predição (Tabela 12.4). Assim, a equação para estimativa de produção de leite para vacas de corte multíparas foi reajustada, e validada utilizando o banco de dados proveniente da meta-análise. A inclusão de uma equação para primíparas foi sugerida. Porém, devido ao baixo número de observações, não foi possível a realização de uma validação independente. Contudo, dado o ineditismo dessa equação contendo estudos em anos diferentes, sugere-se que a mesma seja utilizada até que mais dados estejam disponíveis para sua validação.

Tabela 12.3 - Estatística descritiva do banco de dados utilizado para desenvolver e validar as equações para estimar a produção de leite de vacas de corte

Estudo	Método de coleta	n	Produção de leite				Semana de lactação		
			Média	DP	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
Multíparas									
Lopes et al. (2014)	Corrigida para 24 horas	84	6,4	1,6	1,4	10,5	28	12	40
Lopes et al. (2016)	Corrigida para 24 horas	17	78	1,6	4,3	10,7	7	4	12
Carvalho (2018) [1]	Corrigida para 24 horas	30	5,7	1,6	2,1	9,3	26	21	32
Lage (2019) [1]	Manhã e tarde	70	5,0	1,8	1,5	8,8	29	23	35
de Paula et al. (2022)	Manhã e tarde	65	5,5	1,4	2,4	8,7	25	17	32
Moreira (2022) [1]	Manhã e tarde	71	7,1	1,8	2,5	10,3	25	17	32
Saraiva (2023)[1]	Manhã e tarde	104	6,9	2,1	1,7	11,4	19	6	32
Ferreira et al. (2020)	Manhã e tarde	74	7,8	1,3	4,1	10,4	5	3	7
Ferreira et al. (2021)	Manhã e tarde	99	6,6	1,6	2,6	10,1	12	1	30
Souza (2021) [1]	Corrigida para 24 horas	178	4,9	1,6	2,0	9,7	17	4	30
Nascimento (2021)[1]	Corrigida para 24 horas	139	5,5	2,0	0,6	10,9	17	4	30
Rodrigues (2021)[1]	Manhã e tarde	134	5,9	1,6	2,5	9,8	10	1	29
Primíparas									
Melo (2018)	Corrigida para 24 horas	55	5,0	1,5	2,4	8,6	5	2	9
Ferreira et al. (2021)	Manhã e tarde	164	5,9	1,5	2,5	9,18	12	1	30
Rodrigues (2021)[1]	Manhã e tarde	124	6,0	1,3	2,9	8,8	10	1	29
Vital (2021)	Corrigida para 24 horas	95	5,3	1,5	1,6	9,2	5	2	9

[1]dados não publicados. Adaptada de Lopes et al. (2022).

Tabela 12.4 - Média (kg) e estatística descritiva para a relação entre os valores observados e preditos para produção de leite

Item	Produção de leite		
	OBS[1]	Cobby e Le Du (1978)[2]	BR-CORTE (2016)[3]
Média	6,39	6,52	7,88
DP	1,84	0,95	0,67
Máximo	10,9	7,59	8,67
Mínimo	2,33	4,97	6,75
R	-	0,53	0,57
CCC[4]	-	0,42	0,15
Regressão			
Intercepto			
Estimativa	-	-0,34	-6,08
EP	-	0,664	1,07
P-valor[5]	-	0,600	< 0,0001
Inclinação			
Estimativa	-	1,03	2,38
EP	-	0,100	0,13
P-valor[6]	-	0,769	< 0,0001
QMEP[7]	-	2,57	4,84
Vício	-	0,024	2,32
Erro sistemático	-	0,0008	0,15
Erro aleatório	-	2,55	2,36

[1]OBS = valores observados; [2]Cobby e Le Du (1978) = valores preditos pela equação gerada a partir do modelo proposto por Cobby e Le Du (1978); [3]BR-Corte (2016) = valores preditos pela equação sugerida por Valadares Filho et al. (2016); [4]CCC = coeficiente de correlação e concordância; [5]H_0: $\beta_0 = 0$; [6]H_0: $\beta_1 = 1$; [7]QMEP = quadrado médio do erro de predição.

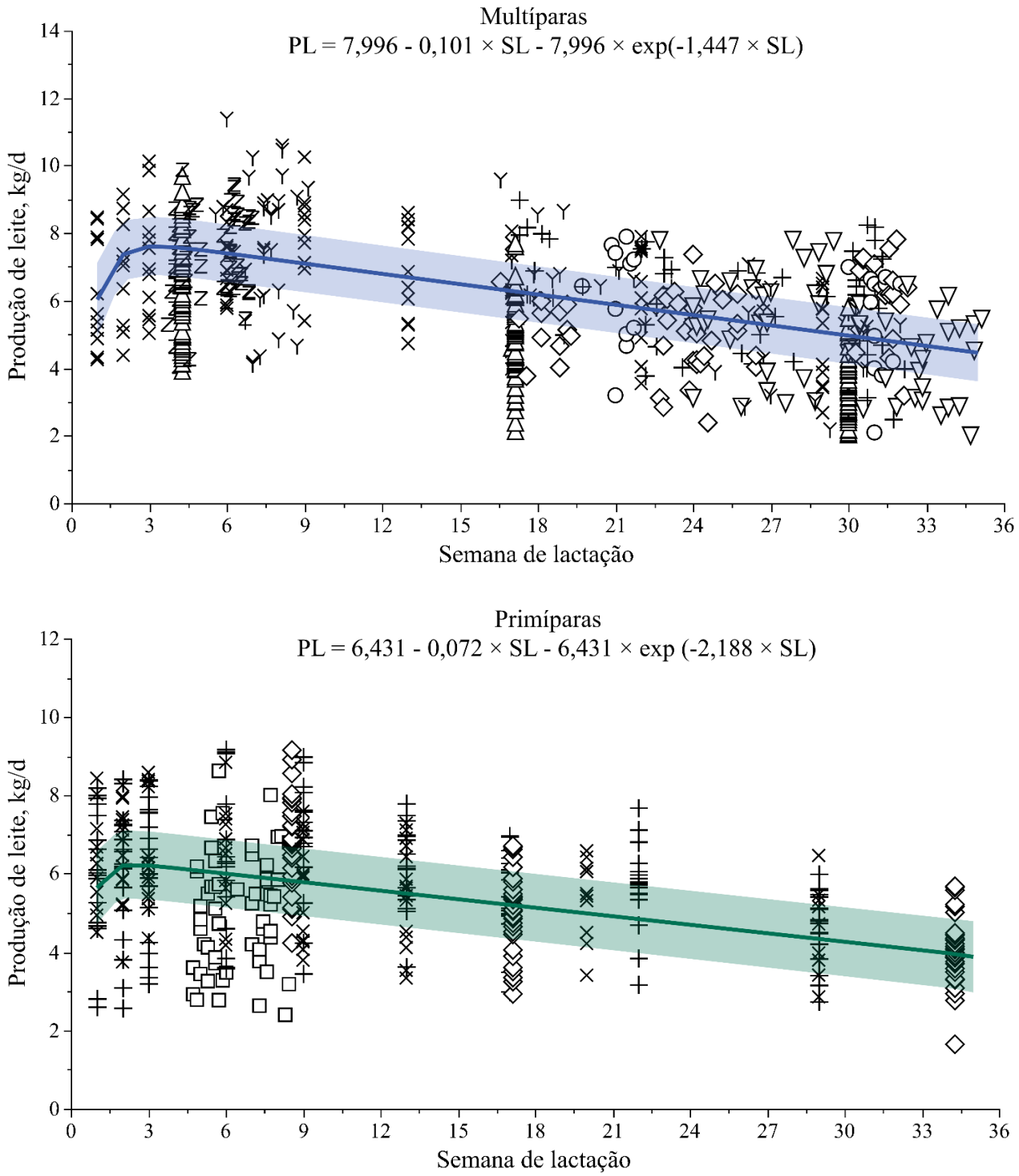


Figura 12.2 - Equações estimadas para predizer a produção de leite de vacas Nelore multíparas e primíparas de acordo com a semana de lactação.

As novas equações sugeridas foram também baseadas no modelo proposto por Cobby e Le Du (1978), sendo:

$PL = 7,996 - 0,101 \times SL - 7,996 \times \exp^{(-1,447 \times SL)}$,

obtida para vacas multíparas (> 3 anos) e a equação:

$PL = 6,431 - 0,072 \times SL - 6,431 \times \exp^{(-2,188 \times SL)}$

encontrada para vacas primíparas (≤ 3 anos).

De acordo com as novas equações desenvolvidas, estima-se que a produção de leite no pico de produção seja de 7,59 kg para multíparas e 6,22 kg para primíparas, sendo o tempo até o pico de 3 a 5 semanas (Lopes et al., 2022).

Os mesmos estudos utilizados na meta-análise (Lopes et al., 2022) foram base para estimativa da composição do leite ao longo da lactação. Dessa forma, foi gerada uma média para cada componente do leite, assim como equações lineares para estimar a composição do leite de acordo com a semana de lactação (Tabela 12.5).

Os valores atualizados foram próximos aos recomendados pela edição do BR-CORTE (2016), exceto pela gordura (5,60 *vs.* 4,76%) e sólidos totais (15,00 *vs.*13,92%).

A maior porcentagem de gordura no leite encontrado na edição anterior pode ser explicada pelos dados serem provenientes de vacas mantidas em confinamento e alimentadas com silagem de milho (Costa e Silva, 2015). O maior aporte energético na dieta possivelmente levou a um aumento na produção de acetato e assim proporcionou uma maior quantidade de substrato para a síntese de gordura *de novo* na glândula mamária. Assim, a maior porcentagem de gordura também impactou nos valores de sólidos totais.

A composição mineral do leite de vacas Nelore apresentada foi baseada no estudo de Costa e Silva et al. (2015a), com as seguintes concentrações médias: 1,11% Ca, 0,76% P, 0,20% de Na, 0,25% de S, 0,23 ppm de Co, 3,20 ppm de Cr, 29,9 ppm de Fe, 1,40 ppm de Mn e 35,4 ppm de Zn (Tabela 12.6).

Tabela 12.5 - Média (%) e estimativa da composição do leite de acordo com a semana de lactação

Componentes	Média	Equações
Gordura, %	4,76	4,52 + 0,018 x SL[1]
Proteína, %	3,56	3,37 + 0,010 x SL
Lactose, %	4,56	4,81 − 0,010 x SL
Sólidos totais, %	13,92	13,6 + 0,021 x SL

[1]SL = semana de lactação. Adaptado de Lopes et al., (dados não publicados).

Tabela 12.6 - Composição de mineral do leite de vacas Nelore durante a lactação

Componentes	Dias de lactação							EPM	Valor P
	28	56	84	112	140	168	196		
Ca (g/kg)	1,13	1,10	1,10	1,10	1,12	1,11	1,10	0,03	0,46
P (g/kg)	0,81^{a}	0,74^{b}	0,73^{b}	0,76^{ab}	0,77^{ab}	0,77^{ab}	0,76^{ab}	0,02	0,01
Mg (g/kg)	0,06^{c}	0,07^{c}	0,07^{c}	0,07^{bc}	0,08^{ab}	0,08^{a}	0,08^{a}	0,01	<0,001
K (g/kg)	0,71^{ab}	0,70^{ab}	0,71^{ab}	0,73^{a}	0,73^{ab}	0,69^{ab}	0,65^{b}	0,03	0,04
Na (g/kg)	0,22^{a}	0,20^{b}	0,19^{b}	0,19^{b}	0,19^{b}	0,19^{b}	0,20^{ab}	0,01	<0,001
S (g/kg)	0,26	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,01	0,08
Co (ppm)	0,23^{ab}	0,26^{a}	0,19^{b}	0,22^{ab}	0,25^{ab}	0,22^{ab}	0,23^{ab}	0,02	0,03
Cr (ppm)	3,19	3,33	3,24	3,03	3,28	3,27	3,05	0,20	0,12
Cu (ppm)	3,01^{a}	2,28^{b}	1,98^{b}	1,78^{b}	1,73^{b}	1,55^{b}	1,54^{b}	0,20	<0,001
Fe (ppm)	27,9	29,9	27,4	29,3	30,1	32,5	32,0	3,1	0,58
Mn (ppm)	1,47	1,26	1,24	1,36	1,47	1,53	1,47	0,2	0,21
Zn (ppm)	41,1^{a}	35,5^{b}	34,1^{b}	33,9^{b}	34,6^{b}	34,7^{b}	33,8^{b}	1,8	<0,001

Adaptada de Costa e Silva et al. (2015a).

Tabela 12.7 - Estatística descritiva do banco de dados independente utilizado para avaliar a predição do consumo de matéria seca de volumoso e concentrado de bezerros de corte lactentes

Estudo	Item	n	Média	DP	Máximo	Mínimo
Lopes (2012)	Idade (dias)		170	-	-	-
	CMS de concentrado	53	0,63	0,32	0,80	0,00
	CMS de volumoso	53	2,02	0,59	3,34	0,79
	Peso corporal	53	188	31,0	256	123
	Ganho médio diário	53	0,85	0,12	1,14	0,64
Cardenas (2012)	Idade (dias)		192	33,2	245	120
	CMS de concentrado	62	0,46	0,2	0,97	0,04
	CMS de volumoso	62	1,86	0,47	3,04	0,88
	Peso corporal	62	217	30,2	285	154
	Ganho médio diário	62	0,67	0,09	0,92	0,42
Márquez (2013)	Idade (dias)		150	-	-	-
	CMS de concentrado	28	1,08	0,56	2,63	0,28
	CMS de volumoso	28	2,17	1,15	6,31	0,77
	Peso corporal	28	202	21,6	255	151
	Ganho médio diário	28	0,94	0,09	1,13	0,74
Lopes (2015)	Idade (dias)		190	-	-	-
	CMS de concentrado	42	0,84	0,61	1,62	0
	CMS de volumoso	42	2,01	0,41	3,21	1,38
	Peso corporal	42	203	29,0	264	148
	Ganho médio diário	42	0,84	0,12	1,14	0,56
Martins (2017)	Idade (dias)		182	-	-	-
	CMS de concentrado	47	0,75	0,63	2,79	0,00
	CMS de volumoso	47	2,32	1,05	5,63	1,00
	Peso corporal	47	212	28,1	296	161
	Ganho médio diário	47	0,81	0,17	1,08	0,43

CONSUMO DE MATÉRIA SECA DE BEZERROS NELORE LACTENTES

A edição do BR-CORTE em 2010 recomendou o valor constante de 2,35% PC para o CMS total de bezerros Nelore lactentes durante os seis primeiros meses de lactação; essa recomendação foi oriunda do estudo conduzido por Fonseca (2009).

No entanto, Costa e Silva (2015) avaliou cinco modelos disponíveis na literatura para estimar o CMS de volumoso e concentrado para bezerros Nelore durante a fase de amamentação. Assim, conhecendo o consumo de leite através da PL das vacas e o multiplicando pelo seu teor de MS obtêm-se o CMS de leite.

Dessa forma, fazendo-se a soma do CMS de leite e dos alimentos sólidos pode-se obter o CMS total dos bezerros no período de amamentação. Assim, na edição do BR-CORTE (2016), a seguinte equação proposta por Costa Silva (2015) foi adotada para estimar o consumo de matéria seca de volumoso e concentrado:

$$CMSvc = 0,353 - 0,532 \times CMSleite + 0,01065 \times PC + 0,3497 \times GMD,$$

em que CMSvc = consumo de matéria seca de volumoso e concentrado (kg/dia), CMSleite = consumo de matéria seca do leite (kg/dia), PC = peso corporal (kg), GMD = ganho médio diário (kg/dia).

Adicionalmente, a partir de um banco de dados independente que continha 232 observações provenientes de cinco experimentos conduzidos em condições de pastagem (Tabela 12.7), essa equação foi avaliada, resultando na correta estimativa do CMS de volumoso e concentrado de bezerros de corte lactentes (Tabela 12.8), sendo então essa equação sugerida pelo BR-CORTE.

Tabela 12.8 - Média (kg) e estatística descritiva para a relação entre os valores observados e preditos para o CMS de volumoso e concentrado de bezerro

Item	CMS de volumoso e concentrado	
	OBS[1]	BR-CORTE (2016)[2]
Média	2,51	2,34
DP	0,64	0,34
Máximo	3,99	3,37
Mínimo	0,99	1,35
R	-	0,44
CCC[3]	-	0,33
Regressão		
Intercepto		
Estimativa	-	0,55
EP	-	0,29
P-valor[4]	-	0,054
Inclinação		
Estimativa	-	0,85
EP	-	0,12
P-valor[5]	-	0,24
QMEP[6]	-	0,40
Vício	-	0,04
Erro sistemático	-	0,002
Erro aleatório	-	0,35

[1]OBS = valores observados; [2]BR-Corte (2016) = valores preditos pela equação sugerida por Valadares Filho et al. (2016); [3]CCC = coeficiente de correlação e concordância; [4]H_0: $\beta_0 = 0$; [5]H_0: $\beta_1 = 1$; [6]QMEP = quadrado médio do erro de predição.

SUPLEMENTAÇÃO DE BEZERROS NO PERÍODO DE AMAMENTAÇÃO

Considerando a curva de lactação de vacas Nelore, a composição média do leite e de acordo com as exigências nutricionais obtidas para os bezerros na fase pré-desmama, torna-se possível estimar o momento em que o leite não é mais suficiente para suprir os nutrientes demandados para o crescimento do bezerro. Considerando a energia e a proteína como os nutrientes mais limitantes, evidencia-se que, a partir da 12ª semana de vida, ou seja, por volta dos 80 dias de idade, o leite não fornece toda a energia necessária para que o bezerro tenha um GMD próximo de 1 kg/dia. Por outro lado, a proteína torna-se o limitante a partir da 14ª semana, ou seja, em torno de 100 dias de vida do bezerro. Portanto, para que bezerros de corte consigam manter um ganho de peso da ordem de 900 g/dia até a desmama, é necessário a utilização de suplementos via *creep-feeding*, a partir do terceiro mês de vida, ou então, utilizar vacas de maior potencial para produção de leite (Tabela 12.9).

Contudo, mesmo que o aumento na produção de leite devido à maior capacidade genética das vacas permita aumentar o ganho de peso à desmama dos bezerros, não se pode negligenciar que, o nível nutricional na maior parte dos sistemas baseados em pastagens é limitante para dar suporte a níveis elevados de produção de leite (Paulino et al., 2012). Adicionalmente, entre o 3º e 4º mês de idade, ocorrem mudanças consideráveis no trato digestório do bezerro, época em que esse animal se transforma efetivamente em animal ruminante (Porto et al., 2009), o que o torna cada vez mais dependente do pasto. Entretanto, na maioria dos sistemas brasileiros de produção, esses processos acontecem durante o período de transição águas-seca, período em que ocorre a diminuição da qualidade e quantidade de forragem disponível para o pastejo.

Consequentemente, a diferença entre as exigências nutricionais do bezerro e a quantidade de nutrientes supridos pelo leite e pelo pasto tende a aumentar, colocando o bezerro em situação desfavorável no tocante ao equilíbrio nutricional. Assim, para os sistemas intensivos de produção de

bovinos, que exigem maior aporte nutricional, visualiza-se a suplementação dos animais lactentes sob sistema de *creep-feeding*. O *creep-feeding* refere-se ao fornecimento do alimento adicional para animais em fase de aleitamento, em local cujo acesso é restrito aos bezerros (Paulino et al., 2012).

Tabela 12.9 - Produção de leite de vacas Nelore, disponibilidade de energia metabolizável (EM) e proteína metabolizável (PM) via leite, exigências totais de EM e PM de bezerros Nelore lactentes e a necessidade de leite para atender as exigências de EM dos bezerros, de acordo com a semana de lactação e o peso dos animais

SL[1]	PC[2]	PL[3]	EM leite[4]	PM leite[5]	EMt[6]	PMt[7]	NL[8]
1	36,3	6,01	6,85	303,56	3,47	227,08	3,04
2	42,6	7,35	8,37	371,08	4,92	236,91	3,44
3	48,9	7,59	8,64	383,07	4,34	246,39	3,81
4	55,2	7,57	8,62	381,99	4,76	255,59	4,18
5	61,5	7,49	8,52	377,84	5,16	264,56	5,53
6	67,8	7,39	8,41	372,96	5,55	273,34	4,87
7	74,1	7,29	8,30	367,92	5,93	281,96	5,20
8	80,4	7,19	8,19	362,83	6,31	290,44	5,53
9	86,7	7,09	8,07	357,73	6,68	298,81	5,86
10	93,0	6,99	7,96	352,64	7,04	307,07	6,17
11	99,3	6,88	7,84	347,54	7,39	315,25	6,48
12	105,6	6,78	7,73	342,44	7,74	323,36	6,78
13	111,9	6,68	7,61	337,34	8,35	331,40	7,32
14	118,2	6,58	7,50	332,24	8,70	339,39	7,63
15	124,5	6,48	7,38	327,15	9,05	347,33	7,90
20	156	5,98	6,81	301,65	10,71	386,59	9,40

[1]SL = semana de lactação; [2]PC = peso do bezerro, kg: considerou-se o peso ao nascimento de 30 kg e GMD de 0,9 kg/dia; [3]PL = produção de leite; [4]EM via leite: quantidade de energia metabolizável disponibilizada ao bezerro via leite (Mcal/dia); [5]PM via leite: quantidade de proteína metabolizável disponibilizada ao bezerro via leite (g/dia); [6]EMt = exigências totais (mantença + ganho) de energia metabolizável do bezerro; [7]PMt: exigências totais (mantença + ganho) de proteína metabolizável do bezerro; [8]NL: necessidade de leite (kg/dia) para atender as exigências totais de EM do bezerro. Adaptada do BR-CORTE (2016).

Estudos sobre o *creep-feeding* em condições tropicais têm consistentemente demonstrado aumento no PC dos bezerros à desmama (Tabela 12.10), evidenciando a importância desta técnica para antecipar a idade ao abate e o início da atividade reprodutiva de animais criados em condições de pastejo (Paulino et al., 2010). Contudo, o ganho de peso adicional com a utilização do *creep-feeding*, é variável. Fatores como a quantidade e a qualidade do pasto, a produção de leite das vacas, o potencial de crescimento dos bezerros, raça, o sexo, a idade dos bezerros ao desmame, e mesmo o tipo de suplemento e o tempo de utilização do *creep-feeding* influenciam o desempenho dos animais.

Desta forma, obedecido o limite imposto pela genética, quanto menor for a capacidade do leite e/ou pasto em suprir a demanda nutricional dos bezerros, maior será a resposta relativa com a utilização do *creep-feeding*, refletindo positivamente na eficiência e na rentabilidade dessa técnica.

Lopes et al. (2017) avaliaram planos nutricionais (0, 3, 6 ou 9 g/kg PC) de suplemento com 25%) para bezerros de corte lactentes dos 4 aos 8 meses de idade. Foi observado que os animais que receberam 6 g de suplemento/kg de PC tiveram maior GMD (0,92 g/dia) e PC ao desmame (275 kg). Acompanhando esses animais no confinamento (Prados et al. 2017) foi observado para os animais abatidos com 15-16 meses, observou-se que a diferença de peso ao abate pode ser atribuída ao GDP adicional obtido com o *creep-feeding*.

Tabela 12.10 - Resumo dos dados de estudos sobre *creep-feeding*

Estudo[a]	Período experimental (d)	Sexo do Bezerro	Consumo de suplemento (g)[b]	Teor de PB no suplemento (g/kg)	GMD[c]	
					MM	SUP
De Paula et al. (2012)	112	Macho	583	300	662	728
Valente et al. (2013)	112	Macho	530	150-550	608	804
Barros et al. (2014)	112	Fêmea	500	250	687	769
Lopes et al. (2014)	140	Macho	900	80-410	727	880
Cardenas et al. (2015)	140	Fêmea	500	80-400	619	677
Barros et al. (2015)	140	Macho	850	250	731	843
Marquez et al. (2014)	150	Fêmea	450	250	628	677
Lopes et al. (2017)	140	Macho	1200	250	720	873
Almeida (2017)	140	Fêmea	800	250	642	732
Martins et al. (2017)	140	Macho	1600	250	500	900

[a/] Dados processados; para acessar dados individuais consultar as referências.
[b/] Consumo médio de suplemento dos animais suplementados.
[c/] GMD = ganho médio diário (g), MM = bezerros receberam apenas mistura mineral; ou SUP = bezerros receberam suplementos múltiplos em sistema de *creep-feeding*.

Em uma abordagem meta-analítica, Carvalho et al. (2018) reuniram dados de 18 estudos com *creep-feeding* (entre 2007 e 2017). Os autores encontraram máximas respostas com a utilização de suplementos nas quantidades de 7,6 g/kg de PC para machos e 5,5 g/kg de PC para fêmeas, com teor de PB no suplemento de 22,5%. O GMD adicional máximo foi de 0,2 e 0,1 kg/dia para bezerros e bezerras, respectivamente. Considerando esses ganhos e um período de suplementação de 150 dias o ganho adicional obtido com o *creep-feeding* seria de 30 kg para machos e 15 kg para fêmeas, o que está de acordo com os resultados de Lopes et al. (2017).

No tocante ao comportamento de amamentação, os resultados de pesquisas não têm apontado redução no consumo de leite em função da adoção do *creep-feeding*. Valente et al. (2013) avaliaram o comportamento de bezerros de corte com livre acesso ao *creep-feeding,* recebendo suplementos na quantidade de 5 g/kg de PC e não observaram diferenças no tempo de amamentação entre os bezerros suplementados e não suplementados. Resultados semelhantes foram encontrados por Lopes et al. (2017) e Martins et al. (2017). Nesses estudos, observou-se um decréscimo no tempo de pastejo com a suplementação, indicando que houve substituição no CMS de forragem pelo suplemento, suportando a ausência de alteração no consumo de leite. Outros estudos (Barros et al., 2014; Lopes et al., 2014; Cardenas et al., 2015; Lopes et al., 2017) avaliaram os efeitos da adoção do *creep-feeding* sobre o consumo e não observaram mudança no consumo de leite, entretanto, o consumo de forragem foi menor nos animais suplementados. Portanto, parece improvável os bezerros substituírem o leite pelo suplemento. Esse fato mostra que a ordem de preferência do bezerro é em 1° Leite, 2° concentrado e 3° forragem.

EXIGÊNCIAS DE ENERGIA PARA VACAS DE CORTE LACTANTES

Os cálculos utilizados para as exigências nutricionais de vacas Nelore em lactação e bezerros lactentes seguiram as mesmas recomendações sugeridas nos capítulos anteriores. Devido à falta de experimentos com vacas Nelore em lactação e bezerros lactentes desde a edição do BR-CORTE (2010), as exigências nutricionais desses animais foram baseadas no experimento conduzido por Fonseca (2009).

Dessa forma, a relação entre o peso de corpo vazio (PCVZ) e PCJ das vacas foi calculada seguindo as recomendações do capítulo 1:

$$PCVZ = 0{,}8507 \times PCJ^{1{,}0002},$$

enquanto a relação entre o ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ) e GMD foi de 0,963.

Conforme explicado no capítulo de exigências de energia para bovinos de corte, a produção de calor foi obtida indiretamente pela diferença entre consumo de energia metabolizável (CEM) e a energia retida (ER), que foram determinados pela técnica de abate comparativo, e a energia secretada no leite. Com isso, as exigências de energia líquida para mantença das vacas (ELm) foram obtidas pela equação:

$$PCalor = 97,8 \times exp^{(0,0024 \times CEM)}, S_{XY} = 0,5578,$$

em que PCalor = produção de calor (kcal/PCVZ^{0,75}/dia) e CEM = consumo de energia metabolizável (kcal/PCVZ^{0,75}/dia). Assim, a partir da equação anterior, quando o CEM é equivalente à produção de calor em jejum se obtém o valor de 97,8 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, ou seja, as exigências de energia líquida para mantença de vacas Nelore em lactação.

O NRC (1996) estabeleceu as exigências de ELm para bovinos de corte como sendo 77 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, obtidas a partir dos dados de Lofgreen e Garret (1968). Ainda, esse sistema recomenda descontos de 10% para animais zebuínos e um acréscimo de 20% para vacas em lactação. Portanto, adotando-se essas recomendações, as ELm de vacas Nelore em lactação, segundo o NRC (1996), seriam de 83,2 kcal/PCVZ^{0,75}/dia. Buskirk et al. (1992) estimaram a ELm de 72,5 kcal/PCJ^{0,75}/dia para vacas Angus.

Utilizando as recomendações da edição do BR-CORTE (2010), a exigência de energia líquida para mantença em animais zebuínos de diferentes classes sexuais foi estimada em 74,2 kcal/PCVZ^{0,75}/dia. Considerando-se o acréscimo de 20% para vacas em lactação (NRC, 1996), o valor obtido para essa categoria animal deveria ser de 89,0 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, resultado esse que está abaixo do obtido pelo experimento de Fonseca (2009) que foi de 97,8 kcal/PCVZ^{0,75}/dia.

Assim, mesmo considerando os dados de apenas um experimento, por falta de outras informações para essa categoria animal, recomenda-se a utilização do valor de 97,8 kcal/PCVZ^{0,75}/dia como a exigência de energia líquida para mantença de vacas Nelore em lactação.

A exigência de energia metabolizável para mantença (EMm) de vacas Nelore em lactação foi obtida quando o CEM se igualou à produção de calor utilizando o método iterativo na equação anteriormente proposta, que resultou no valor de EMm de 135,4 kcal/PCVZ^{0,75}/dia. A partir desses valores, a eficiência de utilização da energia metabolizável (EM) para mantença (*km*) foi estimada em 72% (97,8/135,4). Em um estudo de Freetly et al. (2006) com vacas de corte (Hereford × Angus × Redpoll × Pinzgauer) primíparas lactantes, a EMm foi estimada em 146 kcal/PCJ^{0,75}/dia e a eficiência de utilização da EM para mantença foi estimada em 72%. Por outro lado, Calegare et al. (2007) estimaram a EMm de 141,3 kcal/PC^{0,75}/dia para vacas Nelore lactantes, sendo esse valor próximo ao observado por Fonseca (2009).

A perda de energia relacionada à mobilização de reservas corporais foi obtida a partir da composição corporal das vacas referência abatidas logo após o parto, e daquelas que foram alimentadas ao nível de mantença durante os primeiros 90 dias, ou seja, aquelas que perderam peso. Assim, a energia retida negativa foi 2,1 Mcal/dia, que dividida pela perda de peso corporal de 0,48 kg/dia, resultou no valor médio de 4,3 Mcal/kg de perda de PC. Esse valor está abaixo do recomendado por outros sistemas de exigências nutricionais que utilizaram animais taurinos como base para os cálculos, o que poderia explicar a diferença entre eles (Tabela 12.11). A eficiência de utilização da energia proveniente da mobilização das reservas corporais para a PL obtida por Freetly et al. (2006) foi de 78%, enquanto o AFRC (1993) e o CSIRO (2007) consideraram a eficiência de 84%.

Tabela 12.11 - Perda de energia relacionada à mobilização de reservas corporais (Mcal/kg de perda de PC) de acordo com diferentes sistemas de exigências nutricionais

Característica	Fonseca (2009)	NRC (1996)	CSIRO (2007)		INRA (1989)	AFRC (1993)
			Raças britânicas	Raças europeias		
Mobilização de reservas corporais	4,3	5,8	6,4	5,5	6,0	4,5

Todavia, poucos trabalhos envolvendo a estimativa das exigências nutricionais de fêmeas zebuínas foram realizados no Brasil (Calegare et al., 2007; Fonseca, 2009; Marcondes et al., 2009; Costa e Silva et al., 2015b). Ainda, os poucos estudos foram realizados em confinamento, onde os animais são mantidos em baias, de forma a permitir um maior controle para a obtenção de variáveis importantes, como o CEM, que será utilizado para cálculo das estimativas.

Dessa forma, é provável que haja uma subestimação das exigências de energia para mantença dos animais mantidos em confinamento, uma vez que não está sendo considerado o gasto extra de energia que se observaria caso os animais estivessem a pasto. Numa situação extensiva, a produção de calor dos animais é influenciada por uma série de fatores inter-relacionados, como disponibilidade e qualidade da forragem, condições ambientais e comportamento do animal em pastejo, como descrito detalhadamente no capítulo de exigências de energia para bovinos de corte.

De acordo com os trabalhos conduzidos com animais a pasto, em que a produção de calor foi estimada a partir da taxa de batimentos cardíacos, o gasto energético relacionado às atividades de pastejo e locomoção, tanto no plano horizontal quanto vertical em áreas de pastagem, correspondeu entre 8,0 e 11,2% da produção total de energia (Brosh et al., 2010). Dessa forma, pesquisas avaliando o incremento nas exigências de mantença que as atividades de pastejo podem acarretar no rebanho de cria, devem ser conduzidas no Brasil para permitir um melhor entendimento das variações na eficiência energética dos animais (Kelly et al., 2010).

As exigências de energia líquida para ganho (ELg) de vacas Nelore lactantes foram calculadas a partir da equação descrita por Fonseca (2009) utilizando o modelo alométrico:

$$ELg = GPCVZ \times (1{,}0076 \times PCVZ^{0{,}2389}),$$

em que ELg = exigência de energia líquida para ganho (Mcal/dia) e PCVZ = peso de corpo vazio (kg/dia). A eficiência de utilização da energia metabolizável (EM) para ganho (*kg*) de vacas Nelore em lactação foi de 0,44, equivalente à inclinação da reta produzida a partir da relação entre a ER (kcal/$PCVZ^{0,75}$/dia) e o CEM (kcal/$PCVZ^{0,75}$/dia) descrita na Figura 12.3. Flatt et al. (1967), trabalhando com vacas holandesas em lactação, encontraram o valor de 0,64 para *kg*. Se considerar uma energia retida igual a zero nessa equação, pode-se estimar as exigências de EM para lactação de 140,1 kcal/$PCVZ^{0,75}$, valor próximo ao obtido pelo processo iterativo.

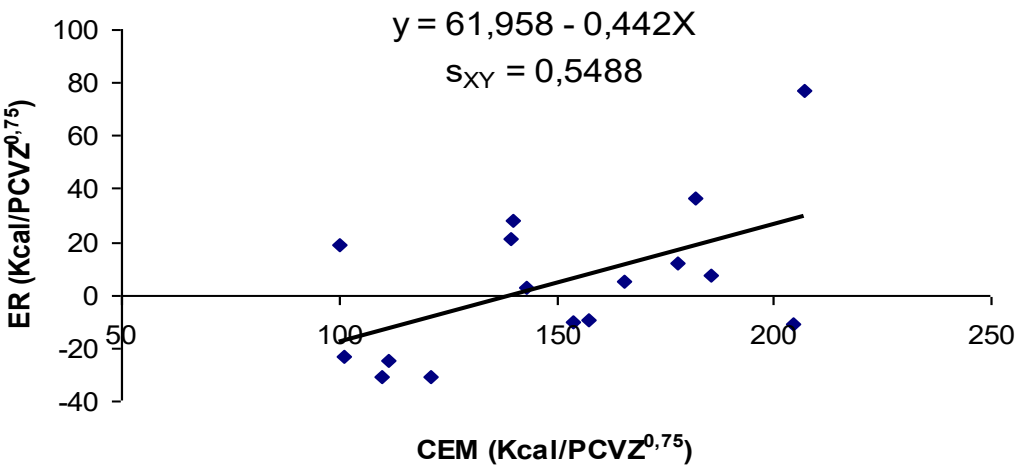


Figura 12.3 - Energia retida em função do consumo de energia metabolizável. Adaptada de Fonseca et al. (2012).

As exigências de energia líquida para lactação (EL_l) foram consideradas como a energia líquida do leite, que no estudo de Fonseca (2009), resultou em 0,75 Mcal/kg de leite. Considerando a eficiência de utilização da energia metabolizável para lactação (k_l) igual ao *km* (NASEM, 2016) de 0,72, pode-se inferir que a exigência de EM para lactação (EM_l) seja de 1,04 Mcal/kg de leite.

Além dessa forma, a EL por kg de leite pode ser obtida a partir dos componentes do leite, sendo cada componente multiplicado pelos seus respectivos valores energéticos. Assim, a partir da composição média do leite descrita na Tabela 12.5: 3,56% PB, 4,56% lactose e 4,76% gordura, têm-se que as exigências de EL para lactação, usando a equação do NRC (2001): EL_l (Mcal/kg) = 0,0929 × % gordura + 0,0547 × % proteína + 0,0395 × % lactose, seriam de 0,82 Mcal/kg de leite. Assim, a EM_l pode ser calculada como 1,14 Mcal/kg de leite (0,82/0,72), estando esse valor acima do encontrado por Fonseca (2009), possivelmente pelo maior teor médio de gordura do leite (Tabela 12.5). Alternativamente, caso não haja a composição completa do leite, ou ainda, quando se conhece apenas o teor de gordura do leite, pode-se usar a equação sugerida pelo NRC (2001): EL_l (Mcal/kg) = 0,36 + 0,0969 × % gordura.

Para converter EM para NDT, considera-se a equação sugerida nessa edição para converter EM em ED (para maiores detalhes, ver capítulo 8): EM = 0,9455 × ED – 0,3032, enquanto a conversão de ED para NDT foi utilizado o fator de 4,4. Com isso, a EL_l resultaria nas exigências de NDT de 0,35 kg/kg leite, quando a EM_l for 1,14 Mcal/kg leite.

EXIGÊNCIAS DE ENERGIA PARA BEZERROS DE CORTE LACTENTES

A conversão de PCJ para peso de corpo vazio (PCVZ) dos bezerros lactentes pode ser obtida pela relação PCVZ/PCJ = 0,962. Ainda, o GMD pode ser convertido em ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ) pela relação GPCVZ/GMD = 0,958 para os bezerros lactentes. Devido à falta de ajuste dos dados provenientes do estudo de Fonseca et al. (2012b), as exigências de EM para mantença de bezerros lactentes não foram estimadas, sendo assim, Costa e Silva et al. (2015b) avaliaram as exigências de ELm de bezerros Nelore com peso corporal variando de 121 a 300 kg e sugeriram a seguinte equação:

$$PCalor = 0,294 \times \exp^{(1,0530 \times CEM)},$$

em que PCalor = produção de calor ($MJ/PCVZ^{0,75}$/dia) e CEM = consumo de energia metabolizável ($MJ/PCVZ^{0,75}$/dia).

Assim, a partir da equação anterior, obtêm-se o valor de 294 $kJ/PCVZ^{0,75}$/dia, ou seja, 70,3 $kcal/PCVZ^{0,75}$/dia como as exigências de energia líquida para mantença de bezerros Nelore. Quanto às exigências de EM para mantença, quando o CEM é equivalente à produção de calor em jejum,

usando essa mesma equação, o valor obtido foi de 118,6 kcal/$PCVZ^{0,75}$/dia. Assim, dividindo ELm por EMm, a eficiência de utilização da energia metabolizável para mantença foi de 59,3%. As exigências de energia líquida para ganho (ELg) de bezerros Nelore lactentes (Fonseca et al., 2012b) foram estimadas pela seguinte equação:

$$ELg = 0,0932 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,9157},$$

em que ELg = exigência líquida de energia para ganho (Mcal/dia), $PCVZ^{0,75}$ = peso de corpo vazio metabólico e GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio.

Para converter as exigências de energia líquida para ganho (ELg) em exigências de energia metabolizável para ganho (EMg) foram utilizados 2 fatores de eficiência de utilização da EMg, sendo *kg* = 0,69 para consumo de leite e *kg* = 0,57 para consumo de alimentos sólidos conforme recomendado pelo NRC (2001). Assim, a *kg* no período de 0 a 90 dias foi considerada 0,66 (77 × 0,69 + 23 × 0,57) correspondente ao peso dos animais até 100 kg; e no período de 90 a 180 dias (>100 kg de peso corporal) foi considerada a *kg* de 0,62 (43 × 0,69 + 57 × 0,57), sendo 77 e 23% e, 43 e 57%, as relações entre consumo de leite e alimentos sólidos ingeridos pelos bezerros nos respectivos períodos (Fonseca, 2009).

As exigências de ED foram calculadas como: EM/0,96 (NRC, 2001; para bezerros lactentes) e as exigências de NDT foram calculadas como: ED/4,4.

EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA PARA VACAS DE CORTE LACTANTES

As exigências de proteína metabolizável para mantença (PMm) foram calculadas a partir da equação sugerida pelo BR-CORTE (2016) (para maiores detalhes, ver capítulo 9) para animais criados a pasto:

$$PMm = 3,9 \times PCJ^{0,75},$$

em que $PCJ^{0,75}$ = peso corporal metabólico em jejum. As exigências líquidas de proteína para ganho de vacas Nelore primíparas foram calculadas a partir da equação proposta por Fonseca (2009):

$$PLg\ (g/dia) = GPCVZ \times (376,4 \times PCVZ^{-0,1839}).$$

Para conversão das exigências líquidas de proteína para ganho em exigências de proteína metabolizável para ganho (PMg), a eficiência (*k*) foi calculada utilizando a recomendação sugerida pelo BR-CORTE (2010):

$$k = 47,4\%.$$

A proteína requerida para lactação é baseada na quantidade de proteína secretada no leite. A partir da equação apresentada para estimar a produção de leite, pode-se estimar a quantidade de proteína que é produzida no leite. O NRC (2001) sugere uma equação para calcular as exigências de proteína metabolizável para lactação (PM_l):

$$PM_l = Pleite/0,67 \times 1000,$$

em que Pleite = proteína no leite (kg/dia) e 0,67 = eficiência de utilização da proteína metabolizável para lactação.

Considerando o teor médio de PB no leite de 3,56%; esse teor multiplicado pelo percentual de proteína verdadeira no leite (AFRC, 1993), que é de 95%, resulta no valor de 3,38% ou 33,8 g de proteína verdadeira por quilograma de leite. Schroeder e Titgemeyer (2008) realizaram uma revisão sobre a eficiência de utilização da PM e afirmaram que as eficiências de utilização da proteína digestível para ganho de proteína corporal observadas em bezerros foram inferiores ao valor fixo de 67% adotado pelo NRC (2001).

Além disso, essa eficiência pode ser afetada por diversos fatores, tais como o nível de ingestão de proteína e energia, PC, idade, genótipo dos animais e frequência de alimentação (Schroeder e Titgemeyer, 2008). Devido à falta de um valor coerente, considerou-se a eficiência de utilização da proteína metabolizável para lactação de 0,67 (NRC, 2001), o que resultou no valor de 50,5 g de proteína metabolizável (PM) por quilograma de leite, correspondendo às exigências de PM para produção de leite. Esse valor é superior aos 44,8 g de PM por quilograma de leite apresentado para um leite com média de 3,15% de PB (AFRC, 1993; NRC, 2001). Dessa forma, sugere-se que as exigências de PM para lactação de vacas Nelore sejam de 50,5 g/kg de leite.

A produção de proteína bruta microbiana (PBmic) foi calculada considerando a recomendação apresentada no capítulo 3 em que a síntese microbiana foi calculada em função do consumo de proteína bruta (CPB) e dos nutrientes digestíveis totais (CNDT) como apresentado a seguir:

$$PBmic\ (g/dia) = -53,07 + 304,9 \times CPB + 90,8 \times CNDT - 3,13 \times CNDT^2,$$

em que CPB = consumo de proteína bruta (kg/dia) e CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais (kg/dia). Assim, as exigências de proteína degradada no rúmen (PDR) foram calculadas a partir das recomendações dessa edição em que a síntese de proteína microbiana se iguala às exigências de PDR (para maiores detalhes, ver capítulo 9):

$$PDR = PBmic,$$

enquanto as exigências de proteína não degradada no rúmen (PNDR) foram obtidas a partir da equação:

$$PNDR = (Proteína\ metabolizável\ total - (PBmic \times 0,64))/0,80.$$

Para se obter as exigências de proteína bruta, deve-se proceder à soma das exigências de PDR e PNDR.

EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA PARA BEZERROS DE CORTE LACTENTES

As recomendações para as exigências de proteína metabolizável para mantença (PMm) foram baseadas na equação sugerida na edição do BR-CORTE (2016) para animais criados a pasto (para maiores detalhes, ver capítulo 9):

$$PMm = 3,9 \times PCJ^{0,75}.$$

As exigências líquidas de proteína para ganho de bezerros Nelore lactentes foram calculadas a partir da equação desenvolvida por Fonseca (2009):

$$PLg\ (g/dia) = GPCVZ \times (139,7 \times PCVZ^{0,0351}).$$

Para a conversão das exigências líquidas de proteína para ganho em exigências de proteína metabolizável para ganho (PMg), a eficiência (k) foi calculada usando a equação descrita pelo BR-CORTE (2010):

$$k = 84,665 - 0,1179 \times PCVZeq.$$

Da mesma forma que para as vacas, a produção de proteína bruta microbiana (PBmic) foi calculada considerando a recomendação apresentada no capítulo 3 em que a síntese microbiana foi calculada em função do consumo de proteína bruta (CPB) e dos nutrientes digestíveis totais (CNDT).

Contudo, sabe-se que bezerros, ao ingerir o leite, apresentam o reflexo para a formação da goteira esofágica, fazendo com que o leite passe diretamente para o abomaso sem, no entanto, sofrer ação dos microrganismos no rúmen. Nesse caso, considerar que a proteína e a energia do leite interferem na síntese de proteína microbiana (PBmic) não seria o mais correto. Assim, para bezerros lactentes, recomenda-se que os consumos de PB e NDT oriundos do leite sejam retirados do cálculo de PBmic, pois, caso contrário, haverá superestimação da PDR e subestimação da PNDR. Portanto, para calcular PBmic de bezerros lactentes, recomenda-se o uso da seguinte equação:

$$PBmic\ (g/dia) = -53,07 + 304,9 \times (CPBtotal - CPBleite) + 90,8 \times (CNDTtotal - CNDTleite) - 3,13 \times (CNDTtotal - CNDTleite)^2,$$

em que CPBtotal = consumo de proteína bruta total da dieta (kg/dia), CPBleite = consumo de proteína bruta oriunda do leite (kg/dia), CNDTtotal = consumo de nutrientes digestíveis totais da dieta (kg/dia) e CNDTleite = consumo de nutrientes digestíveis totais proveniente do leite (kg/dia).

Para o cálculo de CPBleite, deve-se quantificar a produção de leite da vaca e multiplicar pelo teor de proteína bruta do leite. No caso do NDT, deve-se primeiramente quantificar os teores de proteína, lactose e gordura do leite. Depois, a partir da recomendação de Maynard et al. (1979) de que a digestibilidade dos constituintes do leite são: 0,98 (carboidratos), 0,95 (gorduras) e do NASEM (2016) de 0,95 (proteínas), considera-se a soma dos constituintes do leite digestíveis

para contabilizar o consumo de NDT proveniente do leite, como mostrado na equação seguinte:

CNDTleite = PL × ((% PBleite × 0,95 + % lactose × 0,98) + (2,25 × % gordura × 0,95)).

Considerando a composição média do leite de 3,56% PB, 4,56% lactose e 4,76% gordura, o teor de NDT desse leite será de aproximadamente 18,0% na base da matéria natural ou de aproximadamente 129,6% na base da matéria seca do leite (18,0/0,139).

No entanto, devido aos bezerros com menos de 100 kg apresentarem baixa atividade microbiana no rúmen pelo consumo quase que exclusivamente de leite, além de dados com essa categoria animal nessa faixa de peso corporal serem escassos, essa edição do BR-CORTE adotou a mesma recomendação edição do BR-CORTE, em 2016, para estimar a síntese de proteína microbiana (PBmic) de 120 g PBmic/kg NDT. Porém, destaca-se a necessidade de descontar o NDT proveniente do leite; caso contrário, as estimativas de PBmic estariam superestimadas.

Adicionalmente, as exigências de proteína degradada no rúmen (PDR) foram calculadas a partir das recomendações da edição do BR-CORTE (2016) em que a síntese de proteína microbiana se iguala às exigências de PDR (para maiores detalhes, ver capítulo 9):

PDR = PBmic,

enquanto as exigências de proteína não degradada no rúmen (PNDR) foram obtidas a partir da equação:

PNDR = (Proteína metabolizável total – (PBmic × 0,64))/0,80.

Para se obter as exigências de proteína bruta, deve-se proceder à soma das exigências de PDR e PNDR.

EXIGÊNCIAS DE MINERAIS DE VACAS LACTANTES E BEZERROS LACTENTES

Devido à falta de dados relacionados às exigências de minerais para mantença e coeficientes de retenção de vacas Nelore em lactação e bezerros Nelore lactentes, essas estimativas foram calculadas de acordo com as recomendações apresentadas no capítulo 10 sobre as exigências de minerais para bovinos de corte. No caso das exigências líquidas de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) para ganho de peso, as quantidades de cada mineral presentes no corpo do animal foram regredidas em função do PCVZ a partir do modelo a seguir:

$Mi = a \times PCVZ^{b}$,

em que Mi = a quantidade de cada macromineral (Ca, P, Mg, Na e K; g) presente no corpo do animal e PCVZ = peso de corpo vazio (kg).

A partir da derivada da equação acima, as exigências líquidas de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) para ganho de vacas Nelore lactantes e bezerros Nelore lactentes foram calculadas a partir do modelo:

$Y = a \times b \times PCVZ^{b-1}$,

em que Y = exigências líquidas de cada mineral para ganho de peso (g/dia), PCVZ = peso de corpo vazio (kg).

Assim, as equações geradas para estimar as exigências líquidas de cada mineral para ganho para cada categoria animal estão representadas na Tabela 12.12. Devido ao não ajustamento adequado dos dados para o Ca para as vacas lactantes (Fonseca, 2009), utilizou-se a equação para estimar as exigências líquidas para ganho de peso desse mineral descritas no capítulo 10. Além disso, devido à ausência de recomendações para enxofre e microminerais para ambas categorias animais (Fonseca, 2009), as equações descritas no capítulo 10 foram adotadas.

Tabela 12.12 - Exigências líquidas para ganho de macrominerais para vacas Nelore lactantes e bezerros Nelore lactentes

Item	Equações	
	Vacas[1]	Bezerros
Ca	PCVZ < 462 kg: GPCVZ × (147 × PCVZ$^{-0,50}$) PCVZ ≥ 462 kg: ELGCa (kg) = 0	GPCVZ × (54,8 × PCVZ$^{-0,3981}$)
P	GPCVZ × (54,4 × PCVZ$^{-0,4484}$)	GPCVZ × (8,6 × PCVZ$^{-0,0371}$)
Mg	GPCVZ × (1,4 × PCVZ$^{-0,3227}$)	GPCVZ × (0,4 × PCVZ$^{-0,0173}$)
Na	GPCVZ × (1,4 × PCVZ$^{-0,0575}$)	GPCVZ × (1,2 × PCVZ$^{-0,0209}$)
K	GPCVZ × (3,1 × PCVZ$^{-0,2142}$)	GPCVZ × (1,5 × PCVZ$^{-0,0636}$)

[1]Recomendação para cálcio proveniente do capítulo10. Demais equações adaptadas de Fonseca (2009).

TABELAS DAS EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE VACAS DE CORTE EM LACTAÇÃO E BEZERROS LACTENTES

A partir das estimativas das exigências de energia, proteína e macrominerais para ganho de peso de vacas de corte lactantes e bezerros lactentes, as exigências dietéticas dos nutrientes podem ser calculadas. As equações utilizadas para os cálculos das exigências nutricionais de vacas de corte lactantes e bezerros lactentes podem ser visualizadas nas Tabelas 12.13, 12.14 e 12.15, sendo que a equação utilizada para calcular N microbiano está descrita no capítulo 3, enquanto as exigências líquidas de macrominerais para mantença, coeficientes de retenção e as exigências dietéticas de microminerais estão descritas no capítulo 10.

Tabela 12.13 - Resumo das equações para estimar as exigências de energia e proteína de vacas de corte lactantes e bezerros lactentes

Item	Equações		Unidade
	Vacas	Bezerros	
CMS	$6,535 – 7,558 \times \exp^{(-0,578 \times SL)} + 0,323 \times SL + 1,66 \times PL$	$0,353 - 0,532 \times CMSleite + 0,01065 \times PC + 0,3497 \times GMD$	
PL	Vacas multíparas (> 3 anos) $PL = 7,996 - 0,101 \times SL - 7,996 \times \exp^{(-1,447 \times SL)}$, Vacas primíparas (≤ 3 anos) $PL = 6,431 - 0,072 \times SL - 6,431 \times \exp^{(-2,188 \times SL)}$,	-	kg/dia
PCJ	$0,8915 \times PC^{1,0151}$	-	kg
PCVZ	$0,8507 \times PCJ^{1,0002}$	$0,962 \times PCJ$	kg
GPCVZ	$0,963 \times GMD^{1,0151}$	$0,958 \times GMD$	kg/dia
ELm	$97,8 \times PCVZ^{0,75}$	$70,3 \times PCVZ^{0,75}$	kcal/dia
EMm	$135,0 \times PCVZ^{0,75}$	$118,6 \times PCVZ^{0,75}$	kcal/dia
km	ELm/EMm		-
ELg	$GPCVZ \times (1,0076 \times PCVZ^{0,2389})$	$0,0932 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,9157}$	Mcal/dia
kg	0,44	Leite = 0,69 Sólidos = 0,57	-
EMg	ELg/kg		Mcal/dia
EL_l	0,82	-	Mcal/kg leite
k_l	*km*	-	-
EM_l	EL_l/k_l		Mcal/dia
EMt	$EMm + EMg + EM_l$	EMm + EMg	Mcal/dia
ED	$(((EMt/CMS) + 0,3032)/0,9455) \times CMS$	EMt/0,96	
NDT	ED/4,4		kg/dia
PMm	$3,9 \times PCJ^{0,75}$		g/dia
PLg	$GPCVZ \times (376,4 \times PCVZ^{-0,1839})$	$GPCVZ \times (139,7 \times PCVZ^{0,0351})$	g/dia
k	47,4	$84,665 – 0,1179 \times PCVZeq$	%
PM_l	50,5	-	g/kg leite
PMt	$PMm + PMg + PM_l$	PMm + PMg	g/dia
CPBleite	-	$PL \times 0,0356$	g/dia
CNDTleite	-	$PL \times 0,18$	kg/dia
PBmic	$-53,07 + 304,9 \times CPB + 90,8 \times CNDT – 3,13 \times CNDT^2$	PCJ < 150 kg: 120 g/kg (NDT – CNDTleite) PCJ ≥ 150 kg: $-53,07 + 304,9 \times (CPB – CPBleite) + 90,8 \times (CNDT – CNDTleite) – 3,13 \times (CNDT – CNDT\ leite)^2$	g/dia
PDR	PBmic		g/dia
PNDR	(PMt - (PBmic × 0,64))/0,80		g/dia
PB	PDR + PNDR		g/dia

Tabela 12.14 - Resumo das equações para estimar as exigências líquidas de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) para ganho de peso (g/dia) de vacas de corte lactantes e bezerros lactentes

Item	Equações	
	Vacas	Bezerros
Ca	PCVZ < 462 kg: GPCVZ × (147 × PCVZ$^{-0,50}$) PCVZ ≥ 462 kg: ELGCa (kg) = 0	GPCVZ × (54,8 × PCVZ$^{-0,3981}$)
P	GPCVZ × (54,4 × PCVZ$^{-0,4484}$)	GPCVZ × (8,6 × PCVZ$^{-0,0371}$)
Mg	GPCVZ × (1,4 × PCVZ$^{-0,3227}$)	GPCVZ × (0,4 × PCVZ$^{-0,0173}$)
Na	GPCVZ × (1,4 × PCVZ$^{-0,0575}$)	GPCVZ × (1,2 × PCVZ$^{-0,0209}$)
K	GPCVZ × (3,1 × PCVZ$^{-0,2142}$)	GPCVZ × (1,5 × PCVZ$^{-0,0636}$)

[1]PCVZ = peso de corpo vazio (kg); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia), ELGCa = exigências líquidas de Ca para ganho.

Tabela 12.15 - Resumo das equações utilizadas para o cálculo das exigências líquidas de S e microminerais (Cu, Co, Cr, Fe, Mn, Mo, Se e Zn) para bovinos de corte (Adaptada do Capítulo 10)

Mineral	Exigências líquidas para mantença	Coeficiente de retenção	Exigências líquidas para ganho (ELG)[1]
	µg/kg peso corporal	%	mg/dia
Cu	95,6	73,5	ELG_{Cu} = GPCVZ × (1,25 × PCVZ^{0,33})
Co	13,5	86,8	ELG_{Co} = GPCVZ × (0,045 × PCVZ$^{-0,023}$)
Cr	22,9	78,4	ELG_{Cr} = GPCVZ × (0,23 × PCVZ^{0,61})
Fe	2.942	73,4	ELG_{Fe} = GPCVZ × (14,0 × PCVZ^{0,24})
Mn	184,9	43,9	ELG_{Mn} = GPCVZ × (0,07 × PCVZ^{0,80})
Mo	3,27	49,7	ELG_{Mo} = GPCVZ × (0,0035 × PCVZ^{0,41})
Se	3,72	48,7	ELG_{Se} = GPCVZ × (1,07 × PCVZ$^{-0,07}$)
Zn	334,4	66,8	ELG_{Zn} = GPCVZ × (1,16 × PCVZ^{0,86})
	mg/kg peso corporal	%	g/dia
S	10,4	77,3	ELG_{S} = GPCVZ × (0,03 × PCVZ^{0,8900})

[1]GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia); PCVZ = peso de corpo vazio (kg).

Dessa forma, considerando uma vaca de corte lactante de 450 kg de PC na 10ª semana de lactação com ganho médio diário de 0,2 kg/dia, tem-se:

• PL = 7,996 - 0,101 × SL - 7,996 × exp$^{(-1,447 \times SL)}$ = 7,996 – 0,101 × 10 – 7,996 × exp$^{(-1,447 \times 10)}$ = 6,99 kg/dia
• CMS = 6,535 – 7,558 × exp$^{(-0,578 \times SL)}$ + 0,323 × SL + 1,66 × PL
• CMS = 6,535 – 7,558 × exp$^{(-0,578 \times 10)}$ + 0,323 × 10 + 1,66 × 6,99
• CMS = 21,34 g/kg PC => CMS = 21,34 g/kg PC × 450 kg = 9,6 kg/dia

• PCJ = 0,8915 × PC^{1,0151} = 0,8915 × 450^{1,0151} = 439,9 kg
• PCVZ = 0,8507 × PCJ^{1,0002} = 0,8507 × 439,9^{1,0002} = 374,7 kg
• GPCVZ = 0,963 × GMD^{1,0151} = 0,963 × 0,2^{1,0151} = 0,188 kg/dia

- **Exigências de energia**:
• ELm = 97,8 × PCVZ^{0,75} = 97,8 × 374,7^{0,75} = 8329,4 kcal/dia = 8,33 Mcal/dia
• EMm = 135,0 × PCVZ^{0,75} = 135,0 × 374,7^{0,75} = 11497 kcal/dia = 11,50 Mcal/dia
• ELg = 1,0076 × PCVZ^{0,2389} × GPCVZ = 1,0076 × 374,7^{0,2389} × 0,188 = 0,78 Mcal/dia
• EMg = ELg/*kg* = 0,78/0,44 = 1,77 Mcal/dia

• EL_l = 0,82 Mcal/kg de leite = 0,82 × 6,99 = 5,73 Mcal/dia
• $EM_l = EL_l/k_l$ = 5,73/0,72 = 7,96 Mcal/dia
• EMt = EMm + EMg + EM_l = 11,50 + 1,77 + 7,96 = 21,23 Mcal/dia
• ED = (((EMt/CMS) + 0,3032)/0,9455) × CMS = (((21,23/9,6) + 0,3032)/0,9455) × 9,6 = 25,53 Mcal/dia
• NDT = ED/4,4 = 25,53/4,4 = 5,80 kg/dia

- Exigências de proteína:
• $PMm = 3,9 \times PCJ^{0,75} = 3,9 \times 439,9^{0,75}$ = 374,6 g/dia
• $PLg = 0,3764 \times PCVZ^{-0,1839} \times GPCVZ = 0,3764 \times 374,7^{-0,1839} \times 0,188$ = 0,0238 kg/dia = 23,80 g/dia
• PMg = PLg/*k* = 23,80/0,474 = 50,2 g/dia
• PM_l = 50,5 g/kg leite = 50,5 × 6,99 = 353 g/dia
• PMt = PMm + PMg + PM_l = 374,6 + 50,2 + 353 = 777,8 g/dia
• $PBmic = -53,07 + 304,89 \times CPB + 90,8 \times CNDT – 3,13 \times CNDT^2 = -53,07 + 304,89 \times 1,11 + 90,8 \times 5,80 – 3,13 \times (5,80)^2$ = 706,9 g/dia
• PDR = PBmic = 706,9 g/dia
• PNDR = (PMt – (PBmic × 0,64))/0,80 = (777,8 – (706,9 × 0,64))/0,80 = 406,7 g/dia
• PB = PDR + PNDR = 706,9 + 406,7 = 1,11 kg/dia

Para se obter a concentração requerida de NDT e PB (% MS da dieta), as exigências de NDT (5,80 kg/dia) e PB (1,11 kg/dia) devem ser divididas pelo CMS do animal.

• NDT (% MS da dieta) = NDT/CMS = 5,80/9,6 = 60,4%
• PB (% MS da dieta) = PB/CMS = 1,11/9,6 = 11,6%

- **Exigências de minerais**:

• Cálcio:
- Exigências líquidas para mantença = 11,7 × 450/1000 = 5,27 g/dia
- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (147 \times PCVZ^{-0,50}) = 0,188 \times (147 \times 374,7^{-0,50})$ = 1,42 g/dia
- Exigências líquidas para lactação = 1,1 g/kg leite = 1,1 × 6,99 = 7,68 g/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (5,27 + 1,42 + 7,68)/0,568 = 25,30 g/dia

• Fósforo:
- Exigências líquidas para mantença = 13,5 × 450/1000 = 6,08 g/dia
- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (54,4 \times PCVZ^{-0,4484}) = 0,188 \times (54,4 \times 374,7^{-0,4484})$ = 0,71 g/dia
- Exigências líquidas para lactação = 0,77 g/kg leite = 0,77 × 6,99 = 5,38 g/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (6,08 + 0,71 + 5,38)/0,678 = 17,95 g/dia

Relação Ca:P = 25,30/17,95 = 1,41

• Magnésio:
- Exigências líquidas para mantença = 5,9 × 450/1000 = 2,66 g/dia
- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (1,4 \times PCVZ^{-0,3227}) = 0,188 \times (1,4 \times 374,7^{-0,3227})$ = 0,039 g/dia
- Exigências líquidas para lactação = 0,07 g/kg leite = 0,07 × 6,99 = 0,49 g/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (2,66 + 0,039 + 0,49)/0,355 = 8,97 g/dia

• Sódio:
- Exigências líquidas para mantença = 6,3 × 450/1000 = 2,84 g/dia
- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (1,4 \times PCVZ^{-0,0575}) = 0,188 \times (1,4 \times 374,7^{-0,0575})$ = 0,186 g/dia
- Exigências líquidas para lactação = 0,2 g/kg leite = 0,2 × 6,99 = 1,39 g/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (2,84 + 0,186 + 1,39)/0,371 = 11,91 g/dia

• Potássio:
- Exigências líquidas para mantença = 23,5 × 450/1000 = 10,58 g/dia
- Exigências líquidas para ganho = GPCVZ × (3,1 × $PCVZ^{-0,2142}$) = 0,188 × (3,1 × $374,7^{-0,2142}$) = 0,164 g/dia
- Exigências líquidas para lactação = 0,7 g/kg leite = 0,7 × 6,99 = 4,89 g/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (10,58 + 0,164 + 4,89)/0,484 = 32,3 g/dia

• Enxofre:
- Exigências líquidas para mantença = 10,4 × 450/1000 = 4,68 g/dia
- Exigências líquidas para ganho = GPCVZ × (0,03 × $PCVZ^{0,89}$) = 0,188 × (0,03 × $374,7^{0,89}$) = 1,10g/dia
- Exigências líquidas para lactação = 0,3 g/kg leite = 0,3 × 6,99 = 2,10 g/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (4,68 + 1,10 + 2,10)/0,773 = 10,2 g/dia

• Cobalto:
- Exigências líquidas para mantença = 13,5 × 450/1000 = 6,08 mg/dia
- Exigências líquidas para ganho = GPCVZ × (0,045 × $PCVZ^{-0,023}$) = 0,188 × (0,045 × $374,7^{-0,023}$) = 0,007 mg/dia
- Exigências líquidas para lactação = 0,23 mg/kg leite = 0,23 × 6,99 = 1,608 mg/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (6,08 + 0,007 + 1,608)/0,868 = 8,86 mg/dia

• Cobre:
- Exigências líquidas para mantença = 95,6 × 450/1000 = 43,02 mg/dia
- Exigências líquidas para ganho = GPCVZ × (1,25 × $PCVZ^{0,33}$) = 0,188 × (1,25 × $374,7^{0,33}$) = 1,66 mg/dia
- Exigências líquidas para lactação = 1,99 mg/kg leite = 1,99 × 6,99 = 13,91 mg/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (43,02 + 1,66 + 13,91)/0,735 = 79,7 mg/dia

• Cromo:
- Exigências líquidas para mantença = 22,9 × 450/1000 = 10,31 mg/dia
- Exigências líquidas para ganho = GPCVZ × (0,23 × $PCVZ^{0,61}$) = 0,188 × (0,23 × $374,7^{0,61}$) = 1,61 mg/dia
- Exigências líquidas para lactação = 3,2 mg/kg leite = 3,2 × 6,99 = 22,37 mg/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (10,31 + 1,61 + 22,37)/0,784 = 43,7 mg/dia

• Ferro:
- Exigências líquidas para mantença = 2942 × 450/1000 = 1324 mg/dia
- Exigências líquidas para ganho = GPCVZ × (10,4 × $PCVZ^{0,24}$) = 0,188 × (10,4 × $374,7^{0,24}$) = 8,1 mg/dia
- Exigências líquidas para lactação = 29,9 mg/kg leite = 29,9 × 6,99 = 209 mg/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (1324 + 8,1 + 209)/0,734 = 2099 mg/dia

• Manganês:
- Exigências líquidas para mantença = 184,9 × 450/1000 = 83,21 mg/dia
- Exigências líquidas para ganho = GPCVZ × (0,07 × $PCVZ^{0,80}$) = 0,188 × (0,07 × $374,7^{0,80}$) = 1,50 mg/dia
- Exigências líquidas para lactação = 1,41 mg/kg leite = 1,41 × 6,99 = 9,85 mg/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (83,21 + 1,50 + 9,85)/0,439 = 215,4 mg/dia

• Zinco:
- Exigências líquidas para mantença = 334,4 × 450/1000 = 150,5 mg/dia
- Exigências líquidas para ganho = GPCVZ × (1,16 × $PCVZ^{0,86}$) = 0,188 × (1,16 × $374,7^{0,86}$) = 35,64 mg/dia
- Exigências líquidas para lactação = 35,4 mg/kg leite = 35,4 × 6,99 = 247,44 mg/dia

- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (150,5 + 35,64+ 247,44)/0,668 = 649,00 mg/dia.

Para exemplificar as exigências nutricionais de bezerros de corte lactentes, considerou-se um bezerro com 150 kg de PCJ, na 19ª semana de vida, com GMD de 0,80 kg/dia e consumindo uma dieta constituída por 43% de leite e 57% de foragem + concentrado com base na matéria seca

• CMSleite = PL × % MS leite = 6,08 × 0,139 = 0,85 kg/dia
• CMSvc = 0,353 – 0,532 × 0,85 + 0,01065 × 150 + 0,3497 × 0,80 = 1,78 kg/dia
• CMStotal = CMSsólido + CMSleite = 1,78 + 0,85 = 2,63 kg/dia
• PCVZ = 0,962 × PCJ = 0,962 × 150 = 144 kg
• GPCVZ = 0,958 × GMD = 0,958 × 0,80 = 0,77 kg/dia

- Exigências de energia:

• $ELm = 70,3 \times PCVZ^{0,75} = 70,3 \times 144^{0,75} = 2,93$ Mcal/dia
• $EMm = 118,6 \times PCVZ^{0,75} = 118,6 \times 144^{0,75} = 4,94$ Mcal/dia
• $ELg = 0,0932 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,9157} = 0,0932 \times 144^{0,75} \times 0,77^{0,9157} = 3,04$ Mcal/dia
• $kg = 43 \times 0,69 + 57 \times 0,57 = 0,62$
• $EMg = ELg/kg = 3,04/0,62 = 4,9$ Mcal/dia
• EMt = EMm + EMg = 4,94 + 4,9 = 9,84 Mcal/dia
• ED = EMt/0,96 = 9,84/0,96 = 10,25 Mcal/dia
• NDT = ED/4,4 = 10,25/4,4 = 2,33 kg/dia

- Exigências de proteína:

• $PMm = 3,9 \times PCJ^{0,75} = 3,9 \times 150^{0,75} = 167,2$ g/dia
• $PLg = 0,1397 \times PCVZ^{0,0351} \times GPCVZ = 0,1397 \times 144^{0,0351} \times 0,77 = 0,1275$ kg/dia= 127,5 g/dia
• $k = 84,665 – 0,1179 \times PCVZeq = 84,665 – 0,1179 \times 144 = 67,7\%$
• $PMg = PLg/k = 127,5/0,677 = 188,4$ g/dia
• PMt = PMm + PMg = 167,2 + 188,4 = 355,6 g/dia
• CPBleite = PL × 0,0356 = 6,09 × 0,0356 = 0,22 kg
• CNDTleite = PL × 0,18 = 6,09 × 0,18 = 1,10 kg
• $PBmic = -53,07 + 304,9 \times (CPB – CPBleite) + 90,8 \times (CNDT – CNDTleite) – 3,13 \times (CNDT – CNDTleite)^2 = -53,07 + 304,9 \times (0,471 – 0,22) + 90,8 \times (2,33 – 1,10) – 3,13 \times (2,33 – 1,10)^2 = 132,03$ g/dia
• PDR = PBmic = 132,03 g/dia
• PNDR = (PMt – (PBmic × 0,64))/0,80 = (355,6 – (123,7 × 0,64))/0,80 = 338,9 g/dia
• PB = PDR + PNDR = 132,03 + 338,9 = 471 g/dia

Do mesmo modo que para as vacas, para se obter a concentração requerida de NDT e PB (% MS da dieta), as exigências de NDT (2,33 kg/dia) e PB (471 g/dia) deve ser dividida pelo CMS do animal.

• NDT (% MS da dieta) = NDT/CMS = 2,33/2,63 = 88,7%
• PB (% MS da dieta) = PB/CMS = 0,471/2,63 = 17,9%

- Exigências de minerais:

• Cálcio:
- Exigências líquidas para mantença: 11,7 × 150/1000 = 1,76 g/dia
- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (54,8 \times PCVZ^{-0,3981}) = 0,77 \times (54,8 \times 144^{-0,3981}) = 5,83$ g/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho)/coeficiente de retenção = (1,76 + 5,83)/0,568 = 13,4 g/dia

• Fósforo:
- Exigências líquidas para mantença: 13,5 × 150/1000 = 2,03 g/dia
- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (8,6 \times PCVZ^{-0,0371}) = 0,77 \times (8,6 \times 144^{-0,0371}) = 5,51$ g/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho)/coeficiente de retenção = (2,03 + 5,51)/0,678 = 11,1 g/dia

Relação Ca:P = 13,4/11,1 = 1,20

• **Magnésio:**
- Exigências líquidas para mantença: 5,9 × 150/1000 = 0,89 g/dia
- Exigências líquidas para ganho = GPCVZ × (0,4 × $PCVZ^{-0,0173}$) = 0,77 × (0,4 × $144^{-0,0173}$) = 0,28 g/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho)/coeficiente de retenção = (0,89 + 0,28)/0,355 = 3,29g/dia

• **Sódio:**
- Exigências líquidas para mantença: 6,3 × 150/1000 = 0,95 g/dia
- Exigências líquidas para ganho = GPCVZ × (1,2 × $PCVZ^{-0,0209}$) = 0,77 × (1,2 × $144^{-0,0209}$) = 0,83 g/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho)/coeficiente de retenção = (0,95 + 0,83)/0,371 = 4,80 g/dia

• **Potássio:**
- Exigências líquidas para mantença: 23,5 × 150/1000 = 3,53 g/dia
- Exigências líquidas para ganho = GPCVZ × (1,5 × $PCVZ^{-0,0636}$) = 0,77 × (1,5 × $144^{-0,0636}$) = 0,84 g/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho)/coeficiente de retenção = (3,53 + 0,84)/0,484 = 9,03 g/dia

Ressalta-se que não existem trabalhos que visaram avaliar as exigências dietéticas de S e microminerais para essa categoria animal sendo sugerido o uso das mesmas recomendações do capítulo 10.

REFERÊNCIAS

Agricultural and Food Research Council – AFRC. *Energy and protein requirements of ruminants*. Wallingford: Common wealth Agricultural Bureaux International, 159p. 1993.

Almeida, D. M. *Efeitos dos níveis de suplementação sobre o desempenho e características metabólicas e nutricionais das matrizes, bezerras lactentes e novilhas em pastejo.* Viçosa, MG: UFV. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa. 2017.

Almeida, D. M., Marcondes, M. I., Rennó, L. N., Barros, L. V., Cabral, C. H. A., Martins, L. S., Marquez, D. E. C., et al. Estimation of daily milk yield of Nellore cows grazing tropical pastures. *Tropical Animal Health and Production.* 50:1771–1777, 2018.

Barros, L. V.; Paulino, M. F.; Chizzotti, M. L.; Rennó, L. N.; Cardenas, J. E. G.; Valente, E. E. L.; Lopes, S. A.; Cabral, C. H. A.; Paula, N. F.; Silva, F. G. Supplementation of female calves in creep feeding system and productive and nutritional parameters of beef cows on tropical pasture, *Semina: Ciências Agrárias*, 35:2723-2738, 2014.

Barros, L. V.; Paulino, M. F.; Marquez, D. E. C.; Cabral, C. H. A.; Silva, F. G.; Caldeira, D. S. A.; Lopes, S. A.; Moura, F. H. Supplementation of suckling beef calves on a creep-feeding system and nutritional evaluation of lactating beef dams. *Semina: Ciências Agrárias*, 36: 3431-3444.

Bottje, W. G.; Carstens, G. E. Association of mitochondrial function and feed efficiency in poultry and livestock species. *Journal of Animal Science,* 87:48-63, 2009.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Magalhães, K. A. *Exigências Nutricionais de Zebuínos e Tabelas de Composição de Alimentos – BR-CORTE*. 1. ed. – Viçosa: UFV, DZO. 142p. 2006.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. *Nutrient Requirements of Zebu and crossbred cattle – BR-CORTE*, 2 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2010.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F., Gionbelli, M. P., Rotta, P. P., Marcondes, M. I., Chizzotti, M. L. *Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle – BR-CORTE*, 3 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2016.

Brosh, A.; Henkin, Z.; Ungar, E. D.; Dolev, A.; Shabtay, A.; Orlov, A.; Yehuda, Y.; Aharoni, Y. Energy cost of activities and locomotion of grazing cows: a repeated study in larger plots. *Journal of Animal Science*, 88:315-323, 2010.

Buskirk, D. D., R. P. Lemenager, L. A. Horstman. 1992. Estimation of net energy requirements (Nem and NE delta) of lactating beef cows. *Journal of Animal Science,* 70:3867-3876.

Calegare, L. N. P. *Exigências e eficiência energética de vacas de corte Nelore e de cruzamentos Bos taurus × Nelore*. Piracicaba, SP: ESALQ, 2004, 79p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz. 2004.

Calegare, L.; Alencar, M. M.; Packer, I. U.; Lanna, D. P. Energy requirements and cow/calf efficiency of Nellore and Continental and British *Bos taurus* × Nellore crosses. *Journal of Animal Science*, 85:2413-2422. 2007.

Cardenas, J. E. G. *Suplementação de bezerras de corte lactentes com diferentes níveis de proteína e características nutricionais e produtivas de vacas de corte*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. 2012.

Cardenas, J. E. G; Paulino, M. F.; Lopes, S. A.; Silva, A. G.; Barros, L. V.; Valente, E. E. L. Desempeño productivo, consumo y digestibilidad de terneras lactantes criadas en pastoreo suplementadas con diferentes niveles de proteína bruta. *Archivos de Zootecnia,* 64: 167-174. 2015.

Carstens, G. E.; Jhonson, D. E.; Jhonson, K. A.; Hotovoy, S. K.; Szymanski, T. J. Genetic variation in energy expenditures of monozygous twin beef cattle at 9 and 20 months of age. In: *Energy Metabolism of Farm Animals*, Proc. 11th Symposium. EAAP Publ. 43:72. 1988.

Carvalho, V. V., Paulino, M. F., Detmann, E., Valadares Filho, S. C., Lopes, S. A., Rennó, L. N., ... & Silva, A. G. (2019). A meta-analysis of the effects of creep-feeding supplementation on performance and nutritional characteristics by beef calves grazing on tropical pastures. *Livestock Science*, 227, 175-182.

Cobby, J. M.; Le Du, Y. L. P. On fitting curves to lactation data. *Animal Production*, 26:127-133, 1978.

Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization – CSIRO. *Nutrients requirements for Domestic Ruminants.* Victoria: 270p. 2007.

Costa e Silva, L. F. *Mineral requirements for Nellore cattle and equations to predict milk yield and dry matter intake for lactating Nellore cows and suckling Nellore calves.* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, 125 p, 2015.

Costa e Silva, L. F.; Engle, T. E.; Valadares Filho, S. C.; Rotta, P. P.; Villadiego, F. A. C.; Silva, F. A. S.; Martins, E. C.; Silva, L. H. R.; Paulino, M. F. Nellore cows and their calves during the lactation period. Performance, intake, milk composition, and total apparent nutrient digestibility. *Tropical Animal Health and Production*, 47:735-741, 2015a.

Costa e Silva, L. F.; Engle, T. E.; Valadares Filho, S. C.; Rotta, P. P.; Valadares, R. F. D.; Silva, B. C.; Pacheco, M. V. C. Intake, apparent digestibility, and nutrient requirements for growing Nellore heifers and steers fed two levels of calcium and phosphorus. *Livestock Science*, 181: 17-24, 2015b.

David, G. S. S. *Avaliações nutricionais e produtivas ao longo do periparto de vacas Nelore em pastejo recebendo ou não suplemento múltiplo.* (Dissertação de Mestrado). Departamento de Zootecnia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

de Paula, C., Renno´, L.N., Ferreira, M.F.L., Silva, A.E.M., Moreira, S.S., Assis, G.J.F., Detmann, E., Valadares Filho, S.C., Fonseca, P.M., Santos, G.M., 2022. Effect of pre- and post-weaning supplementation on performance, nutritional, and metabolic characteristics in Nellore heifers under grazing. *Anim. Prod. Sci.* https://doi. org/10.1071/AN22025.

De Paula, N. F. *Crescimento de bovinos de corte no sistema pasto/suplemento submetidos a diferentes planos nutricionais*. Viçosa, MG: UFV. 129p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa. 2012.

Ferreira, M. F. L., Rennó, L. N., Detmann, E., Paulino, M. F., Valadares Filho, S. C., Moreira, S. S., et al. Performance, metabolic and hormonal responses of grazing Nellore cows to an energy-protein supplementation during the pre-partum phase. *BMC Veterinary Research*, 16:108, 2020.

Ferreira, M. F. L., Rennó, L. N., Detmann, E., Paulino, M. F., Valadares Filho, S. C., Fonseca, F. F., et al. *Evaluation of non-linear equations to predict milk yield of beef cows*. Unpublished data, 2021.

Ferrell, C. L.; Jenkins, T. G. Cow type and the nutritional environment: nutritional aspects. *Journal of Animal Science*, 61:725-741, 1985.

Flatt, W. P.; Moe, P. W.; Munson, A. W.; Cooper, T. Energy utilization by high producing dairy cows. II. Summary of energy balance experiments with lactating Holstein cows. Page 235 in *Energy Metabolism of Farm Animals*, EAAP Publ. 12, Warsow, Poland. 1967.

Fonseca, M. A. *Exigências Nutricionais de Vacas e Bezerros Nelore, do nascimento à desmama*. Viçosa, MG: UFV, 2009. 87p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa. 2009.

Fonseca, M. A.; Valadares Filho, S. C.; Henriques, L. T.; Paulino, P. V. R.; Detmann, E.; Fonseca, E. A.; Benedeti, P. D. B.; Silva. L. D. Exigências nutricionais de bezerros Nelore lactentes. *Revista Brasileira de Zootecnia,* 41:1212-1221, 2012a.

Fonseca, M. A.; Valadares Filho, S. C.; Henriques, L. T.; Paulino, P. V. R.; Detmann, E.; Benedeti, P. D. B.; Silva. L. D.; Amaral, P. M. Exigências nutricionais de vacas Nelore primíparas lactantes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:1222-1230, 2012b.

Freetly, H. C.; Nienaber, J. A.; Brandl, T. B. Partitioning of energy during lactation of primiparous beef cows. *Journal of Animal Science*, 84:2157-2162, 2006.

Institut National de la Recherche Agronomique – INRA. *Alimentation des bovines, ovins, et caprins*. JARRIGE. R. (Ed.) Paris: INRA. 1989.

Kelly, A. K.; Mcgee, M.; Crews Jr, D. H.; Fahey, A. G.; Wylie, A. R.; Kenny, D. A. Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. *Journal of Animal Science*, 88:109-123, 2010.

Lage, B.C., 2019. *Efeito da substituição parcial da proteína bruta do farelo de soja pela proteína bruta da ureia sobre o desempenho de Bezerros nelore lactentes.* Department of Animal Science, Federal University of Viçosa,, Viçosa. Master degree dissertation.

Lofgreen, G. P.; Garret, W. N. A. System for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *Journal of Animal Science*, 27:793-806, 1968.

Lopes S. A. *Estratégias de suplementação para vacas de corte gestantes no período seca e suplementação de bezerros de corte lactentes com diferentes níveis de proteína*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. 2012.

Lopes, S. A.; Paulino, M. F.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Valente, E. E. L.; Barros, L. V.; Cardenas, J. E. G.; Almeida, D. M.; Martins, L. S.; Silva, A. G. Supplementation of suckling beef calves with different levels of crude protein on tropical pasture. *Tropical Animal Health and Production*, 46: 379-384, 2014.

Lopes S. A. *Estratégias para otimização da performance de bovinos em pastagem tropical*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. 2015.

Lopes, S. A.; Paulino, M. F.; Detmann, E. Valente, E. E. L.; Rennó, L.N.; Valadares R. F. D.; Cardenas, J. E. G.; Almeida, D. M. Evaluation of supplementation plans for suckling beef calves managed on tropical pasture. *Semina-Ciencias Agrarias*, 38: 1027-1040, 2017.

Lopes, S. A.; Ferreira, M. F. L.; Costa e Silva, L. F.; Valadares Filho, S. C; Rodrigues, I. I. et al. A meta-analysis on evaluation of nonlinear models to predict milk yield and composition of beef cows. *Animal feed Science and Technology, PRELO*.

Marcondes, M. I.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Valadares, R. F. D.; Paulino, M. F.; Nascimento, F. B.; Fonseca, M. A. Exigências nutricionais de proteína, energia e macrominerais de bovinos Nelore de três classes sexuais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:1587-1596, 2009.

Márquez, D. E. C. *Parâmetros nutricionais e produtivos de bezerras suplementadas e vacas de corte lactantes em pastejo*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. 2013.

Marquez, D. C.; Paulino, M. F.; Marcondes, M. I.; Rennó, L. N.; Barros, L. V.; Martins, L. S.; Ortega, R. M.; Silva, A. G.; Almeida, D. M.; Sotello, D. P.; Moura, F. H. Parâmetros nutricionais e produtivos de bezerras suplementadas a pasto com diferentes fontes de alimentos protéicos. *Semina: Ciências Agrárias*, 35:2709-2722, 2014.

Martins, L. S. *Efeitos da suplementação sobre desempenho e características nutricionais e metabólicas de vacas e bezerros de corte a pasto*. Viçosa, MG: UFV. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa. 2017.

Martins, L. S; Paulino, M. F.; Rennó, L. N.; Detmann, E. Almeida, D. M. Ortega, R. M. Moreno, D. P. S. Cardenas, J. E. G. Creep feeding effects on male Nellore calves influencing behavior and performance of their dams. *Tropical Animal Health and Production,* 8: 1-8*,* 2017.Maynard, L. A.; Loosli, J. K.; Hintz, H. F.; Warner, R. K. *Animal Nutrition*. McGraw-Hill Book Co., New York, USA, 602 p, 1979.

Matos, E. M. A. *Estimativa do consumo de matéria seca de vacas Nelore lactantes em pastagem* (Tese de Doutorado andamento). Departamento de Zootecnia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Melo, L.P., 2018. *Características produtivas, nutricionais e metabólicas de novilhas nelore submetidas a diferentes estratégias de suplementação durante a gestação*. (Master degree dissertation) Department of Animal Science, Federal University of Viçosa, Viçosa.

Moreira, S.S., 2022. *Desempenho e respostas metabólicas de fêmeas Nelore em pastejo suplementadas nos períodos pré e pós-desmame.* (Master degree dissertation). Department of Animal Science. Federal University of Viçosa,Viçosa.

Nascimento, K.S. 2021. *Efeito da suplementação com minerais orgânicos, leveduras e/ou enzimas fibrolíticas no desempenho produtivo e parâmetros reprodutivos de vacas Nelore a pasto.* (Ph.D. thesis) Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Faculdade de Ciências Agráias e Veterináias, Brasil.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM), 2016. *Nutrient requirements of beef cattle.* 8th revised edition. National Academy Press, Washington DC, USA.

National Research Council – NRC. *Nutrient requirements of beef cattle*. 7 ed. National Academic Press. Washington, D.C. 248p. 1996.

National Research Council - NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7 ed. National Academic Press. Washington, D.C. 381p. 2001.

Paulino, M. F; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Silva, A. G.; Cabral, C. H. A.; Valente, E. E. L.; Barros, L. V.; De Paula, N. F.; Lopes, S. A.; Couto, V. R. M. Bovinocultura programada. In: VII Simpósio de Produção de Gado de Corte, Viçosa. *Anais*...Viçosa: DZO-UFV, 267-297, 2010.

Paulino, M. F.; Detmann, E.; Silva, A. G.; Almeida, D. M.; Valente, E. E. L.; Maciel, I. F. S.; Nascimento, J. L. M.; Bittencourt, J. A.; Martins, L. S.; Barros, L. V.; De Paula, N. F.; Mendes, R. K. V.; Lopes, S. A.; Carvalho, V. V. Bovinocultura de alto desempenho com sustentabilidade. In: VIII Simpósio de Produção de Gado de Corte, Viçosa. *Anais*...Viçosa: DZO-UFV, 183-196. 2012.

Porto, M. O.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Sales, M. F. L.; Couto, V. R. M. Fontes de energia em suplementos múltiplos para bezerros Nelore em creep feeding: desempenho produtivo, consumo e digestibilidade dos nutrientes. *Revista brasileira de Zootecnia*, 38:1329-1339, 2009.

Prados, L. F., D. F. T. Sathler, B. C. Silva, D. Zanetti, S. C. Valadares Filho, H. M. Alhadas, E. Detmann, S. A. Santos, L. D. S. Mariz, and M. L. Chizzotti. 2017. Reducing mineral usage in feedlot diets for Nellore cattle: II. Impacts of calcium, phosphorus, copper, manganese, and zinc contents on intake, performance, and liver and bone status. *J. Anim. Sci*. 95: 1-11. doi:10.2527/jas2016.1085

Rodrigues, I.I.L., 2021. *Efeito da ordem de parto sobre o metabolismo e produção de leite de fêmeas Nelore em pastejo.* (Ph.D. Department of Animal Science. Federal University of Viçosa, Viçosa.

Saraiva, D.T., 2023, *effect of supplement levels on creep-feeding for suckling calves and prepartum Nellore cows on pasture*. (Ph.D. thesis). Department of Animal Science. Federal University of Viçosa, Viçosa.

Totusek, R., Amett, D.W., Holland, G.L., and Whitman, J.V. Relation of estimation method, sampling interval and milk composition to milk yield of beef cows and calf gain. *Journal of Animal Science*. 37:153, 1973.

Schroeder, G. F.; Titgemeyer, E. C. Interaction between protein and energy supply on protein utilization in growing cattle: a review. *Livestock Science*, 114:1-10, 2008.

Souza, W.L., 2021, *Impacto da oferta de forragem durante os Terços médio e final da gestação no Desempenho do par vaca/bezerro nelore até o Desmame.* (Master degree dissertation). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Brasil.

Valente, E. E. L.; Paulino, M. F.; Barros, L. V.; Almeida, D. M.; Martins, L. S.; Cabral, C. H. A. Effect of calves' supplementation on performance, nutritional and behavioral characteristics of their dams. *Tropical Animal Health and Production*, 45:487-495, 2013.

Vital, M.N.F., 2021, *Metabolic, reproductive, and performance evaluation in primiparous Nellore beef cows under grazing with different ages at breeding.* (Master degree dissertation). Department of Animal Science. Federal University of Viçosa, Viçosa.

Webster, A. J. F. Energy metabolism and requirements. In: Curch, D.C. (Ed.). *Digestive physiology and nutrition of ruminants*. 2 ed. Oregon: Book Stores, p. 210-229. 1979.

Wilmink, J. B. M. Adjustment of test-day milk, fat and protein yield for age, season and stage of lactation. *Livestock Production Science*, 16:335-348, 1987.

Williams, J.H., Anderson, D.C. and Kress, D.D. Milk production in Hereford cattle. 1. Effects of separation intervals on weigh-suckle-weigh milk production estimates. *Journal of Animal Science*. 49:1438, 1979.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-192-0.2023.C013.p.329-346

13

Predição da excreção de nitrogênio e fósforo para bovinos de corte

Laura Franco Prados, Fernanda Helena Martins Chizzotti, Abmael da Silva Cardoso, Ana Claudia Ruggieri, Mario Luiz Chizzotti, Igor Lima Bretas, Breno de Castro Silva, Polyana Pizzi Rotta, Luiz Fernando Costa e Silva e Sebastião de Campos Valadares Filho

INTRODUÇÃO

Bovinos de corte retém apenas uma porção dos nutrientes consumidos, sendo o remanescente perdido nas fezes, urina, eructação ou flatulências (NASEM, 2016). As excreções distribuídas em pastagens bem manejadas representam pouco ou nenhum impacto pois o sistema solo-planta é capaz de utilizar a maioria dos nutrientes presentes nos dejetos, porém em áreas de aguadas, áreas de descanso ou próximos a cochos de suplementação, onde há aglomeração de animais e compactação do solo, os dejetos acumulados podem representar passivos ambientais. Em confinamentos, devido à grande concentração de animais, o grande volume de fezes e urina acumulado no piso das baias pode ocasionar contaminações por carreamento superficial, lixiviação no solo ou volatilização de gases como metano, amônia, óxido nitroso e em algumas situações sulfito de hidrogênio.

A formulação de precisão representa grande oportunidade para redução das excreções destes compostos. A gestão de nutrientes representa uma nova demanda para nutricionistas de bovinos frente às questões ambientais enfrentadas pela cadeia produtiva da carne (Klopfenstein e Erickson, 2002). Regulações ambientais em países desenvolvidos norteiam a necessidade da redução de excreção de alguns compostos, principalmente compostos nitrogenados (N) e fósforo (P), devido ao potencial de poluição desses no solo e água, e na atmosfera para o N.

A proteína verdadeira é o nutriente de mais alto custo unitário nas dietas de bovinos de corte, sendo que sua inclusão de forma desequilibrada resulta em elevação nos custos de produção e aumento na excreção de compostos nitrogenados nas fezes e principalmente na urina (Cavalcante et al., 2005). O fósforo é o mineral que mais contribui com a contaminação ambiental, sendo considerado relevante poluidor de águas em vários países do mundo (Tamminga, 1992; Valk et al., 2000). Sendo assim, a redução das perdas de N e P é uma preocupação ambiental, social e econômica.

Os sistemas de produção de ruminantes são considerados um dos principais contribuintes de perdas de N e P para o meio ambiente (Neeteson, 2000; Schroder et al., 2003). A intensificação da produção acarreta aumento na excreção de poluentes nos dejetos. De acordo com Tamminga (1992), o manejo da dieta era realizado com mínima ou nenhuma preocupação com a excreção de N nas fezes e urina. Atualmente, o impacto ambiental de animais alimentados em confinamento é uma preocupação crescente (Cole et al., 2006; Staerfl et al., 2012; Patra e Lalhriatipuii, 2016).

O controle racional do nitrogênio e fósforo (e.g. resíduos de fertilizantes e dejetos de animais) é um dos principais fatores a ser manejado para reduzir problemas no ambiente relacionados a agropecuária. Cole (2003) propôs o uso da "alimentação de precisão" (*precision feeding*), definida como o manejo alimentar do gado de forma que não prejudique seu desempenho, mas diminua a concentração dos nutrientes na dieta e desta forma diminua também a excreção destes no ambiente. Uma ferramenta para o uso desse manejo seria o balanceamento adequado das dietas conforme as exigências nutricionais dos bovinos, reduzindo assim a excreção de compostos poluentes sem prejudicar o desempenho dos animais.

A diminuição da excreção do nitrogênio e fósforo pode resultar em menor impacto ambiental e maior retorno econômico no sistema de produção por diminuir o uso de insumos nitrogenados/fosfatados.

O desenvolvimento de medidas de controle é uma questão complicada, mas que se faz necessária atualmente. A adequação topográfica de instalações animais, evitando o carreamento superficial ou infiltração de dejetos até corpos d'água é essencial. Adicionalmente, o

manejo e compostagem de resíduos acumulados em sistemas intensivos representa enorme oportunidade de geração de biofertilizantes e/ou bioenergia que minimizam o impacto ambiental da atividade e podem gerar receita adicional ao sistema de produção.

Dessa forma, objetivou-se apresentar equações de predição da excreção de compostos nitrogenados e fósforo via fezes e urina por bovinos de corte em condições tropicais.

ADEQUABILIDADE DAS EQUAÇÕES PROPOSTAS PELO NASEM (2016)

O sistema NASEM (2016) incorporou informações referentes ao impacto ambiental da atividade pecuária. Antes de gerar novos modelos para excreção de compostos nitrogenados e fósforo no ambiente, as equações de predição do N e P excretado (Geisert et al., 2010; Waldrip et al., 2013; Dong et al., 2014), propostas pelo NASEM (2016), foram testadas para verificar a adequabilidade dessas para o banco de dados do BR-CORTE (2016). As equações testadas são apresentadas abaixo.

Para excreção de N foram utilizados 751 dados individuais (Tabela 13.3) e para a excreção de fósforo total foram utilizados 178 dados individuais (Tabela 13.8 e 13.10).

As equações propostas para excreção de N (Waldrip et al., 2013; Dong et al., 2014) apresentam o consumo de nitrogênio como variável independente. O NASEM (2016) propõe uma equação para predição do N urinário excretado em função do consumo de nitrogênio e do consumo de matéria seca. As equações utilizadas pelo sistema americano NASEM (2016) não estimaram corretamente a excreção de N ($P < 0,05$; Tabela 13.1) e apresentaram de baixo a alto vício sistemático (4 a 38%). A falta de acurácia para estimar a excreção de N pode ser explicada pela falta de animais mais jovens, consequentemente com menor ingestão de nitrogênio, no banco de dados utilizado para geração das equações e, devido a fatores genéticos.

A equação proposta para excreção de P total (Geisert et al., 2010) não estima corretamente a excreção de P no banco de dados do BR-CORTE ($P < 0,05$; Tabela 13.1), entretanto, apresentou elevado valor para o CCC. A falta de acurácia para estimar a excreção de P pode ser explicada por fatores genéticos, uma vez que os animais utilizados por Geisert et al. (2010) diferem dos animais Zebuínos e cruzados utilizados no Brasil.

$$\text{N Urina (g/dia)} = -21,18 + 0,56 \times \text{CN}$$ [Waldrip et al., 2013]

$$\text{N Fezes (g/dia)} = 24,28 + 0,15 \times \text{CN}$$ [Waldrip et al., 2013]

$$\text{N Urina (g/dia)} = -14,12 + 0,51 \times \text{CN}$$ [Dong et al., 2014]

$$\text{N Fezes (g/dia)} = 15,82 + 0,20 \times \text{CN}$$ [Dong et al., 2014]

$$\text{N Urina (g/dia)} = 2,39 + 0,55 \times \text{CN} - 3,36 \times \text{CMS}$$ [NASEM, 2016]

$$\text{P Total (g/dia)} = 0,82 + 0,57 \times \text{Consumo P}$$ [Geisert et al., 2010]

em que: CN = consumo de nitrogênio (g/dia); CMS = consumo de matéria seca (kg/dia); consumo P = consumo de fósforo (g/dia).

Diante disso, existe a necessidade de gerar equações condizentes com a realidade do Brasil, condições ambientais e grupos genéticos. Dessa forma, foram geradas novas equações, baseadas em um banco de dados mais robusto e com um maior número de observações, para estimativas das excreções de N e P por bovinos de corte em condições tropicais. Essas estimativas são de suma importância para os sistemas de produção de gado de corte em tais condições, pois auxilia na questão ambiental e pode identificar práticas de manejo para redução destas excreções.

Tabela 13.1 - Análise de regressão, coeficiente de correlação e concordância (CCC) e decomposição do quadrado médio de predição (QMEP) entre os valores preditos e observados da excreção de nitrogênio e fósforo

Item	Waldrip et al. (2013)		Dong et al. (2014)		NASEM (2016)	Geisert et al. (2010)
	N fezes	N urina	N fezes	N urina	N urina	P total
Análise de regressão[1]	-	-	-	-	-	-
r^2	0,71	0,53	0,71	0,53	0,50	0,60
H_0: a = 0 e b = 1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
CCC	0,59	0,72	0,71	0,72	0,69	0,76
Cb	0,70	0,98	0,84	0,99	0,97	0,99
QMEP	274	654	219	576	521	3,63
Vicio médio (%)	0,28 (0,11)	6,40 (0,98)	1,39 (0,64)	10,3 (1,80)	24,0 (4,60)	0,07 (2,04)
Vício sistemático (%)	106 (38,5)	199 (30,5)	48,9 (22,4)	118 (20,4)	19,4 (3,71)	0,13 (3,68)
Erro aleatório (%)	168 (61,4)	448 (68,5)	168 (77,0)	448 (77,8)	478 (91,7)	3,43 (94,3)

[1]Regressão linear entre valores preditos e observados por intermédio das equações de excreção de nitrogênio via urina e fezes.

NITROGÊNIO

Metabolismo dos compostos nitrogenados no animal e no ambiente

A maioria das fontes proteicas possui alta digestibilidade em ruminantes, tendo, frequentemente, acima de 90% de digestibilidade verdadeira. Já volumosos e fontes energéticas apresentam menor digestibilidade. A proteína indigestível é excretada nas fezes, enquanto a proteína digerida é convertida em aminoácidos que podem ser utilizados para síntese de tecido animal ou oxidados para produção de ATP com consequente geração de ureia no fígado, sendo parcialmente filtrada nos rins e excretada na urina. Uma parte da ureia pode ser reciclada de volta ao trato gastrintestinal e assimilada pelos microrganismos. Entretanto, uma parte do nitrogênio incorporado nos microrganismos é excretada nas fezes como proteína bruta microbiana indigestível (Satter et al., 2002).

A maioria do nitrogênio consumido por bovinos de corte confinados é excretado nas fezes e urina, sendo a perda de N por descamação pouco relevante. Nos dejetos, os compostos nitrogenados estão presentes principalmente na forma de amônia ou de nitrogênio orgânico. Esses compostos são oriundos de alimentos não digeridos no trato gastrintestinal, proteína microbiana indigestível, nitrogênio endógeno, ureia e nitrogênio amoniacal.

Sabe-se que a eficiência de assimilação do nitrogênio pelos animais domésticos é baixa, com isso ocorre elevada excreção de resíduos nitrogenados (Steinfeld et al., 2006). A retenção de nitrogênio nos produtos de origem animal varia de 5 a 20% do total ingerido. De acordo com Hutchings et al. (1996), a eficiência de uso do nitrogênio em bovinos de corte é de aproximadamente 10%. Detmann et al. (2014) utilizando um banco de dados de animais em pastejo em clima tropical, encontraram uma média de 11,6% para a eficiência aparente de utilização do N. No banco de dados avaliado, a média de excreção de nitrogênio foi de 70%, analisando 466 dados individuais, sendo apenas, em média, 30% retido, superior à média de retenção de N encontrada na literatura. Algumas causas dessa baixa retenção podem ser explicadas de forma diferente como por exemplo, em sistema de pastejo pela baixa qualidade da forragem (baixo suprimento de N) e em sistemas de confinamento pelas dietas excessivas em nitrogênio, devido a cálculos de exigências superestimados ou uso de sistemas de exigências não condizentes com os animais e condições climáticas, entre outras.

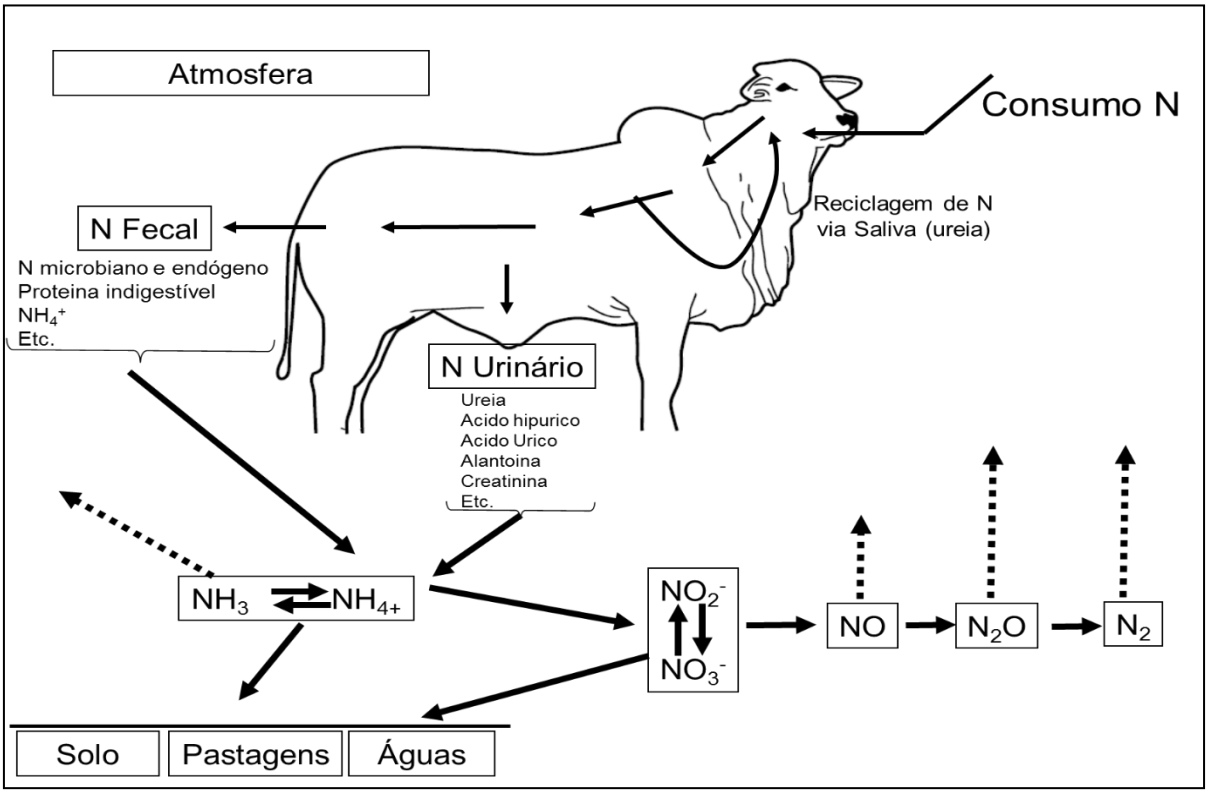
De acordo com Menezes et al. (2016), o metabolismo do nitrogênio é afetado pelos níveis de proteína bruta na dieta e a excreção urinária e fecal de N aumenta linearmente com o consumo de proteína bruta. Níveis de proteína bruta na dieta acima das exigências nutricionais dos animais resultam em aumento na excreção de N, principalmente via urina. Assim, a redução na excreção de nitrogênio com base no atendimento das exigências nutricionais dos animais sem prejudicar o desempenho tem grande potencial de diminuir o impacto ambiental dos bovinos de corte e, consequentemente, aumentar o retorno econômico de produtores.

A preocupação ambiental com o nitrogênio se deve a três principais rotas desse nutriente no ambiente: perdas por volatilização de amônia para atmosfera, lixiviação de nitrato no solo e lençóis freáticos, e nitrificação e desnitrificação, que resultam em emissão de óxido nitroso para atmosfera (Esquema 13.1). Segundo De Klein e Eckard (2008), a nitrificação e a desnitrificação são os dois principais processos microbiológicos do solo que resultam em perdas de N na forma de óxido nítrico (NO) e óxido nitroso (N_2O).

A nitrificação é um processo aeróbico no qual o amônio (NH_4) é oxidado a nitrito (NO_2) e este a nitrato (NO_{3-}), com o N_2O como um subproduto. Este processo é favorecido em solos bem drenados (adequada aeração), com altos níveis de NH_4^+ e temperatura elevada. Contudo, a proporção do N perdido como N_2O através da nitrificação é pequena. Já a desnitrificação é um processo anaeróbico onde o NO_3^- é reduzido a N_2, sendo o N_2O produzido como intermediário obrigatório da reação. A desnitrificação é incrementada em solos úmidos, solos compactados, altas temperaturas, elevada concentração de NO_3^- e fontes redutoras (C-lábil) no solo. Assim, em condições tropicais, maiores emissões de N_2O oriundas da desnitrificação são observadas no período chuvoso, sendo as mesmas insignificantes no período seco do ano (Lessa et al., 2014; Cardoso et al., 2019; Bretas et al., 2020).

Além disso, as perdas de N por volatilização de NH_3 oriundas da deposição de urina podem ser elevadas e são favorecidas nas condições em que predominam altas temperaturas, menor umidade relativa do ar, pH do solo elevado, textura arenosa e umidade do solo não limitante.

.



Esquema 13.1 - Resumo do ciclo do nitrogênio.

De acordo com o IPCC (2019), as emissões diretas de N_2O de excretas (sem distinção entre fezes e urina) bovinas equivalem a 0,6% e 0,2% do total de N presente nas excretas, respectivamente, para climas úmidos e secos. Em emissões indiretas, para cada kg de N na excreta depositada no solo, 21% são volatilizados e 24% lixiviados. Dos 21% volatilizados, 1% é emitido na forma de N_2O, e dos 24% lixiviados, 1,1% serão emitidos como N_2O. Contudo, esses fatores foram gerados em condições de clima temperado e podem ser inadequados para as condições edafoclimáticas do Brasil. Além disso, trabalhos conduzidos no Brasil (Sordi et al., 2014; Lessa et al., 2014; Cardoso et al., 2016; Cardoso et al., 2019; Bretas et al., 2020) sugerem que os fatores de emissão de N_2O das excretas precisam ser considerados separadamente, ou seja, pelo tipo de excreta (fezes ou urina) para estimativas mais precisas do impacto ambiental da atividade pecuária. Esses trabalhos demonstraram que o fator de emissão de N_2O para fezes é menor do que o da urina e que essas emissões são mínimas (ou inexistentes) no período seco do ano.

Lessa et al. (2014), utilizando a técnica isotópica do nitrogênio marcado na urina, avaliaram as perdas de N oriundas da deposição de urina em pastagens de capim-braquiária na região do cerrado e observaram que 65% do N permaneceu no sistema, cerca de 30% foram perdidos como amônia e os outros 5% foram emitidos como N_2O ou lixiviados. Além disso, a emissão direta de N_2O considerando as excretas (fezes e urina) encontrada pelos autores (0,7% do N na excreta) foi similar aos 0,6% adotados pelo IPCC (2019).

Sordi et al. (2014) avaliaram as emissões de N_2O nas fezes e urina de bovinos aplicadas em pastagens da região sul do Brasil e observaram fatores médios de emissão direta de N_2O de 0,26% para urina e 0,15% para fezes, concluindo que o valor adotado pelo IPCC (2019) é superestimado para as condições subtropicais do Brasil. Porém, segundo os autores, esses resultados podem ser diferentes em função da dieta animal, volume de urina excretada e condições microclimáticas. Cardoso et al. (2019) revisaram 39 trabalhos que mediram a emissão de N_2O de fezes e urina de bovinos. Os autores encontraram um fator de emissão médio de 0,63% para urina e 0,27% para fezes.

Ao avaliarem o efeito de quantidades crescentes de urina e fezes depositadas em pastagens de capim Pangola no sudeste do Brasil sobre as emissões de N_2O, Cardoso et al. (2018) observaram que o fator de emissão médio para fezes foi de 0,18% independentemente da quantidade de fezes aplicada (1,2, 1,8 ou 2,4 kg). Contudo, as emissões de N_2O diminuíram linearmente com o aumento do volume de urina aplicado (1, 1,5 e 2 litros). Os autores atribuíram essa diminuição dos fatores de emissão com o aumento do volume de urina devido a maior percolação da urina no perfil do solo resultando em menor proporção de N disponível nas camadas superficiais do solo sujeitas a perdas por N_2O.

Cardoso et al. (2017) identificaram que a concentração de N total da urina é a característica que mais afeta as emissões de N_2O. Bretas et al. (2020) também demonstraram efeito da concentração de N na urina sobre as emissões de N_2O. Quanto menor a concentração de N na urina menor a emissão de N_2O. Portanto, estratégias que reduzam a excreção de N via urina são desejáveis para mitigação da emissão deste gás.

O nitrogênio presente nas fezes (principalmente proteína alimentar, microbiana e endógena não digeridas) difere substancialmente do N presente na urina (principalmente ureia, ácido hipúrico, alantoína, creatinina, amônia e ácido úrico) sendo o último mais solúvel e rapidamente metabolizado por microrganismos, o que influencia diretamente os índices de emissão de cada fonte (N fecal ou urinário) e a dimensão de seu impacto ambiental (Chizzotti et al., 2016). Dessa forma, para uma estimativa mais precisa do impacto ambiental da atividade pecuária de corte, a estimativa da excreção de N na urina deve ser contabilizada separadamente da excreção do N fecal.

Dados para desenvolvimento das equações por meio da meta-análise e cross-validation

Os dados utilizados na estimação dos parâmetros das equações foram coletados a partir de experimentos com bovinos de corte, Nelore e cruzados, que incluíram informações sobre todas as variáveis consideradas relevantes

para a excreção de nitrogênio (fezes e urina). As informações coletadas para cada observação incluíram: peso corporal (PC), peso corporal metabólico ($PC^{0,75}$), porcentagem de proteína bruta na dieta (%PB), consumo de matéria seca (CMS), consumo de nutrientes digestíveis totais (CNDT) e consumo de nitrogênio (CN).

Foram utilizadas 18 teses e/ou dissertações (Tabela 13.2) totalizando 751 observações utilizadas nos procedimentos de consumo e excreção de nitrogênio, consumo de nutrientes digestíveis totais e peso corporal. A estatística descritiva (mínimo, máximo, média, e desvio padrão) dos dados, para todas as variáveis utilizadas no desenvolvimento das equações de predição da excreção de nitrogênio encontra-se listada na Tabela 13.3.

Procedeu-se o estudo da correlação entre as variáveis para determinar as variáveis que influenciaram na excreção de nitrogênio em bovinos de corte via urina e fezes. Após esse procedimento, foi feito o *stepwise* no SAS para seleção das variáveis do modelo. Em seguida, uma meta-análise (St-Pierre, 2001), considerando efeitos aleatórios de dados provenientes de diferentes estudos foi utilizada para gerar novos modelos de predição. A meta-análise foi feita com a finalidade de examinar a significância dos parâmetros avaliados nas variáveis dependentes. Foram testados vários modelos e diferentes variáveis e a escolha dos melhores modelos foi realizada utilizando o critério de informação de Akaike (*Akaike's information criterion - AIC*).

A partir das variáveis citadas (Tabela 13.3), iniciou-se o processo de seleção das variáveis significativas que influenciaram a excreção de N nas fezes e na urina através da meta-análise. Os efeitos das variáveis independentes foram considerados significativos para nível de probabilidade menor que 0,05.

Tabela 13.2 - Características do banco de dados utilizado no desenvolvimento das equações de excreção de nitrogênio

Autor	Ano	n	Grupo genético	Classe sexual
Dias	1998	25	Cruzados	Macho não castrado
Ladeira	1998	20	Nelore	Macho não castrado
Cardoso	1999	25	Cruzados	Macho não castrado
Tibo	1999	25	Cruzados	Macho não castrado
Rennó	2003	64	Cruzados	Macho não castrado
Dias	2005	12	Nelore	Fêmea
Veras	2006	37	Nelore	Macho não castrado, castrado e fêmea
Chizzotti	2007	29	Cruzados	Macho não castrado
Marcondes	2007	18	Nelore	Macho não castrado, castrado e fêmea
Marcondes	2010	27	Nelore e Cruzados	Castrado
Campos	2011	25	Nelore	Macho não castrado
Cesario	2011	16	Cruzados	Macho não castrado
Costa e Silva	2011	53	Nelore	Macho não castrado
Rotta	2012	32	Cruzados	Macho não castrado
Rufino	2014	40	Nelore	Macho não castrado
Costa e Silva	2015	258	Nelore	Vacas, Macho não castrado, castrado e fêmea
Louzada	2015	29	Nelore	Macho não castrado e fêmea
Menezes	2015	16	Nelore	Macho não castrado

Observou-se influência do peso corporal, consumo de NDT e consumo de N para a excreção de compostos nitrogenados nas fezes e influência do consumo de MS e consumo de nitrogênio para a excreção de compostos nitrogenados na urina.

Tabela 13.3 - Estatística descritiva dos dados utilizados para ajustar os modelos de regressão para estimação da excreção de nitrogênio via urina e fezes em bovinos de corte

Variáveis[1]	n	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Peso corporal, kg	751	312,73	123,23	34,94	671,78
CMS, kg/dia	751	6,40	3,16	0,76	14,84
CNDT, kg/dia	751	4,40	2,08	0,83	9,89
CN, g/dia	751	134,84	65,70	24,53	328,00
N nas fezes, g/dia	751	43,97	23,96	6,36	167,35
N na urina, g/dia	466	47,68	30,93	4,83	178,61

[1]CMS = consumo de matéria seca; CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais; CN = consumo de nitrogênio.

Após a definição dos melhores modelos, utilizou-se a validação-cruzada (*leave-one-out cross-validation)* usando o procedimento REG do SAS para gerar os parâmetros das equações de predição de excreção de nitrogênio (Tabela 13.4). As equações propostas para excreção de N fecal e urinário estão descritas a seguir. Contudo, para predição do N urinário, foram propostas duas equações, uma baseada apenas no consumo de nitrogênio e outra baseada no consumo de nitrogênio e consumo de matéria seca.

$$\text{N Fezes (g/dia)} = 2{,}55 + 0{,}048 \times \text{PC} - 3{,}47 \times \text{CNDT} + 0{,}30 \times \text{CN}$$

$$\text{N Urina (g/dia)} = 3{,}26 + 3{,}68 \times \text{CMS} + 0{,}18 \times \text{CN}$$

$$\text{N Urina (g/dia)} = 3{,}82 + 0{,}34 \times \text{CN}$$

em que: PC = peso corporal (kg); CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais (kg/dia); CN = consumo de nitrogênio (g/dia); CMS = consumo de matéria seca (kg/dia);

Na Tabela 13.4 encontra-se a solução dos efeitos fixos das equações de predição para excreção de N via urina e fezes e seus respectivos coeficientes de regressão (R^2). Em ambas as equações, observou-se relação positiva entre o consumo de nitrogênio e sua excreção, corroborando com outros estudos (Cole, 2003; Marini e Van Amburgh, 2003; Menezes et al., 2016; Bougouin et al. 2022).

As predições de excreção de N propostas por Waldrip et al. (2013) e Dong et al. (2014), e utilizadas pelo NASEM (2016), também apresentaram relação positiva entre o consumo de nitrogênio e sua excreção. Estes autores observaram melhor ajuste das equações de predições utilizando o consumo de nitrogênio do que a porcentagem de proteína bruta na dieta, sendo o mesmo comportamento observado no presente banco de dados. Recentemente, Bougouin et al. (2022) realizaram uma meta-análise compilando dados oriundos de diversos países (incluindo o Brasil), contendo dados individuais de bovinos de corte alimentados com uma grande variedade de dietas e observaram que modelos simples utilizando CMS apresentaram melhor predição da excreção fecal de N enquanto que modelos baseados no consumo de N foram mais acurados para predição da excreção urinária e total de N. No entanto, os autores observaram que modelos simples, baseados somente no CMS ou consumo de N, apresentam menor desempenho preditivo se comparado a modelos complexos, que incluem CMS e as concentrações de PB e FDN na dieta como variáveis preditivas.

Tabela 13.4 - Solução dos efeitos fixos dos modelos de predição com base nas variáveis significativas para cada modelo e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) para excreção de compostos nitrogenados fecais e urinários

	N fezes, g/dia	N urina, g/dia (Eq. 1)	N urina, g/dia (Eq. 2)
Intercepto	$2{,}55_{\pm 0{,}034}$	$3{,}26_{\pm 0{,}087}$	$3{,}82_{\pm 0{,}090}$
PC	$0{,}048_{\pm 0{,}0002}$	-	-
CMS	-	$3{,}68_{\pm 0{,}042}$	-
CNDT	$-3{,}47_{\pm 0{,}020}$	-	-
CN	$0{,}30_{\pm 0{,}0005}$	$0{,}18_{\pm 0{,}002}$	$0{,}34_{\pm 0{,}0008}$
R^2	0,585	0,545	0,530

[1]CMS = consumo de matéria seca; CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais; CN = consumo de nitrogênio.

Adequabilidade das equações

Após obtenção das equações de excreção de nitrogênio nas fezes e urina, procedeu-se a validação das mesmas por intermédio do programa *Model Evaluation System* (MES; Tedeschi, 2006). Para validação foram utilizados 13 artigos independentes publicados entre 2006 e 2015 nos periódicos: Revista Brasileira de Zootecnia, Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia e Semina: Ciências Agrárias. Os dados de média reportados nos artigos foram compilados para validação das equações de predição do nitrogênio nas fezes e na urina, totalizando 45 dados de médias para excreção de N nas fezes e 50 para N na urina (Tabela 13.5).

A eficiência de predição foi avaliada por intermédio da estimativa do coeficiente de correlação e concordância (CCC) e quadrado médio do erro de predição estimados de acordo com Tedeschi (2006).

Tabela 13.5 - Estatística descritiva das variáveis para validação das equações propostas

Variáveis	n	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Peso corporal, kg	50	285,69	72,36	118,41	521,62
CMS, kg/dia	50	5,55	1,41	2,80	8,37
CNDT, kg/dia	50	3,59	0,85	1,20	5,14
CN, g/dia	50	115,19	34,40	23,05	193,67
N nas fezes, g/dia	45	40,31	11,99	15,82	65,92
N na urina, g/dia	50	43,38	22,21	4,79	102,74

[1]CMS = consumo de matéria seca; CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais; CN = consumo de nitrogênio.

Na Tabela 13.6 encontra-se o resultado da validação das equações de predição da excreção de compostos nitrogenados via fezes e urina por bovinos de corte em condições tropicais. De acordo com *Mayer's test,* o intercepto e a inclinação da regressão de valores preditos e observados não diferiram de zero e um ($P > 0,05$), respectivamente, recomendando que as estimativas pelas equações propostas foram precisas em predizer a excreção de compostos nitrogenados em bovinos de corte.

A partir do CCC é possível se ter ideia da acurácia e da precisão do modelo. Quanto menor o quadrado médio do erro de predição (QMEP), melhor é o modelo e através dele se faz uma decomposição do erro. As equações aqui propostas estimaram corretamente a excreção de compostos nitrogenados via fezes e urina por bovinos de corte. Na decomposição dos erros, pode-se observar que a maioria dos erros é de ordem aleatória, demonstrando que não existe uma tendência de super ou subestimação dos modelos propostos. Comparando as duas equações propostas para a excreção de N urinário, a equação apenas com o consumo de nitrogênio (Eq. 2) como variável independente demonstrou maior acurácia e menor quadrado médio do erro de predição (QMEP).

Tabela 13.6 - Análise de regressão, coeficiente de correlação e concordância (CCC) e decomposição do quadrado médio de predição (QMEP) entre os valores preditos e observados da excreção de nitrogênio nas fezes e urina

	Equação de predição da excreção de nitrogênio		
	N fezes	N urina (Eq. 1)	N urina (Eq. 2)
Análise de regressão[1]	-	-	-
r^2	0,453	0,270	0,431
H_0: a = 0 e b = 1 (*P*-valor)	0,131	0,902	0,526
CCC	0,64	0,40	0,55
Cb	0,95	0,77	0,83
QMEP	86,37	354,47	282,15
Vicio médio (%)	4,98 (5,77)	0,51 (0,14)	0,005 (0,002)
Vício sistemático (%)	2,80 (3,25)	0,99 (0,28)	7,44 (2,638)
Erro aleatório (%)	78,59 (90,98)	352,97 (99,58)	274,705 (97,36)

[1]Regressão linear entre valores preditos e observados por intermédio das equações de excreção de nitrogênio via urina e fezes.

Na Figura 13.1 pode-se verificar a semelhança nas estimativas de excreção de nitrogênio obtidas pelas equações propostas aqui e o valor observado. Os valores encontram-se igualmente dispostos em torno da linha de igualdade (linha pontilhada).

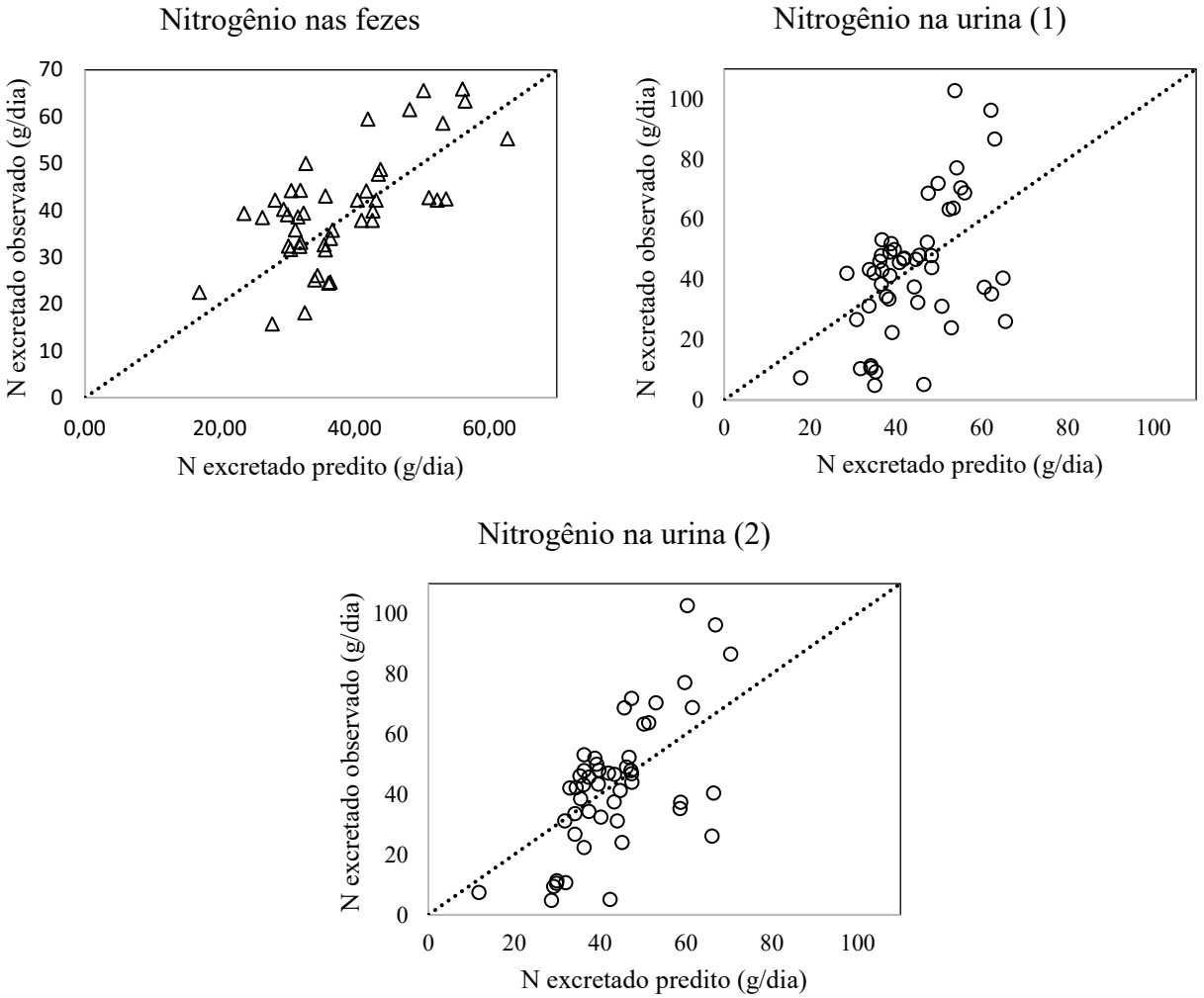


Figura 13.1 - Relação entre os valores observados de excreção de nitrogênio via fezes e urina e aqueles determinados pelas equações propostas. Valores preditos estão plotados no eixo X e os valores observados estão no eixo Y. A linha pontilhada representa a linha ideal (Y = X), intercepto = 0 e inclinação = 1.

Atendendo as exigências nutricionais dos animais, existe a possibilidade de reduzir os teores de PB na dieta da terminação, o que também resultaria em redução das quantidades de PB ingeridas e de compostos nitrogenados excretados no meio ambiente (Cole et al., 2006), mostrando que o teor de nitrogênio na dieta pode influenciar diretamente sua excreção e explicando o uso dessa variável nas equações propostas. O excesso de proteína na dieta resulta em aumento nas excreções de ureia na urina.

A otimização da síntese de proteína microbiana no rúmen pode aumentar a eficiência de uso dos compostos nitrogenados, que leva à diminuição das perdas (Reynal e Broderick, 2005). O crescimento eficiente dos microrganismos no rúmen e a consequente otimização da proteína microbiana depende da sincronização da energia (NDT) e proteína (Dijkstra et al., 1998). A correta formulação das dietas, atendendo as exigências proteicas dos animais e a sincronização da energia e proteína são formas de se garantir que excessos de nitrogênio não sejam excretados para o ambiente, justificando o uso da variável NDT na equação de excreção de N nas fezes.

FÓSFORO

Metabolismo do fósforo no animal e no ambiente

O fósforo, além da função estrutural e presença nos ácidos nucléicos, está envolvido

no desempenho animal. Até recentemente, as recomendações de exigências do P foram conduzidas para evitar qualquer carência na ingestão desse mineral, visando o máximo desempenho (Klopfenstein et al., 2002). Mas, atualmente, iniciaram-se as preocupações com as questões ambientais relacionadas à excreção desse mineral. Com o aumento da demanda de sustentabilidade ambiental em todos os setores da agropecuária, considera-se que o excesso de P no solo pode ser tão perigoso para o meio ambiente quanto sua escassez (Pfeffer et al., 2005). Outro ponto relevante do P é o fato dele ser proveniente de fontes não renováveis, sendo 90% da sua demanda para produção de alimentos (Gunther, 2005). Steen (1998) estimou que as reservas globais de P comercial irão se esgotar em 50 a 100 anos. Assim, o uso racional deste mineral é imprescindível.

O fósforo entra no rúmen de duas formas: via saliva (reciclagem) e via dieta (Esquema 13.2). A reciclagem do fósforo supre uma proporção da necessidade dos microrganismos do rúmen, chegando a ser responsável por 50% do fósforo que entra no rúmen (Kincaid e Rodehutscord, 2005). Sathler (2015), trabalhando com dois níveis de fósforo na dieta de bovinos Nelore, observou reciclagem líquida de P para o rúmen variando de 13,96 a 23,35 g/dia, em animais consumindo entre 5,51 a 13,73 g/dia.

A maioria dos minerais é absorvida no intestino delgado por transportadores específicos. O principal local de absorção do P é o intestino delgado, com média de 67,3% da quantidade que chega ao local, enquanto no intestino grosso também já foi observada absorção de P, mas em menor quantidade, de 25,5% (Pfeffer et al., 2005; Sathler, 2015). O excesso de fósforo na alimentação provoca maior excreção renal e aumento na concentração desse elemento na saliva, o que provoca elevação da perda fecal de fósforo (Underwood e Suttle, 1999). A excreção fecal de P é uma função de seu consumo (Geisert et al., 2010), apresentando uma correlação positiva.

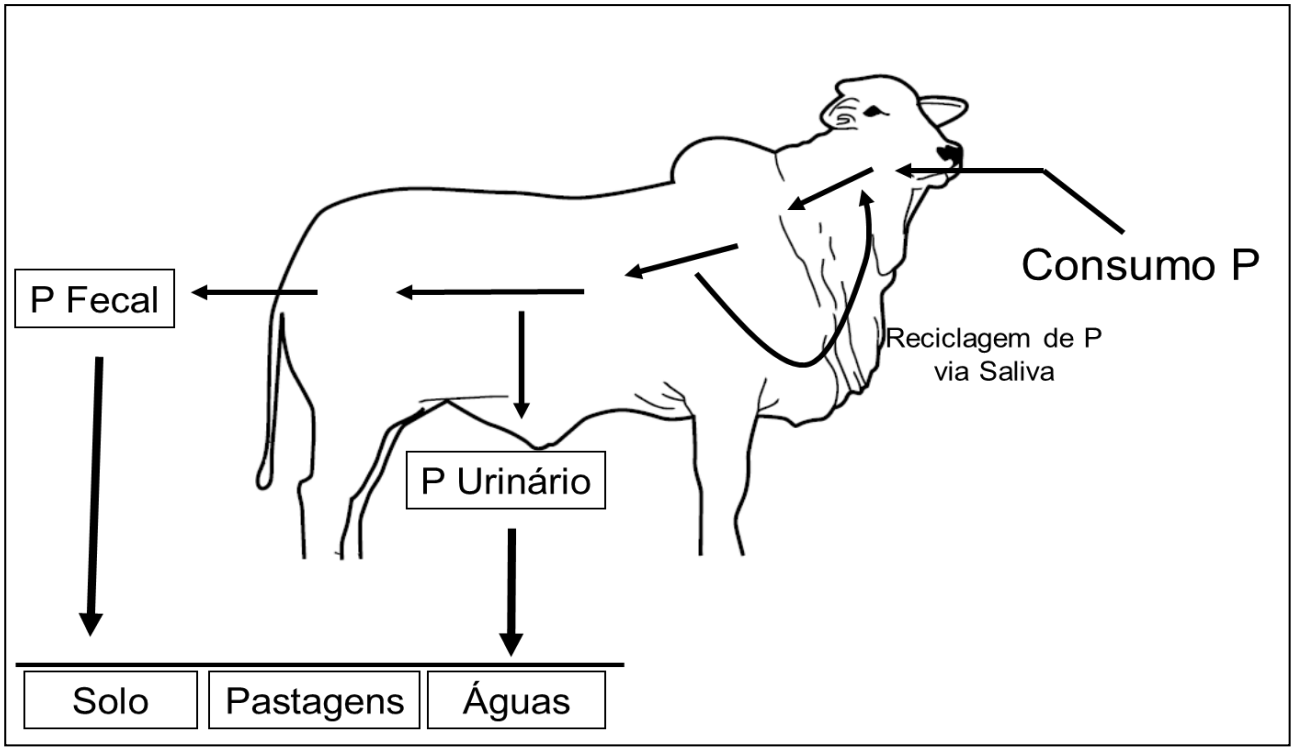
Animais excretam P nas fezes por três vias: fração do P contida nos alimentos que não foram solubilizadas; P oriundo dos microrganismos e perdas endógenas, e P consumido acima das exigências do animal (em ruminantes, a maior porção é excretada nas fezes).

A combinação de P nas fezes oriundo dos microrganismos e do P endógeno é cerca de metade do total do P fecal (Conrad, 1999), mas essa proporção é variável dependendo do excesso do P na dieta. No banco de dados do presente estudo, o P na urina representou 9,6% do total excretado. De acordo com alguns estudos, 90% da excreção total de P é via fezes, restando apenas uma quantidade marginal na excreção urinaria (Braithwaite, 1985; Wylie et al., 1985; Martz et al., 1990; Khorasani e Armstrong, 1992; Bortolussi et al., 1996). Geisert et al. (2010), trabalhando com cinco diferentes níveis de P na dieta observaram média de apenas 2,1 g/dia de P na urina (10,8% do total de P excretado). O P é excretado na urina após as exigências de mantença e produção serem atendidas (Vitti et al., 2000; Geisert et al., 2010).

A partir das recomendações do NRC (1996) como ponto de referência, pesquisas começaram a ser realizadas visando recomendações mais acuradas de P na dieta para bovinos de corte. Pesquisas feitas na Universidade de Nebraska - EUA por Erickson et al. (1999 e 2002), variando os níveis de P na dieta de 0,14 a 0,40 de bovinos confinados, demonstraram que as exigências do NRC (1996) estavam superestimadas em 30%. Essa diminuição do P na dieta possui implicações no custo das dietas e também implicações ambientais. Prados et al. (2015) concluíram que as estimativas do BR-CORTE (Valadares Filho et al., 2010) e NRC (2000) estavam superestimadas em, respectivamente, 14 e 43% para bovinos cruzados. De acordo com o NASEM (2016), a maioria dos grãos e subprodutos utilizados em confinamentos apresenta pelo menos 0,25% de P e nessa situação não é necessária adição de fonte de fósforo suplementar. Porém, em sistemas extensivos baseados em pastagens tropicais a suplementação com fósforo é fundamental, mas deve ser realizada com critério para não desperdiçar esse nobre e oneroso elemento, através do uso de fontes com boa solubilidade de P.

O P excretado no meio ambiente estará sujeito a processos de mineralização-imobilização, que envolvem reações de adsorção por argilas, óxidos e hidróxidos do

solo e solubilização de fosfatos pela atividade de microrganismos e plantas. O fósforo dificilmente é lixiviado, pois os solos brasileiros apresentam elevados teores de óxidos de Ferro e Alumínio e argilas do grupo caulinita, capazes de imobilizar o fósforo por adsorção específica. Porém, em caso de solos compactados ou em alta concentração de dejetos, estes podem ser carreados durante a chuva, alcançando corpos d'agua, e contribuindo para um processo conhecido como eutrofização. A eutrofização é o acúmulo de nutrientes dissolvidos na água, que favorece o crescimento de algas e cianobactérias, dificultando a passagem de luz e causando morte de peixes por falta de oxigênio, quando estas morrem e entram em decomposição.



Esquema 13.2 - Resumo do ciclo do fósforo.

Dados para desenvolvimento das equações por meio da meta-análise e cross-validation

Os dados utilizados na estimativa dos parâmetros das equações foram coletados a partir de experimentos com bovinos de corte, Nelore ou Cruzados, que incluíram informações sobre todas as variáveis consideradas relevantes para a excreção de fósforo. As informações coletadas para cada observação incluíram: peso corporal (PC), consumo de matéria seca (CMS), consumo de fósforo e excreção fecal e urinária de fósforo.

Foram utilizadas 8 teses e/ou dissertações (Tabela 13.7), totalizando 178 observações. Os dados foram aleatoriamente separados em um banco para desenvolvimento das equações (142 observações) e um banco de dados para validação (36 observações, sendo 20% de cada estudo). A estatística descritiva (mínimo, máximo, média, e desvio padrão) dos dados para desenvolvimento das equações, para todas as variáveis utilizadas no desenvolvimento das equações de predição da excreção de fósforo, encontra-se listada na Tabela 13.8.

O procedimento para desenvolvimento das equações foi o mesmo utilizado para os compostos nitrogenados citado anteriormente.

Tabela 13.7 - Características do banco de dados utilizado no desenvolvimento das equações de excreção de fósforo

Autor	Ano	n	Grupo genético	Classe sexual
Souza	2009	20	Nelore e Cruzados	Fêmea
Marcondes	2010	8	Nelore e Cruzados	Castrado
Gionbelli	2010	7	Nelore	Fêmea
Prados	2012	17	Cruzados	Não castrado
Zanetti	2013	17	Cruzados	Castrado
Costa e Silva	2015	45	Nelore	Fêmea e castrado
Sathler	2015	25	Nelore	Não castrado
Prados	2016	39	Nelore	Não castrado

A partir das variáveis descritas na Tabela 13.8, iniciou-se o processo de seleção das variáveis significativas que influenciaram a excreção de P. Os efeitos das variáveis independentes foram considerados significativos para nível de probabilidade menor que 0,05. O modelo utilizado para fósforo excretado nas fezes incluiu os termos: peso corporal e consumo de fósforo. Devido à baixa contribuição do P na urina, não foi gerada uma equação de excreção para P urinário, contudo, foi gerada uma equação para a excreção total de P.

$$P\ Fezes\ (g/dia) = 1,47 - 0,0019 \times PC + 0,48 \times CP$$

$$P\ Total\ (g/dia) = 1,90 - 0,0030 \times PC + 0,53 \times CP$$

em que: PC = peso corporal (kg); CP = consumo de fosforo (g/dia).

Tabela 13.8 - Estatística descritiva dos dados utilizados para ajustar os modelos de regressão para estimação da excreção de fósforo em bovinos de corte

Variáveis	Obs.	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Peso corporal, kg	142	265,80	70,69	125,00	423,00
Consumo de P, g/dia	142	11,69	4,66	3,34	22,60
P nas fezes, g/dia	142	6,59	2,78	1,71	17,55
P total, g/dia	142	7,30	2,97	1,92	18,77

[1]Consumo de P = consumo de fosforo.

Após avaliação dos modelos e as variáveis que compuseram esses, utilizou-se o critério da validação-cruzada (leave-one-out cross-validation) usando o procedimento REG do SAS para gerar os parâmetros das equações de predição de excreção de fósforo. Na Tabela 13.9 encontra-se a solução dos efeitos fixos das equações de predição para excreção de P e seus respectivos coeficientes de regressão (R^2).

Tabela 13.9 - Solução dos efeitos fixos das equações de predição com base nas variáveis significativas e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) para excreção de fósforo

	P fezes	P total
Intercepto	$1,473_{0,043}$	$1,90_{\pm 0,044}$
Peso corporal	$-0,0019_{\pm 0,0002}$	$-0,003_{\pm 0,0002}$
Consumo de fosforo	$0,48_{\pm 0,0035}$	$0,53_{\pm 0,0036}$
R^2	0,607	0,630

Adequabilidade das equações

Após obtenção das equações de excreção de fósforo, procedeu-se a validação das mesmas por intermédio do programa Model Evaluation System (MES; Tedeschi, 2006). Para validação foram utilizadas 36 observações do banco de dados total (Tabela 13.10), como citado anteriormente.

A eficiência de predição foi avaliada por intermédio da estimativa do coeficiente de correlação e concordância (CCC) e quadrado médio do erro de predição, estimados de acordo com Tedeschi (2006).

Na Tabela 13.11 encontra-se o resultado da validação das equações de predição da excreção de fósforo por bovinos de corte em condições tropicais. Considerando o banco de dados para validação, a regressão de valores observados e preditos da excreção de P tiveram intercepto e inclinação que não diferiram de zero e um, respectivamente (*Mayer's test*; $P > 0,05$), isto significa que as equações são adequadas para estimar a excreção de fósforo fecal e total.

Na decomposição dos erros, pode-se observar que a maioria dos erros é de ordem aleatória, mostrando que não existe uma tendência de super ou subestimação das equações propostas.

Tabela 13.10 - Estatística descritiva das variáveis para validação dos modelos propostos

Variáveis	n	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Peso corporal, kg	36	271,29	82,98	125,00	416,50
Consumo de P, g/dia	36	13,16	4,20	3,43	20,97
P nas fezes, g/dia	36	7,13	2,64	1,80	13,43
P total, g/dia	36	7,72	2,75	2,04	14,51

[1]Consumo de P = consumo de fósforo. n = número de observações

Tabela 13.11 - Análise de regressão, coeficiente de correlação e concordância (CCC) e decomposição do quadrado médio de predição (QMEP) entre os valores preditos e observados da excreção de fósforo

	Equação de predição da excreção de fósforo	
	P fezes	P total
Análise de regressão[1]	-	-
r^2	0,42	0,44
H_0: a = 0 e b = 1 (*P*-valor)	0,74	0,50
CCC	0,61	0,63
Cb	0,95	0,95
QMEP	4,010	4,272
Vicio médio (%)	0,03 (0,65)	0,11 (2,68)
Vício sistemático (%)	0,04 (1,04)	0,06 (1,31)
Erro aleatório (%)	3,94 (98,31)	4,10 (96,01)

[1]Regressão linear entre valores preditos e observados por intermédio das equações de excreção de fósforo.

Na Figura 13.2 pode-se verificar a semelhança nas estimativas de excreção de fósforo e o valor observado. Os valores encontram-se igualmente dispostos em torno da linha de igualdade (linha pontilhada).

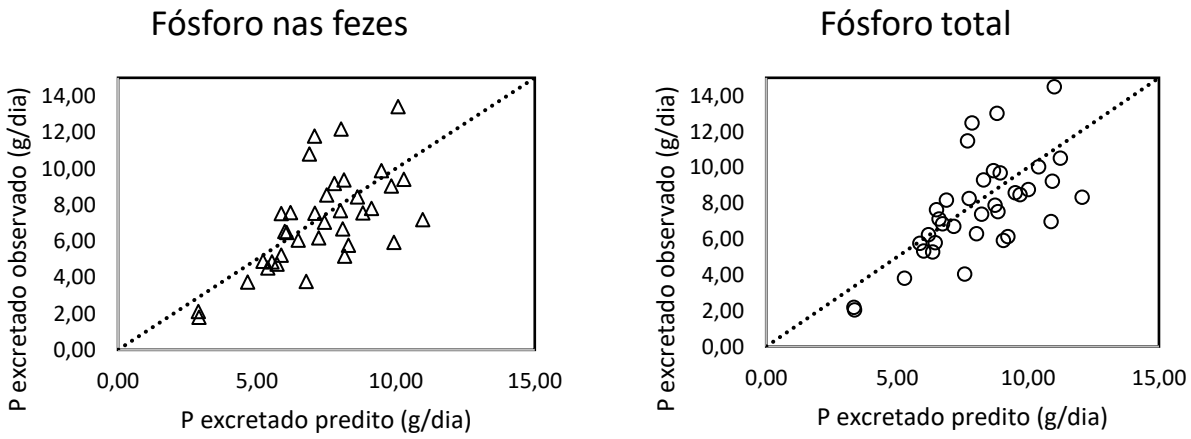


Figura 13.2 - Relação entre os valores observados e preditos para a excreção de fósforo via fezes e urina.

Em ambas as equações se observou relação positiva entre o consumo de fósforo e a excreção desse nutriente, considerando isto, vale ressaltar que outros autores (Prados et al., 2015; Prados, 2016) observaram que aumentando a concentração de fósforo na dieta, aumentou-se a excreção desse nutriente nas fezes. Geisert et al. (2010) propuseram uma equação para excreção total de P, em que foi observada relação positiva do consumo de P com sua excreção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As predições das excreções de N e P nas fezes e urina são importantes para modelagem da ciclagem de nutrientes no sistema de produção de bovinos, e para avaliação do impacto que mudanças na formulação de dietas podem ter sobre a excreção destes nutrientes ao meio ambiente. A redução do teor de fósforo e proteína bruta na dieta, desde que não afete negativamente o desempenho, representa importante ferramenta para mitigação de impactos ambientais e melhoria da eficiência produtiva na bovinocultura de corte.

São propostas as seguintes equações para estimar as excreções fecais e urinárias de compostos nitrogenados e de fósforo para bovinos de corte em condições tropicais:

$$\text{N Fezes (g/dia)} = 2{,}55 + 0{,}048 \times \text{PC} - 3{,}47 \times \text{CNDT} + 0{,}30 \times \text{CN}$$

$$\text{N Urina (g/dia)} = 3{,}26 + 3{,}68 \times \text{CMS} + 0{,}18 \times \text{CN}$$

$$\text{N Urina (g/dia)} = 3{,}82 + 0{,}34 \times \text{CN}$$

$$\text{P Fezes (g/dia)} = 1{,}47 - 0{,}0019 \times \text{PC} + 0{,}48 \times \text{CP}$$

$$\text{P Total (g/dia)} = 1{,}90 - 0{,}0030 \times \text{PC} + 0{,}53 \times \text{CP}$$

em que: PC = peso corporal (kg); CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais (kg/dia); CN = consumo de nitrogênio (g/dia); CMS = consumo de matéria seca (kg/dia); CP = consumo de fosforo (g/dia).

REFERÊNCIAS

Bortolussi, G.; Ternouth, J. H.; McMenniman, N. P. Dietary nitrogen and phosphorus depletion in cattle and their effects on live weight gain, blood metabolite concentrations and phosphorus kinetics. *Journal of Agricultural Science*, 126:491-501, 1996.

Bougouin A, Hristov A, Zanetti D, Filho SCV, Rennó LN, Menezes ACB, Silva JM, Alhadas HM, Mariz LDS, Prados LF, Beauchemin KA, McAllister T, Yang WZ, Koenig KM, Goossens K, Yan T, Noziere P, Jonker A, Kebreab E. Nitrogen excretion from beef cattle fed a wide range of diets compiled in an intercontinental dataset: a meta-analysis. *journal of Animal Science*, 100:1–12, 2022.

Braithwaite, G. D. Endogenous faecal loss of phosphorus in growing lambs and the calculation of phosphorus requirements. *Journal of Agricultural Science,* 105:67-72. 1985.

Bretas, I.L., Paciullo, D.S.C., Alves, B.J.R., Martins, M. R., Cardoso, A. S., Lima, M. A., Rodrigues, R. A. R., Silva, F.F., Chizzotti, F.H.M. Nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from cattle excreta on Brachiaria decumbens growing in monoculture or silvopasture with Acacia mangium and Eucalyptus grandis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 295:2020.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F., Gionbelli, M. P., Rotta, P. P., Marcondes, M. I., Chizzotti, M. L. *Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle – BR-CORTE*, 3 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2016.

BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. *Nutrient Requirements of Zebu and crossbred cattle – BR-CORTE*, 2 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2010.

Cardoso, A.S.; Quintana, B. G.; Janusckiewicz, E. R.; de Brito, L.F.; Morgado, E.S.; Reis, R. A.; Ruggieri, A. C. N_2O emissions from urine-treated tropical soil: Effects of soil moisture and compaction, urine composition, and dung addition. *Catena*, 157:325-332, 2017

Cardoso, A. S.; Alves, B. J. R.; Urquiaga, S.; Boddey, R. M. Effect of volume of urine and mass of faeces on N_2O and CH_4 emissions of dairy-cow excreta in a tropical pasture. *Animal Production Science*, 58(6) 1079-1086.2018

Cardoso, A.S.; Oliveira, S. C.; Janusckiewicz, E. R.; Brito, L. F., Morgado, E.S.; Reis, R. A.; Ruggieri, A. C. Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. *Soil and Tillage Research*, 194:104341, 2019

Cavalcante, M. A. B.; Pereira, O. G.; Valadares Filho, S. C.; Ribeiro, K. G. Níveis de proteína bruta em dietas para bovinos de corte: consumo, digestibilidade total e desempenho produtivo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34:711-719, 2005.

Chizzotti, M. L.; Chizzotti, F. H. M.; Costa e Silva, L. F.; Rotta, P. P.; Prados, L. F.; Valadares Filho, S. C. Nutrição de precisão e manejo ambiental de bovinos de corte. In. *Produção Animal e Recursos Hídricos*. Palhares, J. C. P. 183p. 2016.

Cole, A. Precision feeding: Opportunities and limitations. TAES publication AREC 03-13, 1-19 in *Proc. Plains Nutr. Council* (PNC). Texas A&M Res. Ext. Center, Amarillo. 2003.

Cole, N. A.; Defoor, P. J.; Galyean, M. L.; Duff, G. C.; Gleghorn, J. F. Effects of phase-feeding of crude protein on performance, carcass characteristics, serum urea nitrogen concentrations, and manure nitrogen of finishing beef steers. *Journal Animal Science,* 84:3421–3432, 2006.

Conrad, H. R. Dietary phosphorus, excretory phosphorus and environmental concerns. In: *Proceedings of the Cornell Nutrition Conference*, Rochester, New York. 1999.

De Klein, C. A. M.; Eckard, R. J. Targeted technologies for nitrous oxide abatement from animal agriculture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48:14-20.

Detmann, E.; Valente, E. E. L.; Batista, E. D.; Huhtanen, P. An evaluation of tthe performance and efficiency of nitrogen utilization in cattle fed tropical grass pastures with supplementation. *Livestock Science,* 162: 141-153, 2014.

Dijkstra, J.; France, J.; Davies, D. R. Different mathematical approaches to estimating microbial protein supply in ruminants. *Journal of Dairy Science*, 81:3370-3384. 1998.

Dong, R. I.; Zhao, G. Y.; Chai, L. L.; Beauchemin, K. A. Prediction of urinary and fecal nitrogen excretion by beef cattle. *Journal Animal Science,* 92:4669-4681. 2014.

Erickson, G. E.; Klopfenstein, T. J.; Milton, C. T.; Hanson, D.; Calkins, C. Effect of dietary phosphorus on finishing steer performance, bone status, and carcass maturity. *Journal Animal Science*, 77:2832-2836, 1999.

Erickson, G. E.; Klopfenstein, T. J.; Milton, C. T.; Brink, D.; Orth, M. W.; Whittet, K. M. Phosphorus requirement of finishing feedlot calves. *Journal Animal Science,* 80:1690-1695, 2002.

Geisert, B. G.; Erickson, G. E.; Klopfenstein, T.J.; Macken, C. N.; Luebbe, M. K.; MacDonald, J. C. Phosphorus requirement and excretion of finishing beef cattle fed different concentrations of phosphorus. *Journal Animal Science,* 88:2393-2402, 2010.

Gunther, F. *A solution to the heap problem: the doubly balanced agriculture: integration with population.* Online: http://www.holon.se/folke/kurs/Distans/Ekofys/Recirk/Eng/balanced.shtml.

Hutchings, N. J.; Sommer, S. G.; Jarvis, S. C. A model of ammonia volatilization from a grazing livestock farm. *Atmospheric Environment*, 30:589-599. 1996.

IPCC. *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. International Panel on Climate Change* (IPCC); IPCC: Geneva, Switzerland, 2019; pp. 546–554.

Khorasani, G. R.; Armstrong, D. G. Calcium, phosphorus, and magnesium absorption and secretion in the bovine digestive tract as influenced by dietary concentration of these elements. *Livestock Production Science*, 31:271-286. 1992.

Kincaid, R. L.; Rodehutscord, M. Phosphorus metabolism in the rumen. In: *Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle: reducing the environmental impact of cattle operations*. 288 pp. 2005.

Klopfenstein, T. J.; Angel, R.; Cromwell, G. L.; Erickson, G. E.; Fox, D. G. Animal diet modification to decrease the potential for nitrogen and phosphorus pollution. *Council for agricultural science and technology*. 21. 2002.

Klopfenstein, T. J.; Erickson G. E. Effects of manipulating protein and phosphorus nutrition of feedlot cattle on nutrient management and the environment. *Journal Animal Science,* 80:E106-E114. 2002.

Lessa, A. C. R.; Madari, B. E.; Paredes, D. S.; Boddey, R. M.; Urquiaga, S.; Jantalia, C. P.; Alves, B. J. R. Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190:104-111, 2014.

Marini, J. C.; Van Amburgh, M. E. Nitrogen metabolism and recycling in Holstein heifers. *Journal Animal Science,* 81: 545-552. 2003.

Martz, F. A., Belo, A. T., Weiss, M. F., e Belylan, R. L. True absorption of calcium and phosphorus from alfalfa and corn silage when fed to lactating cows. *Journal Dairy Science,* 73:1288-1295. 1990.

Menezes, A. C. B.; Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F.; Pacheco, M. V. C.; Pereira, J. M. V.; Rotta, P. P.; Zanetti, D.; Detmann, E.; Silva, F. A. S.; Godoi, L. A.; Renno, L. N. Does a reduction in dietary crude protein content affect performance, nutrient requirements, nitrogen losses, and methane emissions in finishing Nellore bulls? *Agiculture, Ecossystems and Environment*, 223:239-249, 2016.

NASEM. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016. *Nutrient requirements of beef cattle.* 8th revised edition. National Academy Press, Washington DC, USA.

Neeteson, J. J. Nitrogen and phosphorus management on Dutch dairy farms: legislation and strategies employed to meet the regulations. *Biology and Fertility of soils*, 30:566-572. 2000.

NRC. 1996. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC, 242 pp.

Patra, A.K.; Lalhriatpuii, M., Development of statistical models for prediction of enteric methane emission from goats using nutrient composition and intake variables. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 215:89-99. 2016.

Pfeffer, E.; Beede, D. K. e Valk, H. 2005. Phosphorus metabolism in ruminants and requirements of cattle. In: *Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle: reducing the environmental impact of cattle operations*. 288 pp.

Prados, L. F., S. C. Valadares Filho, S. A. Santos, D. Zanetti, A. N. Nunes, D. R. Costa, L. D. S. Mariz, E. Detmann, P. M. Amaral, F. C. Rodrigues, e R. F. D. Valadares. 2015. Reducing calcium and phosphorus in crossbred beef cattle diets: impacts on productive performance during the growing and finishing phase. *Animal production science* (online).

Prados, L. F. *Reduction of minerals in feedlot diets of Nellore cattle: impacts on intake, performance, and liver and bone status and nutrient requirements; and prediction of chemical rib section composition by dual energy x-ray absorptiometry in Zebu cattle*. 95 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2016.

Reynal, S. M.; Broderick, G. A. Effect of dietary level of rumen-degraded protein on production and nitrogen metabolism in lactating dairy cows. *Journal Dairy Science*, 88:4045-4064. 2005.

Sathler, D. F. T. 2015. *Efeito da suplementação mineral sobre as digestibilidade total, ruminal e intestinal em zebuínos*. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. 49p.

Satter, L. D.; Klopfenstein, T. J.; Erickson, G. E. The role of nutrition in reducing nutrient output from ruminants. *Journal Animal Science,* (E. Suppl. 2): E143-E156, 2002.

Schroder, J. J.; Aarts, H. F. M.; ten Berge, H. F. M.; van Keulen, H.; e Neeteson, J. J. An evaluation of whole-farm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use. *European Journal of Agronomy*, 20:33-44. 2003.

Sordi, A.; Dieckow, J.; Bayer, C.; Alburquerque, M. A.; Piva, J. T.; Zanatta, J. A.; Tomazi, M.; da Rosa, C. M.; de Moraes, A. Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a subtropical Brazilian pastureland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, 94-103, 2013.

Staerfl, S.M.; Zeitz, J.O.; Kreuzer, M.; Soliva, C.R. Methane conversion rate of bulls fattened on grass or maize silage as compared with the IPCC default values, and the long-term methane mitigation efficiency of adding acacia tannin, garlic, maca and lupine. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 148:111-120, 2012.

Steen, I. Phosphorus availability in the 21st century: management of a nonrenewable resource. *Natural History Museum*, 25–31, 1998.

Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castel, V.; Rosales, M.; De Haan, C. *Livestock's long shadow* (p. 392). Rome: FAO. 2006.

St-Pierre, N. R. Invited review: Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. *Journal of Dairy Science,* 84:741-755. 2001.

Tamminga, S. Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *Journal of Dairy Science,* 75:345-357, 1992.

Tedeschi, L. O. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agricultural Systems*, 89:225-247. 2006.

Underwood, E. J.; Suttle, N. F. 1999. *The mineral nutrition of livestock*. 3ed. New York: CABI, 1999. 624p.

Valk, H.; Metcalf, J. A.; Withers, P. J. A. Prospects for minimizing phosphorus excretion in ruminants by dietary manipulation. *Journal of Environmental Quality*, 29:28-36. 2000.

Vitti, D. M. S. S.; Kebreab, E.; Lopes, J. B.; Adballa, A. L.; De Carvalhos, F. F. R.; De Resende, K. T.; Crompton, L. A.; France, J. A kinetic model of phosphorus metabolism in growing goats. *Journal of Animal Science*, 78:2706-2712, 2000.

Waldrip, H. M.; Todd, R. W.; Cole, N. A. Prediction of nitrogen excretion by beef cattle: A meta-analysis. *Journal of Animal Science*, 91:4290-4302, 2013.

Wylie, M. J.; Fontenot, J. P.; Greene, L. W. Absorption of magnesium and other macrominerals in sheep infused with potassium in different parts of the digestive tract. *Journal of Animal Science*, 61:1219-1229, 1985.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-192-0.2023.C014.p.347-360

14

Predição do consumo de água para bovinos de corte[1]

Diego Zanetti, Laura Franco Prados, Breno de Castro Silva, Mateus Pies Gionbelli e Sebastião de Campos Valadares Filho

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de recursos hídricos oscila globalmente entre as regiões e um número crescente de países, ou partes de países, está atingindo níveis críticos de escassez de água (FAO, 2012). Em algumas partes do mundo, incluindo o Brasil, os efeitos da escassez de água já têm impactado a produção pecuária (Pluske e Schlink, 2007; Ward e Michelsen, 2002). A inclusão do Brasil a essa realidade é alarmante, visto que o país é detentor da maior reserva de água doce do mundo. Vale ressaltar que tal posição do Brasil é apontada como fator determinante para competitividade do agronegócio brasileiro (Palhares et al., 2021). Relatórios da Agência Nacional de Águas (ANA, 2019) apontam que a agropecuária brasileira foi responsável por 79,2% do consumo total de água, sendo a irrigação por 68,4% e a produção animal por 10,8%, dos quais o rebanho bovino representa 88%. Neste cenário, torna-se ainda mais importante o planejamento para o fornecimento adequado de água aos bovinos, além da queda de desempenho animal sem água suficiente.

Isso faz com que pesquisas com o objetivo de aumentar a eficiência do uso da água para a produção pecuária sejam incentivadas (Rijsberman, 2006; Tilman et al., 2002). Ao mesmo tempo, os sistemas de produção de carne bovina requerem considerável volume de água. Beckett e Oltjen (1993) relataram que 3.682 litros de água são necessários para produzir um quilograma de carne bovina, considerando o volume de água potável ingerido pelos animais, a água proveniente dos alimentos, a água utilizada na produção desses alimentos, bem como a água utilizada no processamento da carcaça.

Do total de água utilizado na pecuária de corte mundial, 93,5% correspondem à água proveniente de chuvas (água verde), 3,6% à água proveniente de rios e lagos (água azul) e 2,9% correspondem à água necessária para diluição de dejetos para se alcançar níveis de qualidade apropriados para uso (água cinza) (Mekonnen e Hoekstra, 2012). No Brasil, 98,7% da água utilizada na pecuária é proveniente de chuvas, enquanto apenas 0,71 e 0,59% correspondem à demanda de água azul e cinza, respectivamente (Mekonnen e Hoekstra, 2012). A prevalência do uso da água verde na pecuária torna os sistemas de produção de carne mais sustentáveis, visto que integra tais sistemas ao ciclo hidrológico natural, uma vez que a parcela de água oriunda da precipitação, pode ser retida no solo, evaporar, ou mesmo ser incorporada às plantas e organismos.

A água fornecida nos bebedouros para ser ingerida é um componente importante das demandas totais de água, uma vez que a ingestão de água varia de 8,0 a 9,8% do peso corporal dos bovinos (Ahlberg et al., 2018). No entanto, as pesquisas que avaliam a quantidade de água potável utilizada por bovinos de corte permanecem limitadas (Araújo et al., 2010; Brew et al., 2011). Assim, a inclusão deste capítulo nesta nova edição do BR-CORTE permite que sejam determinadas as demandas de água e, consequentemente, é possível a garantia da disponibilidade de água para os animais. Assim, este capítulo visa discutir os fatores que influenciam e predizer o consumo de água por bovinos de corte em condições tropicais.

ÁGUA NO ORGANISMO

A água é importante para o desempenho produtivo dos animais tanto quanto proteínas, energia, minerais e vitaminas. Essa importância está relacionada às funções que desempenha e à proporção no corpo animal. Dentre as funções, a água é essencial para a hidrólise de proteínas, carboidratos e lipídios, é solvente de aminoácidos, glicose, minerais e várias vitaminas. A água é essencial para o processo de regulação da temperatura corporal, digestão, lactação, metabolismo geral e excreção de

[1] Este capítulo foi parcialmente baseado no artigo: Zanetti et al. Prediction of water intake to *Bos indicus* beef cattle raised under tropical conditions. 2019. *J. Anim. Sci.* 97:1364-1374, https://doi.org/10.1093/jas/skz003

resíduos metabólicos. Assim, a importância da água não deve ser minimizada, e corresponde a aproximadamente 70% do peso dos animais (NASEM, 2016).

QUALIDADE DA ÁGUA

Além da preocupação com a quantidade de água disponibilizada aos animais, torna-se imprescindível verificar a qualidade desta, uma vez que, dependendo da origem da água (rios, lagos, poços, captação das chuvas, entre outros), esta pode apresentar contaminantes, elementos tóxicos, entre outros. A qualidade da água pode impactar na quantidade de água ingerida pelo animal, visto que os bovinos são sensíveis ao sabor e odor da água (Willms et al., 1996). Assim, como qualquer outro nutriente, o consumo de água aquém da exigência nutricional tem como consequência a redução do desempenho produtivo.

Assim como o sabor e odor da água (características organolépticas), as características fisico-químicas (pH, sólidos totais dissolvidos e dureza), a presença de componentes tóxicos (metais pesados, por exemplo), a presença de bactérias patogênicas (a exemplo de coliformes fecais), o excesso de minerais (como sódio, sulfatos e ferro, dentre outros) e de componentes que quando em altas concentrações podem causar intoxicações (nitratos, por exemplo), devem ser mensurados para determinação da qualidade da água a ser fornecida aos animais. Portanto, de acordo com Wright (2007), o primeiro passo com a qualidade da água é medir as concentrações de contaminantes orgânicos e minerais presentes. Ainda de acordo com este autor, as amostras devem ser obtidas de cada fonte de água pelo menos uma vez ao ano.

Fornecimento de água e manutenção da qualidade

Além das características da água para captação, deve-se redobrar os cuidados no armazenamento e no fornecimento da água aos animais. Assim, a limpeza periódica dos reservatórios e bebedouros é de suma importância para o ótimo desempenho dos animais. Tal limpeza deve ser planejada a fim de não comprometer o abastecimento dos bebedouros, de forma que os animais não fiquem longos períodos sem acesso à água.

Para animais em pastejo deve-se priorizar a ingestão de água em bebedouros, e não em cursos naturais de água, como rios e lagos. O fornecimento de água nos bebedouros garante não apenas a manutenção da qualidade da água, sem a suspensão de partículas de argila ou mesmo a contaminação da água com fezes dos animais, por exemplo, mas também a proteção dos recursos hídricos locais. Além disso, quando bovinos têm acesso à água tanto em bebedouros quanto em curso natural, os animais preferem ingerir água em bebedouros por mais de 90% das vezes (Sheffield et al., 1997). Ainda, Bica et al. (2021) reportaram que bovinos com acesso à água em bebedouros tiveram ganho médio diário 29% superior aos animais que ingeriram água diretamente dos lagos.

Deve-se considerar ainda a localização dos bebedouros como item de grande importância, visto que os bovinos podem variar o consumo de água de acordo com a distância do bebedouro, diminuindo seu desempenho. Há recomendações para que a caminhada até o bebedouro, para garantir a ingestão adequada de água para bovinos de corte em sistemas baseados em pastejo, seja de no máximo 250 metros de distância (RSPCA, 2020). Assim, bebedouros devem ser posicionados próximos às áreas de descanso e não muito distante dos cochos. Para redução de custos, os bebedouros podem ser posicionados entre duas baias ou piquetes. Em confinamentos, os bebedouros devem estar distantes dos cochos suficientemente para minimizar o acúmulo de resíduos de alimentos e, assim, assegurar a qualidade da água, minimizando a frequência de limpeza. Branco (2015) recomenda que a distância entre o cocho e o bebedouro em confinamentos seja de 10 metros. Branco (2015) recomenda ainda que o entorno dos bebedouros seja provido de calçamento e localizados preferencialmente no fundo das baias, facilitando a manutenção das condições ideais no curral.

O espaçamento no bebedouro também pode comprometer o consumo de água. Na literatura as recomendações mínimas variam entre 3cm lineares/animal (Branco, 2015) a 4 cm lineares/UA (Santos et al., 2005) de bebedouro. Tavares e Benedetti (2011) sugerem o dimensionamento do bebedouro em função do tamanho do lote, sendo que para lotes com até

50 animais a relação é de 1 metro linear de bebedouro para cada 10 animais, enquanto em lotes com mais de 600 animais a relação cai para 1 metro para cada 30 animais. Tal variação está relacionada ao fato que tanto a localização do bebedouro, quanto a hierarquia social podem influenciar o comportamento da ingestão de água por vacas em sistemas baseados em pastejo (Coimbra et al., 2012). Além do tamanho do bebedouro, a vazão da água para reabastecimento deste também deve ser verificada, a fim de garantir o acesso contínuo à água aos animais.

FATORES QUE INFLUENCIAM O CONSUMO DE ÁGUA

Vários fatores afetam o consumo de água por bovinos de corte, como características raciais, consumo de matéria seca (CMS) e composição da dieta, peso corporal e estado fisiológico, variáveis climáticas. Além dos fatores citados, a influência do metabolismo e comportamento individual dos animais não estão bem estabelecidas. Consequentemente, o NASEM (2016) relatou que é impossível listar as necessidades de água com muita precisão devido ao número de fatores que influenciam suas necessidades.

Características raciais

Há relatos na literatura (Brew et al., 2011; Ittner et al., 1951; Winchester e Morris, 1956; Valente et al., 2015) da maior ingestão de água por bovinos taurinos do que para zebuinos criados em condições semelhantes. Fatores relacionados principalmente à homeostase térmica corporal podem ajudar a explicar a maior ingestão de água observada para raças taurinas. Hansen (2004) relatou um maior nível de aclimatação ao estresse calórico para zebuínos, o que provavelmente está relacionado aos distintos climas onde essas espécies se desenvolveram. Isso indica que durante as adaptações genéticas, raças zebuínas podem ter adquirido características termorregulatórias, reduzindo a dependência de mecanismos que envolvem a água para aliviar o estresse térmico, como menores taxas de metabolismo basal, além de características da pele (Hansen, 2004).

Consumo de matéria seca e composição da dieta

O consumo de matéria seca influencia a ingestão de água, assim como o consumo de água influencia o consumo de matéria seca. A redução do consumo de matéria seca é seguida por uma redução do consumo de água (Bond et al., 1976; Cardot et al., 2008; Kramer et al., 2009). Este comportamento pode ser explicado pela taxa de diluição do líquido ruminal (Adams et al., 1981; Adams e Kartchner, 1984) ou pelo incremento calórico causado pelo calor da fermentação e digestão (Finch, 1986).

O rúmen é um órgão de fermentação e digestão e tais funções dependem da entrada regular de alimentos e do movimento da digesta e dos microrganismos para restante do trato gastrointestinal. A digesta consiste em partículas insolúveis e frações solúveis. No entanto, a fração líquida passa para o omaso duas a quatro vezes mais rápido do que as partículas insolúveis (Russel e Hespell, 1981). Um aumento na taxa de diluição do líquido é geralmente seguido por um aumento no crescimento bacteriano e no fluxo de nutrientes através do trato gastrointestinal.

No entanto, a atividade metabólica microbiana dissipa energia livre como calor durante a fermentação no trato digestivo, principalmente no rúmen (Czerkaski, 1980; Russel e Hespell, 1981). Bergen e Yokoyama (1977) relataram que a perda de calor durante o processo de fermentação varia de 3,0 a 12,0% da energia bruta da dieta em ruminantes, contra aproximadamente 1,0% para não ruminantes. A relação entre o controle térmico do corpo e a ingestão de água é atribuída à redução temporária da temperatura ruminal imediatamente após a ingestão de água (Blackshaw e Blackshaw, 1994; Bewley et al., 2008).

Bovinos com alimentação *ad libitum* bebem mais água do que animais manejados com restrições, isolados os efeitos de parâmetros climáticos (Ahlberg et al., 2018). Assim, quando os novilhos tiveram acesso à água restrita em 80 e 60%, o CMS diminuiu 5 e 23%, respectivamente (Utley et al., 1970). No entanto, essa relação não é consistente e é influenciada por diversos fatores, como a temperatura ambiente, que sendo maior pode reduzir o CMS e aumentar o consumo de água (Kreikemeier e Mader, 2004; NASEM, 2016).

Ainda, a composição da dieta pode influenciar o consumo de água. A ingestão de água está positivamente relacionada à concentração de sódio (Murphy et al., 1983), potássio (Fraley et al., 2015) e matéria mineral da dieta (Appuhamy et al., 2014). Maiores concentrações desses minerais podem estar correlacionadas ao aumento da pressão osmótica no rúmen pelo sal da dieta (Rogers et al., 1979). Da mesma forma, foi relatado que a concentração de sais totais dissolvidos na água aumenta a ingestão de água pelo gado (Alves et al., 2017).

Peso corporal e estado fisiológico

O peso corporal está relacionado ao consumo de água devido à relação entre o peso corporal e o consumo de matéria seca. Dessa forma, um animal maior consome mais alimentos e uma maior ingestão de matéria seca induz a um maior consumo de água, conforme discutido anteriormente.

Além disso, o metabolismo basal é quase proporcional ao peso corporal do animal (Kleiber, 1932), e o metabolismo basal gera aproximadamente 33% do calor gerado por um animal (Finch, 1986). Consequentemente, um animal maior gera mais calor a partir do metabolismo basal do que um animal menor. Além disso, para uma mesma maturidade fisiológica, um animal maior tem mais gordura no corpo que um animal menor. A gordura corporal atua como isolante e torna mais difícil para um animal mais gordo dissipar o calor (Finch, 1986; Gaughan et al., 2010).

Além disso, a vasodilatação periférica ajuda a dissipar o calor da região central do corpo. No entanto, a vasodilatação torna-se mais difícil em animais com maiores pesos corporais (Finch, 1986; Silanikove, 2000). Finalmente, o suor é um caminho importante para a perda de calor em bovinos (Ferguson e Dowling, 1955), e a taxa de perda de calor por meio do suor depende da área de superfície da pele para a evaporação da água (Hansen, 2004). Como a relação entre a área de superfície e o peso corporal diminui à medida que o animal cresce, animais maiores têm mais dificuldade de dissipar o calor corporal por esse mecanismo.

Variáveis climáticas

Como citado anteriormente, a água assume papel crucial para a homeostase térmica corporal. Assim, a ingestão de água é fortemente associada às variáveis climáticas como temperatura ambiente, umidade relativa do ar e todos os parâmetros a ela associados. Inicialmente, além da redução temporária da temperatura ruminal imediatamente após o consumo de água já citado, atribui-se tal importância ao efeito direto do resfriamento evaporativo na redução de uma carga térmica (Bernabucci et al., 2010; Arias e Mader, 2011). Assim, após o consumo de água, há reduções no estresse calórico geral, na taxa de respiração e nas temperaturas da pele e retais (Purwanto et al., 1996).

Berman (2003) relatou que a troca de calor entre o ambiente e o animal é o principal componente para a regulação da temperatura corporal. Arias e Mader (2011) também relataram a temperatura máxima como um fator primário que influencia o consumo de água. Essas variáveis têm forte interação com outras variáveis ambientais, como as temperaturas média e mínima diárias (Bernabucci et al., 2010). Em relação à temperatura, os mecanismos não evaporativos de perda de calor diminuem com o aumento da temperatura ambiente e o animal é dependente dos mecanismos evaporativos (Silanikove, 2000).

A umidade relativa do ar foi relatada como o principal contribuinte para o estresse por calor em climas quentes (Blackshaw e Blackshaw, 1994). Em uma elevada umidade relativa, o vapor de água fica preso no espaço aéreo entre o pelo e a pele e reduz a evaporação da água, onde a difusão da água depende de um gradiente de pressão da água (Allen et al., 1970; Renaudeau et al., 2012). Em conseqüência, ao isolar o efeito da umidade relativa do ar de outros fatores, em condições de alta umidade, a perda de água por evaporação é reduzida e, portanto, o consumo de água também é reduzido.

PREDIÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA EM CONDIÇÕES TROPICAIS

Várias equações/recomendações de predição de consumo de água (CA, L/d) são relatadas na literatura, e estão sumarizadas na Tabela 14.1. O NRC (2000) recomenda a equação proposta por Hicks et al. (1988), em função da temperatura máxima, do CMS, da precipitação pluviométrica e da inclusão de sal na dieta. Além da equação proposta por Hicks

et al. (1988), duas outras equações são relatadas pelo NASEM (2016) propostas por Arias e Mader (2011). Tais equações têm como variáveis preditoras o CMS, a radiação solar, a temperatura mínima diária e o índice de temperatura e umidade (ITU). O ITU é calculado por meio da equação ITU = [0,8 x T + (UR/100) × (T – 14,4) + 46,4] (Thom, 1959) que utiliza a umidade relativa do ar (UR, %) e a temperatura média diária (T, ºC). Para climas moderados, Meyer et al. (2006) propuseram a predição em função da temperatura média diária, do CMS, da inclusão de volumoso da dieta e respectivo teor de matéria seca e do peso corporal. O CSIRO (2007) recomenda a predição do consumo de água de acordo com o consumo de matéria seca e a temperatura média diária, baseada no trabalho de Winchester e Morris (1956).

Tabela 14.1 - Sumário das equações consultadas na literatura para predição do consumo de água por bovinos de corte

Autores	Equação[1]
Hicks et al. (1988)	$CA_{HICKS} = -6{,}0716 + 0{,}70866 \times T_{MAX} + 2{,}432 \times CMS - 3{,}87 \times PP - 4{,}437 \times IS$
Meyer et al. (2006)	$CA_{MEYER} = -3{,}85 + 0{,}507 \times T + 1{,}494 \times CMS - 0{,}141 \times IV + 0{,}248 \times MSV + 0{,}014 \times PC$
CSIRO (2007)	CA = 3,0 × CMS, para T < 15ºC CA = 3,5 × CMS, para T = 20ºC CA = 4,5 × CMS, para T = 25ºC CA = 6,0 × CMS, para T = 30ºC CA = 8,0 × CMS, para T > 35ºC
Arias e Mader (2011)	$CA_{AM1} = 5{,}92 + 1{,}03 \times CMS + 0{,}04 \times RS + 0{,}45 \times T_{MIN}$ $CA_{AM2} = -7{,}31 + 1{,}00 \times CMS + 0{,}04 \times RS + 0{,}30 \times ITU$
Sexson et al. (2012)	$CA_{SEXSON} = -14{,}07 + 0{,}163 \times UR - 0{,}0017 \times UR^2 + 0{,}0096 \times T_{MAX}^2 - 0{,}00032 \times UR_{MAX}^2 + 1{,}01 \times T_{MIN} - 0{,}026 \times T_{MIN}^2 + 0{,}038 \times UR_{MIN} + 0{,}396 \times PA - 0{,}055 \times VV - 1{,}395 \times PC - 0.249 \times PA_{MAX} - 0{,}411 \times PA_{MIN} + 0{,}0012 \times T_{MAX_ANT}^2 + 8{,}79 \times PCM$
Ahlberg et al. (2018)	$CA_{AHLBERG_ADLIBITUM} = 0{,}71 + 2{,}63 \times CMS - 0{,}009 \times PCM + 0{,}76 \times T - 0{,}06 \times UR + 0{,}23 \times RS - 0.11 \times VV$ $CA_{AHLBERG_VERÃO} = -9{,}74 + 2{,}32 \times CMS + 0{,}11 \times PCM + 1{,}31 \times T - 0{,}17 \times UR - 0{,}03 \times RS - 0{,}27 \times VV$
BR-CORTE (2023)	$\mathbf{CA_{BR\text{-}CORTE} = 9{,}449 + 0{,}190 \times PCM + 0{,}271 \times T_{MAX} - 0{,}259 \times UR + 0{,}489 \times CMS}$

1: Equação de Hicks et al. (1988) adaptada, com valores convertidos de ºF para ºC. T_{MAX} = temperatura máxima (ºC); CMS = consumo de matéria seca (kg); PP = precipitação pluviomética (cm); IS = inclusão de sal na dieta (%); T = temperatura média diária (ºC); IV = inclusão de volumoso na dieta (%); MSV = teor de matéria seca do volumoso (%); PC = peso corporal (kg); RS = radiação solar (W/m²); T_{MIN} = temperatura mínima (ºC); ITU = indice de temperatura e umidade, onde ; UR = umidade relativa do ar (%); UR_{MAX} = umidade relativa do ar máxima (%); UR_{MIN} = umidade relativa do ar mínima (%); PA = pressão atmosférica (mmHg); VV = velocidade do vento (m/s); PA_{MAX} = pressão atmosférica máxima (mmHg); PA_{MIN} = pressão atmosférica mínima (mmHg); T_{MAX_ANT} = temperatura máxima do dia anterior (ºC); PCM = peso corporal metabólico ($kg^{0,75}$).

Sexson et al. (2012) propuseram uma equação baseada nas umidades relativas média, máxima e mínima, T_{MAX} e T_{MIN}, na T_{MAX} do dia anterior, nas pressões atmosféricas média, máxima e mínima, na velocidade do vento, no peso corporal e no PC metabólico. Ainda, Ahlberg et al. (2018) propuseram cinco equações para predição do consumo de água com base na estação do ano (inverno e verão) e nível de alimentação. Ambas as equações têm como parâmetros o CMS, o PCM, a T, a UR, a VV e a RS.

As equações descritas anteriormente foram avaliadas por Zanetti et al. (2019), utilizando um banco de dados composto por dados coletados em 4 experimentos, ambos com bovinos Nelore, confinados, em condições tropicais (1: Prados et al., 2017; 2: Zanetti et al., 2017; 3: dados não publicados; e 4: Menezes et al., 2019; Tabela 14.2). O consumo de água nesses experimentos foi mensurado a partir de bebedouros providos de balança para mensuração da ingestão e identificação individual de cada acesso ao bebedouro (Modelo WD-1000 Master, Intergado Ltda., Contagem, MG, Brasil). Nenhuma das equações conseguiu predizer acuradamente o consumo de água dos bovinos nestas condições. A baixa acurácia das

equações foi justificada pela predominância de animais taurinos no banco de dados utilizado para construir os modelos e pela maior parte dos ensaios terem sido conduzidos em clima temperado, com características de temperatura, umidade e pluviosidade distintas das encontradas no Brasil.

Assim, Zanetti et al. (2019) propuseram uma equação para estimar o consumo de água de bovinos de corte em condições tropicais, onde as variáveis climáticas e as raças predominantes na bovinocultura de corte são distintas das descritas até então na literatura. Além dos quatro experimentos citados anteriormente, um quinto experimento foi adicionado ao banco de dados para validação da equação proposta (Pacheco, 2018). As informações dos cinco experimentos são apresentadas na Tabela 14.2.

Tabela 14.2 - Informações dos experimentos utilizados por Zanetti et al. (2019) para predição do consumo de água por bovinos de corte

Experimento	n	Classe sexual	Peso corporal inicial (kg)	Número de observações
Prados et al. (2017)	32	Machos, não castrados	274 ± 34	984
Zanetti et al. (2017)	42	Machos, não castrados	270 ± 36	762
Menezes et al. (2019)	42	Machos, não castrados	260 ± 8	3967
Dados não publicados[1]	16	Novilhas	377 ± 49	323
Pacheco (2018)	42	Machos, não castrados	299 ± 32	3605

[1] Dados coletados entre fevereiro e abril de 2015. Dietas baseadas em cana-de-açúcar ou capim-elefante, com ou sem 400 g / kg MS de concentrado.

Dentre todas as variáveis medidas nos experimentos para validação das equações, aquelas relacionadas ao peso corporal, ao consumo de matéria seca, à temperatura e à umidade apresentaram maior correlação com o consumo de água. Sendo que o peso corporal metabólico, a temperatura máxima, a umidade relativa do ar e o consumo diário de matéria seca foram incluídos como variáveis preditoras do consumo de água. O resumo desses parâmetros para cada experimento é apresentado na Tabela 14.3.

Validação

Para recomendação da equação proposta por Zanetti et al. (2019) para predizer a ingestão de água por bovinos de corte em condições tropicais, realizou-se uma validação com banco de dados independente, utilizando dados coletados em cinco outros experimentos, totalizando 14.774 mensurações diárias (Tabela 14.4). Foram coletados dados de consumo de água e de matéria seca, do peso corporal, da temperatura máxima diária e da umidade relativa do ar dos cinco experimentos. Tais dados são descritos na Tabela 14.5.

Os consumos de água estimados pela equação proposta por Zanetti et al. (2019) foram comparados com os valores de consumo de água mensurados nos experimentos, utilizando o seguinte modelo de regressão: $Y = \beta0 + \beta1 \times X$, onde Y é o valor observado; β0 e β1 são o intercepto e a inclinação da regressão, respectivamente; e X é o valor predito. A regressão foi avaliada por meio do teste de duas hipóteses:sendo H0: $\beta0 = 0$ e H0: $\beta1 = 1$ e Ha: não H0. Se ambas as hipóteses nulas não forem rejeitadas, conclui-se que a equação testada estima com precisão o consumo de água. Além disso, o quadrado médio do erro de predição (MSEP; Bibby e Toutenburg, 1977) também foi calculado para avaliar a precisão da equação. Essas análises foram realizadas por meio do MES (Model Evaluation System Software, versão 3.1.13; Tedeschi, 2006).

Tabela 14.3 - Estatística descritiva dos consumos de água e matéria seca, peso corporal, temperatura máxima e umidade relativa dos experimentos utilizados por Zanetti et al. (2019)

Parâmetro	Experimento[1]	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
Consumo de água, L/dia	Prados et al. (2017)	17,0	7,86	55,6	2,0
	Zanetti et al. (2017)	17,2	5,94	39,7	0,6
	Menezes et al. (2019)	12,4	7,28	47,9	2,0
	Dados não publicados	16,7	6,14	45,0	3,0
	Pacheco (2018)	17,9	6,31	43,7	0,8
Consumo de matéria seca, kg/dia	Prados et al. (2017)	7,5	1,67	16,3	1,5
	Zanetti et al. (2017)	7,0	1,68	17,6	1,8
	Menezes et al. (2019)	6,5	2,45	14,5	2,0
	Dados não publicados	7,6	1,02	10,0	5,0
	Pacheco (2018)	7,5	1,35	10,9	3,8
Peso corporal metabólico, $kg^{0,75}$	Prados et al. (2017)	80,9	9,25	106,3	56,1
	Zanetti et al. (2017)	83,5	11,90	111,3	55,2
	Menezes et al. (2019)	76,1	5,46	90,0	66,9
	Dados não publicados	89,9	8,69	113,5	46,6
	Pacheco (2018)	82,3	8,50	106,9	56,5
Temperatura máxima, °C	Prados et al. (2017)	27,0	3,74	35,9	17,5
	Zanetti et al. (2017)	26,0	3,37	34,6	17,6
	Menezes et al. (2019)	26,6	2,68	31,3	19,4
	Dados não publicados	21,2	2,51	26,9	16,2
	Pacheco (2018)	27,3	3,33	34,2	19,6
Umidade relativa do ar, %	Prados et al. (2017)	70,4	10,12	95,0	48,3
	Zanetti et al. (2017)	76,5	8,36	95,3	36,8
	Menezes et al. (2019)	82,8	4,79	94,4	73,1
	Dados não publicados	74,0	8,07	92,2	53,4
	Pacheco (2018)	68,8	7,74	88,0	43,4

Tabela 14.4 - Informações dos experimentos utilizados para validação da equação proposta por Zanetti et al. (2019) para predição do consumo de água

Experimento[1]	n	Classe sexual	Peso corporal inicial (kg)	Número de observações
Andrade (2021)	38	Machos, não castrados	261 ± 27	5097
Meneses (2021)	6	Novilhas	310 ± 30	343
Alhadas et al. (2021)	35	Machos, não castrados	267 ± 30	3700
Godoi (2022)	12	Novilhas	217 ± 26	549
Pacheco (dados não publicados)	42	Machos, não castrados	273 ± 29	5085

Tabela 14.5 - Estatística descritiva dos consumos de água e matéria seca, peso corporal, temperatura máxima e umidade relativa dos experimentos utilizados neste capítulo para validação da equação proposta por Zanetti et al. (2019)

Parâmetro	Experimento[1]	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
Consumo de água, L/dia	Andrade (2021)	16,2	6,8	49,9	2,0
	Meneses (2021)	14,7	5,8	33,0	2,0
	Alhadas et al. (2021)	13,8	6,5	49,5	2,1
	Godoi (dados não publicados)	10,1	3,5	22,1	2,4
	Pacheco (dados não publicados)	17,3	6,9	48,3	2,2
Consumo de matéria seca, kg/d	Andrade (2021)	6,4	1,5	15,7	0,6
	Meneses (2021)	6,5	1,5	11,5	2,8
	Alhadas et al. (2021)	6,4	1,7	15,1	0,6
	Godoi (dados não publicados)	5,4	1,0	8,4	2,4
	Pacheco (dados não publicados)	7,2	1,7	14,8	0,3
Peso corporal metabólico, $kg^{0,75}$	Andrade (2021)	85,4	10,8	119,4	55,2
	Meneses (2021)	81,5	7,2	94,9	69,2
	Alhadas et al. (2021)	83,9	11,5	118,9	54,1
	Godoi (dados não publicados)	67,1	7,1	85,4	46,1
	Pacheco (dados não publicados)	84,0	10,7	114,2	56,5
Temperatura máxima, ºC	Andrade (2021)	27,5	3,9	36,6	16,2
	Meneses (2021)	29,8	4,8	34,3	22,1
	Alhadas et al. (2021)	26,1	3,1	33,0	18,4
	Godoi (dados não publicados)	24,9	2,2	29,5	18,4
	Pacheco (dados não publicados)	27,2	3,4	19,6	35,1
Umidade relativa do ar, %	Andrade (2021)	76,5	8,5	95,1	53,6
	Meneses (2021)	74,8	4,8	34,3	59,2
	Alhadas et al. (2021)	80,8	7,0	95,3	65,9
	Godoi (dados não publicados)	79,8	6,5	95,2	66,0
	Pacheco (dados não publicados)	71,5	8,8	94,8	42,5

A equação proposta estimou com precisão o consumo de água ($P \geq 0,05$; Tabela 14.6 e Figura 14.1). A regressão dos valores de consumo de água preditos pela equação avaliada em função dos valores observados apresentou intercepto igual a -0,3109 e inclinação igual a 1,005. Esses valores foram estatísticamente iguais a 0 e a 1 ($P = 0,066$ e $P = 0,617$, respectivamente).

O consumo de água médio estimado foi de 16,3 L/d versus um consumo de água observado de 16,1 L/d. Quanto à amplitude dos valores preditos e observados, foram estimados o consumo de água mínimo de 2,3 L/d e máximo de 32,3 L/d, enquanto os valores mínimo e máximo observados foram iguais a 2,0 e 49,9 L/d, respectivamente. O coeficiente de correlação de concordância foi igual a 0,574, e a correção do viés foi igual a 0,903. Em relação ao erro quadrático médio da predição, 99,8% foram envolvidos com o erro aleatório, mostrando a precisão da predição.

Os coeficientes positivos associados ao peso corporal metabólico, à temperatura ambiental máxima e ao consumo de matéria seca indicam que quanto maiores forem o tamanho do animal, a temperatura máxima e o consumo de matéria seca, maior será o consumo de água. Entretanto, percebe-se que maiores umidades relativas do ar reduzem a ingestão de água pelos animais, dado seu coeficiente negativo.

Tabela 14.6 - Parâmetros de regressão e acurácia entre as estimativas de consumo de água da equação avaliada e valores observados de consumo de água para bovinos Nelore em condições tropicais

Item	**Observado**	**Estimado**
Média, L/dia	16,1	16,3
Desvio padrão	6,6	4,2
Mínimo, L/dia	2,0	2,3
Máximo, L/dia	49,9	32,3
Parâmetros da regressão		
Intercepto	-	-0,3109
P-valor	-	0,066
Inclinação	-	1,0050
P-valor	-	0,617
CCC[1]	-	0,574
Cb[2]	-	0,903
Quadrado médio do erro de predição		
Vício médio	-	0,0525 (0,201%)
Vício sistemático	-	0,0004 (0,002%)
Erro aleatório	-	26,054 (99,797%)

[1] CCC = Coeficiente de correlação de concordância; varia -1 a 1, que representam, respectivamente, discordância e concordância perfeitas entre Y e X.
[2] Cb = Correção de viés; varia de 0 a 1; 1 indica sem desvio de Y = X.

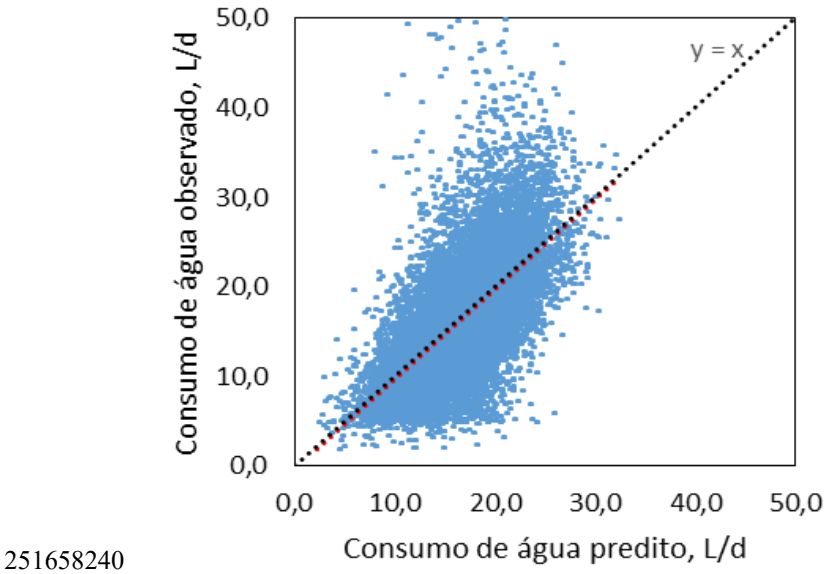


Figura 14.1 - Consumos de água preditos (eixo x) e observados (eixo y). Valores preditos através da equação **CA = 9,449 + 0,190 × PCM + 0,271 × T_{MAX} – 0,259 × UR + 0,489 × CMS** (Zanetti et al., 2019), onde CA é o consumo diário de água (kg/dia), PCM é o peso corporal metabólico ($kg^{0,75}$), T_{MAX} é a temperatura máxima (ºC) e UR é a umidade relativa do ar (%).

A relação das variáveis selecionadas como preditoras na equação com o consumo de água estão bem descritas na literatura. Esses quatro parâmetros se associam à homeostase animal e ao controle da temperatura corporal. Além disso, todas as equações publicadas anteriormente incluíram temperatura, ou parâmetros derivados da temperatura, como um componente parcial da equação. Ainda, a relação temperatura ambiental e consumo de água é baseada na função da água para a homeostase da temperatura corporal (Cunningham et al., 1964; Purwanto et al., 1996; Bewley et al., 2008). Temperaturas elevadas dificultam as perdas de calor corporal, assim como elevadas saturações de vapor de água no ambiente tornam mais difíceis os processos evaporativos de perda de calor (Berman, 2003).

OUTRAS CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DO CONSUMO DE ÁGUA

Umidade dos alimentos: Os teores de umidade dos alimentos fornecidos aos animais podem influenciar o consumo de água diretamente nos bebedouros, visto que grande parte dos volumosos, como silagens e pastagens, e subprodutos utilizados na alimentação de bovinos de corte têm elevado teor de água. Frisa-se, entretanto, que para o desenvolvimento da equação recomendada para predição do consumo de água por bovinos de corte neste capítulo, proposta por Zanetti et al. (2019), foram coletados dados de experimentos nos quais os teores de matéria seca das dietas oscilaram entre 25,17 (Dados não publicados, dieta composta por capim elefante e ureia) e 65,5% (Prados et al., 2017), e que a proporção de volumoso ou o teor de água do volumoso não foram incluídos entre as variáveis preditoras do modelo.

Relação direta entre consumo de água e CMS: Apesar da grande relação entre fatores climáticos e o consumo de água, em situações práticas, as oscilações de temperatura e umidade entre os dias podem dificultar o planejamento do fornecimento de água aos animais. Todas as equações para predição do consumo de água publicadas anteriormente usam o consumo de matéria seca ou o peso corporal como uma variável preditora. Como citado anteriormente, o consumo de alimentos está intimamente ligado ao peso corporal, e ambos ao consumo de água. Maiores consumos de matéria seca estão relacionados à maior necessidade de diluição do líquido ruminal e ao incremento calórico causado pela fermentação ruminal (Adams e Kartchner, 1984; Finch, 1986). Assim, adicionalmente, foi estabelecida a relação isolada entre o consumo de água e o CMS. Isoladamente, a partir do banco de dados deste capítulo, a relação média entre consumo de água e CMS é de 2,5, ou seja, para cada quilograma de matéria seca ingerida, espera-se que bovinos de corte em condições tropicais tenham a ingestão de 2,5 litros de água.

Relação individual entre consumo de água e peso corporal: Maiores pesos corporais estão associados à maior produção de calor corporal e menor área para dissipação do calor (Hansen, 2004), logo animais mais pesados ingerem mais água. Similarmente ao CMS, a partir do banco de dados deste capítulo estabeleceu-se a relação entre consumo de água e o peso corporal, isolado dos demais fatores. Observa-se que há ingestão diária de 43,5 mL de água para cada quilograma de peso corporal, ou seja, um bovino ingere diariamente 4,35% do peso corporal em água.

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

- Estimativa do consumo de água para um bovino, macho, não castrado, com peso corporal médio de 520 kg, em confinamento em Campo Grande/MS no mês de janeiro (médias históricas de temperatura máxima igual a 29,0 ºC e umidade relativa do ar igual a 79,0%).

  - Cálculo do consumo de matéria seca (conforme capítulo 02, considerando ganho médio diário igual a 1,4 kg/dia): 10,62 kg/dia
  - Peso corporal metabólico: $520^{0,75} = 108,9$
  - $C_{ÁGUA} = 9,449 + 0,190 \times PCM + 0,271 \times T_{MAX} – 0,259 \times UR + 0,489 \times CMS$
  - $C_{ÁGUA} = 9,449 + 0,190 \times 108,89 + 0,271 \times 29,0 – 0,259 \times 79,0 + 0,489 \times 10,62$
  - $C_{ÁGUA} = 9,449 + 20,69 + 7,86 – 20,46 + 5,19$
  - **$C_{ÁGUA}$ = 22,73 L/dia**

- Estimativa do consumo de água para um bovino, macho, não castrado, com peso corporal médio de 520 kg, em confinamento em Campo Grande/MS no mês de junho (médias históricas de temperatura máxima igual a 25,7 ºC e umidade relativa do ar igual a 65,0%).

  - Peso corporal metabólico: $520^{0,75} = 108,89$
  - $C_{ÁGUA} = 9,449 + 0,190 \times PCM + 0,271 \times T_{MAX} – 0,259 \times UR + 0,489 \times CMS$
  - $C_{ÁGUA} = 9,449 + 0,190 \times 108,89 + 0,271 \times 25,7 – 0,259 \times 65,0 + 0,489 \times 10,62$
  - $C_{ÁGUA} = 9,449 + 20,69 + 6,96 – 16,84 + 5,19$
  - **$C_{ÁGUA}$ = 25,46 L/dia**

REFERÊNCIAS

Adams, D. C., and R. J. Kartchner. 1984. Effect of level of forage intake on rumen ammonia, pH, liquid volume and liquid dilution rate in beef cattle. *J. Anim. Sci*. 58: 708-713. doi:10.2134/jas1984.583708x

Adams, D. C., M. L. Galyean, H. E. Kiesling, J. D. Wallace, and M. D. Finkner. 1981. Influence of viable yeast culture, sodium bicarbonate and monensin on liquid dilution rate, rumen fermentation and feedlot performance of growing steers and digestibility in lambs. *J. Anim. Sci.* 53: 780-789. doi:10.2134/jas1981.533780x

Agência Nacional de Águas (Brasil). *Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil / Agência Nacional de Águas*. - Brasília: ANA, 2019. 75 p

Ahlberg, C.M., K. Allwardt, A. Broocks, K. Bruno, L. McPhillips, A. Taylor, C.R. Krehbiel, M. S. Calvo-Lorenzo, C. J. Richards, S.E. Place, U. DeSilva, D. L. VanOverbeke, R. G. Mateescu, L. A. Kuehn, R. L. Weaber, J. M. Bormann, and M. M. Rolf. 2018. doi: 10.1093/jas/sky267

Alhadas, H.M., Valadares Filho, S.C., Tedeschi, L.O., Vilela, R.S., Souza, G.A., Lage, B.C., Silva, B.C., Rennó, L.N. and Paulino, M.F., 2021. Impact of different levels of low-fat dried distillers grains on performance of young Nellore bulls during the finishing phase. *Animal Science Journal*, 92(1), p.e13623.

Allen, T. E., J. W. Bennettf, Susan M. Donegan, and J. C. D. Hutchinson. 1970. Moisture, its accumulation and site of evaporation in the coats of sweating cattle. *J. Agric. Sci*. 74: 247-258. doi: 10.1017/S0021859600022863

Alves, J. N., G. G. L. Araujo, S. G. Neto, T. V. Voltolini, R. D. Santos, P. R. Rosa, L. Guan, T. McAllister, and A. L. A. Neves. 2017.

Effect of increasing concentrations of total dissolved salts in drinking water on digestion, performance and water balance in heifers. *J. Agric. Sci.* 155: 847-856. doi: 10.1017/S0021859617000120

Andrade, D.R. *Desempenho e exigências nutricionais de bovinos alimentados com dietas contendo diferentes blends vitamínicos.* Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2021.

Appuhamy, J. A. D. R. N., C. Wagner-Riddle, D. P. Casper, J. France, and E. Kebreab. 2014. Quantifying body water kinetics and fecal and urinary water output from lactating Holstein dairy cows. *J. Dairy. Sci.* 97: 6177-6195. doi:10.3168/jds.2013-7755

Araujo, G. G. L. D., T. V. Voltolini, M. L. Chizzotti, S. H. N. Turco, and, F. F. R. D. Carvalho. 2010. Water and small ruminant production. Braz. *J. Anim. Sci.* 39: 326-336. doi: 10.1590/S1516-35982010001300036

Arias, R. A., and T. L. Mader. 2011. Environmental factors affecting daily water intake on cattle finished in feedlots. *J. Anim. Sci*. 89: 245-251. doi:10.2527/jas.2010-3014

Beckett, J. L., and J. W Oltjen. 1993. Estimation of the water requirement for beef production in the United States. *J. Anim. Sci.* 71: 818-826. doi:/1993.714818x

Bergen, W. G., and M. T. Yokoyama. 1977. Productive limits to rumen fermentation. *J. Anim. Sci.* 45: 573-584. doi:10.2134/jas1977.453573x

Berman, A. 2003. Effects of body surface area estimates on predicted energy requirements and heat stress. *J. Dairy. Sci.* 86: 3605-3610. doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73966-6.

Bernabucci, U., N. Lacetera, L. H. Baumgard, R. P. Rhoads, B. Ronchi, and A. Nardone. 2010. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal* 4: 1167-1183. doi: 10.1017/S175173111000090X

Bewley, J. M., M. W. Grott, M. E. Einstein, and M. M. Schutz. 2008. Impact of intake water temperatures on reticular temperatures of lactating dairy cows. *J. Dairy. Sci.* 91: 3880-3887. doi:10.3168/jds.2008-1159

Bibby, J., and H. Toutenburg. 1977. *Prediction and improved estimation in linear models*. Wiley, Berlin, Germany.

Bica GS, Pinheiro Machado Filho LC and Teixeira DL (2021) Beef Cattle on Pasture Have Better Performance When Supplied With Water Trough Than Pond. *Front. Vet. Sci.* 8:616904. doi: 10.3389/fvets.2021.616904

Blackshaw, J. K., and A. W. Blackshaw. 1994. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. *Anim. Prod. Sci.* 34: 285-295. doi:10.1071/EA9940285

Bond, J., T. S. Rumsey, and B. T. Weinland. 1976. Effect of deprivation and reintroduction of feed and water on the feed and water intake behavior of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 43: 873-878. doi:10.2134/jas1976.434873x

Branco, A.F. Manual de instalações para confinamento de bovinos. *Maringá: IEPEC* (2015).

Brew, M. N., R. O. Myer, M. J. Hersom, J. N. Carter, M. A. Elzo, G. R. Hansen, and D. G. Riley. 2011. Water intake and factors affecting water intake of growing beef cattle. *Livest. Sci.* 140: 297-300. doi:10.1016/j.livsci.2011.03.030

Cardot, V., Y. Le Roux, and S. Jurjanz. 2008. Drinking behavior of lactating dairy cows and prediction of their water intake. *J. Dairy. Sci.* 91: 2257-2264. doi:10.3168/jds.2007-0204

Coimbra, P. A. D., Machado Filho, L. C. P., & Hötzel, M. J. (2012). Effects of social dominance, water trough location and shade availability on drinking behaviour of cows on pasture. *Applied Animal Behaviour Science*, *139*(3-4), 175-182.

CSIRO. 2007. *Nutrient requirements of domesticated ruminants.* Camberra, AU: CSIRO Publishing.

Cunningham, M. D., F. A. Martz, and C. P. Merilan. 1964. Effect of drinking-water temperature upon ruminant digestion, intraruminal temperature, and water consumption of non-lactating dairy cows. *J. Dairy. Sci.* 47: 382-385. doi:10.3168/jds.S0022-0302(64)88671-9

Czerkawski, J. W. 1980. A novel estimate of the magnitude of heat produced in the rumen. British *J. Nutr.* 43: 239-243. doi: 10.1079/BJN19800083

Ferguson, K. A., and D. F. Dowling. 1955. The function of cattle sweat glands. *Crop Pasture Sci.* 6: 640-644. doi:10.1071/AR9550640

Finch, V. A. 1986. Body temperature in beef cattle: its control and relevance to production in the tropics. *J. Anim. Sci.* 62: 531-542. doi:10.2134/jas1986.622531x

Fraley, S. E., M. B. Hall, and T. D. Nennich. 2015. Effect of variable water intake as mediated by dietary potassium carbonate supplementation on rumen dynamics in lactating dairy cows. *J. Dairy. Sci.* 98: 3247-3256. doi:10.3168/jds.2014-8557

Gaughan, J. B., T. L. Mader, S. M. Holt, M. L. Sullivan, and G. L. Hahn. 2010. Assessing the heat tolerance of 17 beef cattle genotypes. Int. *J. Biometeorol.* 54: 617-627. doi: 10.1007/s00484-009-0233-4

Godoi, L. A.; Silva, B. C.; Souza, G. A. P.; Lage, B. C.; Zanetti, D.; Costa e Silva, L. F.; Rennó, L. N.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C.. Influence of crude protein content and flint maize processing methods on the performance of early-weaning Nellore calves. *J. Agricultural Sci*., 160: 1-10, 2022.

Hansen, P. J. 2004. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Anim. Reprod. Sci.* 82: 349-360. doi:10.1016/j.anireprosci.2004.04.011

Hicks, R. B., F. N. Owens, D. R. Gill, J. J. Martin, and C. A. Strasia. 1988. *Water intake by feedlot steers. Miscellaneous publication - Agricultural Experiment Station*, Oklahoma State University (USA).

Ittner, N. R., C. F. Kelly, and H. R. Guilbert.1951. Water consumption of Hereford and Brahman cattle and the effect of cooled drinking water in a hot climate. *J. Anim. Sci.* 10: 742-751. doi:10.2134/jas1951.103742x

Kleiber, M. 1932. *Body size and metabolism*. Hilgardia 6: 315-332.

Kramer, E., E. Stamer, J. Spilke, G. Thaller, and J. Krieter. 2009. Analysis of water intake and dry matter intake using different lactation curve models. *J. Dairy. Sci.* 92: 4072-4081. doi:10.3168/jds.2008-1957

Kreikemeier, W. M., and T. L. Mader. 2004. Effects of growth-promoting agents and season on yearling feedlot heifer performance. *J. Anim. Sci* 82: 2481-2488. doi:10.2527/2004.8282481x

Mekonnen, M. M., and A. Y. Hoekstra. 2012. A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems* 15: 401-415. doi: 10.1007/s10021-011-9517-8

Meneses, J.A.M., de Sá, O.A.A.L., Coelho, C.F., Pereira, R.N., Batista, E.D., Ladeira, M.M., Casagrande, D.R. and Gionbelli, M.P., 2021. Effect of heat stress on ingestive, digestive, ruminal and physiological parameters of Nellore cattle feeding low-or high-energy diets. *Livest. Sci 252:* 104676. doi: 10.1016/j.livsci.2021.104676

Menezes, A. C. B., Valadares Filho, S.C., Pucetti, P., C. Pacheco, M. V, Godoi, L. A., Zanetti, D., Alhadas, H. M; Paulino, M. F, Caton, J. S. Oscillating and static dietary crude protein supply: II. Energy and protein requirements of young Nellore bulls. *Translational Animal Science,* v. 3, p. 1216-1226, 2019.

Meyer, U., W. Stahl, and G. Flachowsky. 2006. Investigations on the water intake of growing bulls. *Livest. Sci. 103*: 186-191. doi:10.1016/j.livsci.2006.02.009

Murphy, M. R., C. L. Davis, and G. C. McCoy. 1983. Factors affecting water consumption by Holstein cows in early lactation. *J. Dairy. Sci. 66*: 35-38. doi:10.3168/jds.S0022-0302(83)81750-0

NASEM 2016. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Nutrient requirements of beef cattle model*. 8th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.Pluske, J. M., and A. C. Schlink. 2007. Managing water as a scarce resource in beef feedlots. Australasian Agribusiness Review 15: 1-13.

NRC 2000. *Nutrient requirements of beef cattle*, 7th., National research council, National Academy Sciences, Washington, D.C, USA.

Pacheco Marcos Vinicius Carneiro. Efeito das ensilagem dos grãos de milho e sorgo reidratados sobre o desempenho e características de carcaça de bovinos nelore superprecoces. 2018. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa.

Palhares, J. C. P., Morelli, M., & Novelli, T. I. (2021). Water footprint of a tropical beef cattle production system: The impact of individual-animal and feed management. *Advances in Water Resources*, 149, 103853.

Pluske, J. M., and A. C. Schlink. 2007. Managing water as a scarce resource in beef feedlots. *Austr. Agribusiness Rev*. 15: 1–13.

Prados, L. F., D. F. T. Sathler, B. C. Silva, D. Zanetti, S. C. Valadares Filho, H. M. Alhadas, E. Detmann, S. A. Santos, L. D. S. Mariz, and M. L. Chizzotti. 2017. Reducing mineral usage in feedlot diets for Nellore cattle: II. Impacts of calcium, phosphorus, copper, manganese, and zinc contents on intake, performance, and liver and bone status. *J. Anim. Sci.* 95: 1-11. doi:10.2527/jas2016.1085

Purwanto, B. P., M. Harada, and S. Yamamoto. 1996. Effect of drinking-water temperature on heat balance and thermoregulatory responses in dairy heifers. *Crop Pasture Sci*. 47: 505-512. doi:10.1071/AR9960505

Renaudeau, D., A. Collin, S. Yahav, V. De Basilio, J. L. Gourdine, and R. J. Collier. 2012. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Anim. 6:* 707-728. doi: 10.1017/S1751731111002448

Rijsberman, F. R. 2006. *Water scarcity: fact or fiction? Agricultural Water Management 80*: 5-22. doi:10.1016/j.agwat.2005.07.001

Rogers, J. A., B. C. Marks, C. L. Davis, and J. H. Clark. 1979. Alteration of rumen fermentation in steers by increasing rumen fluid dilution rate with mineral salts. *J. Dairy. Sci.* 62: 1599-1605. doi:10.3168/jds.S0022-0302(79)83467-0

RSPCA (2020). *RSPCA Welfare Standards for Beef Cattle*. Available online at: http://www.rspca.org.uk/sciencegroup/farmanimals/standards (accessed March 30, 2020).

Russell, J. B., and R. B. Hespell. 1981. Microbial rumen fermentation. *J. Dairy. Sci*. 64: 1153-1169. doi:10.3168/jds.S0022-0302(81)82694-X

Santos, P.M., Corrêa, L.D., Balsalobre, M. Guia prático para a implantação de sistemas de pastejo rotacionados para gado de corte. *Embrapa Pecuária Sudeste-Documentos (INFOTECA-E).* 2005.

Sexson, J. L., J. J. Wagner, T. E. Engle, and J. Eickhoff. 2012. Predicting water intake by yearling feedlot steers. *J. Anim. Sci*. 90: 1920-1928. doi:10.2527/jas.2009-1899

Sheffield, R.E., S. Mostaghimi, D.H. Vaughan, E.R. Collins Jr., and V.G. Allen. 1997. Off-stream water sources for grazing cattle as a stream bank stabilization and water quality BMP. *Transactions of the ASAE 40*(3):595-604.

Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Prod. Sci*. 67: 1-18. doi:10.1016/S0301-6226(00)00162-7

Tavares, J. E.; Benedetti, E. Água: uso de bebedouros e sua influência na produção de bovinos em pasto. *FAZU em Revista,* Uberaba, n. 8, p. 152-157, 2011.

Tedeschi, L. O. 2006. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agric. Syst.* 89:225–247. doi:10.1016/j.agsy.2005.11.004

Thom, E. C. 1959. *The discomfort index. Weatherwise* 12:57–59

Tilman, D., K. G. Cassman, P. A. Matson, R. Naylor, and S. Polasky. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature 418:* 671-677. doi:10.1038/nature01014

Utley, P. R., N. W. Bradley, and J. A. Boling. 1970. Effect of Restricted Water Intake on Feed Intake, Nutrient Digestibility and Nitrogen Metabolism in Steers. *J. Anim. Sci 31*:130-135. doi: 10.2527/jas1970.311130x

Valente, E. E. L., M. L. Chizzotti, C. V. R. Oliveira, M. C. Galvão, S. S. Domingues, A. C. Rodrigues, and M. M. Ladeira. 2015. Intake, physiological parameters and behavior of Angus and Nellore bulls subjected to heat stress. *Semina: Ciências Agrárias 36*: 4565-4574. doi: 10.5433/1679-0359.2015v36n6Sup2p4565

Ward, F. A., and A. Michelsen. 2002. The economic value of water in agriculture: concepts and policy applications. *Water Policy 4:* 423-446. doi:10.1016/S1366-7017(02)00039-9

Willms WD, Kenzie O, Quinton D, et al. *The water source as a factor affecting livestock production.* In: Rode LM, editor. Animal science research and development: meeting future challenges. Proceedings, Canadian Society of Animal Science. Ottawa (Canada): Minister of Supply Services, Canada; 1996. p. 41–6.

Winchester, C. F., and M. J. Morris. 1956. Water intake rates of cattle. *J. Anim. Sci. 15*: 722-740. doi: 10.2527/jas1956.153722x

Wright, C.L. Management of Water Quality for Beef Cattle. 2007. *Vet Clin Food Anim 23* (2007) 91–103

Zanetti, D., Prados, L. F., Menezes, A. C. B., Silva, B. C., Pacheco, M. V., Silva, F. A., ... & Valadares Filho, S. C. (2019). Prediction of water intake to Bos indicus beef cattle raised under tropical conditions. *J. Anim. Sci.* 97(3), 1364-1374.

Zanetti, D., L. A. Godoi, M. M. Estrada, T. E. Engle, B. C. Silva, H. M. Alhadas, M. L. Chizzotti, L. F. Prados, L. N. Rennó, and S. C. Valadares Filho. 2017. Estimating mineral requirements of Nellore beef bulls fed with or without inorganic mineral supplementation and the influence on mineral balance. *J. Anim. Sci.* 95: 1-12. doi: 10.2527/jas.2016. 1190.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-192-0.2023.C015.p.361-388

15

Vitaminas para bovinos de corte

Sebastião de Campos Valadares Filho, Dhones Rodrigues de Andrade, Júlia Travassos da Silva, Flávia Adriane de Sales Silva, Luciana Navajas Rennó, Mario Fonseca Paulino

INTRODUÇÃO

As vitaminas são importantes catalisadores metabólicos utilizados em dietas de animais de produção (Ball, 2006). Classificadas como micronutrientes, as vitaminas são exigidas em quantidades muito pequenas nas dietas de bovinos de corte. No entanto, são fundamentais para atender as demandas relacionadas aos processos imune (saúde), de crescimento e reprodução (McDowell, 2000). Além disso, as vitaminas são necessárias para o metabolismo de outros nutrientes, como carboidratos e proteínas. Assim, as vitaminas devem estar presentes nas dietas em quantidades adequadas.

A suplementação vitamínica, comumente incorporada aos suplementos minerais, pode contribuir para um maior desempenho de bovinos de corte em sistemas intensivos de produção, onde as exigências metabólicas podem ser aumentadas. Além disso, as vitaminas ajudam a prevenir doenças e a manter a saúde dos animais (Spears e Weiss, 2014).

As vitaminas estão disponíveis principalmente nos tecidos vegetais, como provitaminas. Nos bovinos, ocorrem devido ao seu consumo ou produção por microrganismos do trato digestivo (Berchielli et al., 2006). As vitaminas são classificadas de acordo com sua solubilidade em lipídios e solventes orgânicos como lipossolúveis (A, D, E e K) ou em água como hidrossolúveis (ácido pantotênico, biotina, tiamina, niacina, riboflavina e cianocobalamina).

De acordo com Acedo et al. (2018), apenas 69 artigos foram publicados no *Journal of Animal Science* avaliando as vitaminas A, D e E para bovinos de corte nos últimos 83 anos. Esses artigos representaram apenas 0,16% do total de publicações dessa revista. Além disso, as recomendações disponíveis na literatura sobre nutrição vitamínica de bovinos de corte são, em sua maioria, de estudos desenvolvidos entre as décadas de 1960 e 1980. Considerando o melhoramento genético e as mudanças nas exigências de energia e proteína ao longo do tempo, pode ser necessário ajustar as recomendações atuais sobre suplementação vitamínica para bovinos de corte. Assim, ainda são necessários mais estudos sobre a suplementação vitamínica de bovinos de corte.

Estudos avaliando os efeitos da suplementação vitamínica sobre o desempenho produtivo de bovinos de corte em condições brasileiras são escassos. Nos últimos 27 anos no Brasil, apenas dois artigos foram publicados avaliando a suplementação vitamínica para bovinos leiteiros, nos quais foi testada a inclusão de vitaminas individuais (Acedo et al., 2018). Assim, devido à escassez de dados sobre suplementação vitamínica para ruminantes, o uso de referências de estudos com animais não ruminantes e humanos são, em alguns casos, inevitáveis. Portanto, objetivou-se com esse capítulo discutir os principais aspectos relacionados à suplementação de vitaminas hidrossolúveis e lipossolúveis para bovinos de corte. Posteriormente, são apresentados dois estudos avaliando os efeitos da suplementação vitamínica sobre o desempenho produtivo, fisiologia e metabolismo de bovinos confinados criados em condições brasileiras.

VITAMINAS HIDROSSOLÚVEIS

As vitaminas hidrossolúveis são encontradas principalmente nos tecidos vegetais. No entanto, a microbiota ruminal pode sintetizar e fornecer vitaminas hidrossolúveis para ruminantes. Além disso, as vitaminas hidrossolúveis geralmente não são armazenadas no corpo do animal em grandes quantidades e devem ser fornecidas diariamente. No entanto, as exigências de vitaminas hidrossolúveis não foram estabelecidas para bovinos de corte. O não estabelecimento dos níveis de suplementação pode ser atribuído principalmente ao fato de que quantidades adequadas de vitaminas hidrossolúveis são supridas pela síntese

bacteriana ruminal na maioria das situações alimentares (NASEM, 2016). Além disso, os ruminantes são capazes de produzir sua própria vitamina C (NASEM, 2016).

As vitaminas hidrossolúveis, especialmente tiamina (vitamina B_1), niacina (vitamina B_3) e biotina (vitamina B_7) desempenham papéis importantes como coenzimas no metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídios. Essas vitaminas promovem maior síntese proteica pelos microrganismos ruminais (vitamina B_3), são responsáveis pela carboxilação enzimática de cetoácidos no ciclo do ácido tricarboxílico (vitamina B_1) e desempenham papel relevante no metabolismo da glicose (vitamina B_7; NASEM, 2016). Além disso, a niacina atua na conversão hepática de amônia em uréia, bem como no metabolismo hepático de corpos cetônicos.

Em geral, as vitaminas do complexo B apresentam características funcionais semelhantes e atuam de forma sinérgica. A síntese de vitaminas do complexo B em ruminantes é influenciada pelo tipo de dieta; no entanto, modificações consideráveis na dieta podem ocorrer sem causar nenhum sinal de deficiência (NASEM, 2016). A deficiência de vitaminas do complexo B em ruminantes é geralmente limitada a animais jovens que ainda não completaram o desenvolvimento ruminal. A deficiência também pode ocorrer quando antagonistas de vitaminas estão presentes no rúmen ou quando a síntese ruminal é limitada pela ausência de precursores. Uma breve descrição das principais vitaminas hidrossolúveis para bovinos de corte será apresentada a seguir. Informações adicionais podem ser obtidas nos estudos listados na seção de referências no final deste capítulo.

Tiamina (Vitamina B_1)

A tiamina é amplamente distribuída em tecidos vegetais e animais. Nos tecidos animais, ocorre como pirofosfato de tiamina (Ball, 2004), que contém um anel pirimidina (2,5-dimetil-6-aminopirimidina) e um anel tiazol (4-metil-5-hidroxi etil tiazol) ligados por uma ponte metil (Aragón, 2018).

A deficiência de tiamina em ruminantes é rara. No entanto, a deficiência de vitamina B_1 pode causar fraqueza, cabeça retraída e arritmia cardíaca, assim como outras vitaminas hidrossolúveis. Assim, deficiências de vitaminas hidrossolúveis podem resultar em anorexia, diarreia e redução do crescimento animal (NASEM, 2016).

A tiamina desempenha um papel central no fornecimento de energia ao animal, principalmente no metabolismo de carboidratos (Rodwell et al., 2015). O pirofosfato de tiamina é a coenzima de três importantes complexos enzimáticos, que estão envolvidos nas principais etapas de descarboxilação no metabolismo de carboidratos: piruvato desidrogenase (glicólise), transcetolase (via das pentoses fosfato) e α-cetoglutarato desidrogenase (via do ciclo do ácido cítrico; Cunha et al., 2006). Portanto, o fornecimento incorreto de tiamina pode prejudicar o fornecimento de energia em todos os tecidos dos bovinos.

Embora os ruminantes geralmente sintetizem vitamina B_1 em quantidades adequadas (Miller et al., 1986), deficiência de tiamina em ovinos e bovinos relacionada à sua degradação aumentada pela tiaminase e diminuição da síntese microbiana de tiamina devido à ocorrência de acidose ruminal foi relatada na literatura (Brent, 1976; Pan et al., 2016). A produção de análogos de tiamina pela tiaminase (tiaminase I, principalmente) em bovinos alimentados com dietas a base de grãos pode induzir distúrbios do sistema nervoso central, como a polioencefalomalácia (PEM), que clinicamente é um amolecimento ou degeneração da substância cinzenta do cérebro (Brent et al., 1984).

Além disso, alguns compostos sintéticos (piritiamina e oxitiamina) são considerados antagonistas da tiamina, pois apresentam composição semelhante e atuam como inibidores (competitivos) da tiamina, interferindo em diferentes etapas do metabolismo animal (González e Silva, 2019).

Estudos recentes demonstraram efeitos positivos da suplementação de tiamina no transporte epitelial no rúmen e redução da inflamação induzida por dietas ricas em grãos em vacas leiteiras de alta produção e bovinos de corte em terminação (Karapinar et al., 2010; Pan et al., 2017; Aschenbach et al., 2019). Em um estudo realizado por Pan et al. (2016), a suplementação de tiamina para bovinos

alimentados com dietas ricas em grãos melhorou o pH ruminal e diminuiu as concentrações de lactato ruminal. Além disso, os autores afirmaram que a suplementação de tiamina foi capaz de regular a população microbiana ruminal em vacas com acidose ruminal subaguda (SARA), através da redução da população de *Streptococcus bovis* e do estímulo ao crescimento de *Megasphaera elsdenii*.

Na maioria dos casos, os estudos disponíveis avaliaram a suplementação de vitaminas hidrossolúveis combinadas na forma de *blends*, compostos principalmente por tiamina (vitamina B_1), niacina (vitamina B_3) e/ou biotina (vitamina B_7; Zinn et al., 1987; Ebtehag et al., 2016; Aragón, 2018). Dessa forma, os efeitos da suplementação de vitaminas hidrossolúveis sobre o desempenho produtivo de ruminantes serão discutidos de forma conjunta (*blends*) ao invés da suplementação individual em muitas seções deste capítulo.

Melhores ganho médio diário (GMD) e ganho total de peso corporal (PC) foram observados para búfalos em terminação suplementados com vitaminas B_3 e/ou B_1 (Ebtehag et al., 2016). Os autores deste estudo relataram que os animais suplementados com niacina (0,992 kg/dia de GMD; ganho total de PC de 119 kg), tiamina (0,963 kg/dia de GMD; ganho total de PC de 115,6 kg) e niacina e tiamina (1,01 kg/dia GMD; ganho total de PC de 121,6 kg) apresentaram maior GMD e ganho total de PC quando comparados aos animais do tratamento controle (0,747 kg/dia de GMD; ganho total de PC de 89,6 kg). Segundo Aragón (2018), o melhor desempenho produtivo de animais suplementados com vitaminas B_1 e/ou B_3 pode estar relacionado a suas funções no metabolismo energético, resultando em um uso mais eficiente da energia da dieta.

Riboflavina (Vitamina B_2)

A riboflavina, também conhecida como vitamina B_2, está disponível na natureza em três formas: riboflavina livre e suas coenzimas derivadas, mononucleotídeo de flavina (FMN) e dinucleotídeo de flavina e adenina (FAD). A riboflavina em sua forma coenzimática (FMN ou FAD) é chamada de flavoproteína e atua no metabolismo intermediário, principalmente nas reações de oxidação-redução (McDowell, 2000). A vitamina B_2 também é necessária para a ativação e metabolismo de diferentes vitaminas do complexo B, como cianocobalamina (vitamina B_{12}), ácido fólico (vitamina B_9) e piridoxina (vitamina B_6; Wu et al., 2021). Além disso, a riboflavina promove a conversão do triptofano em niacina e atua na mobilização do ferro (Ahmadian et al., 2021).

Zinn et al. (1987) observaram que a síntese e o fluxo da riboflavina no rúmen foram independentes do teor de concentrado na dieta de machos castrados. Contudo, Beaudet et al. (2016) sugeriram que a síntese ruminal de riboflavina foi maior sob condições dietéticas que estimulam o crescimento microbiano ruminal (ou seja, dietas contendo fontes de carboidratos prontamente degradáveis e fornecimento adequado de N). No entanto, há um razoável consenso de que a degradação ruminal da riboflavina dietética é quase total (Zinn et al., 1987) e apenas aproximadamente 1% desta vitamina pode atingir o intestino delgado e ser absorvida (Santschi et al., 2005). Consequentemente, a suplementação de riboflavina em dietas para ruminantes adultos só seria justificada se fossem utilizadas tecnologias para protegê-la da degradação ruminal.

Não foram estabelecidas as exigências diárias de riboflavina para bovinos de corte, pois os microrganismos ruminais sintetizam grandes quantidades dessa vitamina, representando aproximadamente 1,5 vezes as exigências metabólicas estimadas de riboflavina (NASEM, 2016). Portanto, é improvável que deficiências de riboflavina ocorram em ruminantes adultos, e isso só foi observado em pré-ruminantes jovens (Casals e Calsamiglia, 2012). Zinn (1992) calculou, usando dados coletados de suínos (NRC, 1979), que as exigências de vitamina B_2 para bovinos confinados foram de 0,32 mg/kg $PC^{0,75}$. Evidências recentes mostraram que o aumento dos níveis de suplementação de riboflavina na dieta de 600 para 900 mg/dia não influenciou o consumo de matéria seca (MS), mas tendeu a aumentar o GMD em machos não castrados (Wu et al., 2021). Entretanto, a suplementação de riboflavina só deve ser considerada em animais sob estresse e com baixo consumo, quando a população microbiana ruminal pode estar prejudicada (Zinn, 1992).

Niacina (Vitamina B_3)

Os ruminantes podem ter suas exigências de niacina (vitamina B_3) supridas a partir de 3 fontes: 1) niacina dietética; 2) conversão de triptofano em niacina; e/ou 3) síntese de niacina pelos microrganismos ruminais (NASEM, 2016). A niacina faz parte das coenzimas NAD e NADP, sendo importante em todo o metabolismo animal. Ainda, a niacina é necessária para a desintoxicação da amônia em ureia e metabolismo de corpos cetônicos no fígado de ruminantes.

A suplementação de niacina geralmente não é necessária devido à sua síntese microbiana no rúmen. Contudo, estudos tem demonstrado uma variação na concentração de niacina no rúmen de acordo com o tipo de alimento fornecido e a relação volumoso:concentrado da dieta (Niehoff et al., 2008; Schwab et al., 2006). Porém, não está claro qual componente da dieta mais influencia a concentração ruminal de niacina. Independentemente disso, do total de niacina suplementada, apenas uma pequena parte chega ao duodeno (Niehoff et al., 2009), o que pode ser devido à degradação ruminal ou absorção no abomaso.

Segundo Zinn et al. (1987), a degradação ruminal do amido estimula a síntese de todas as vitaminas do complexo B. Resultados de Schwab et al. (2006) corroboram com as constatações de Zinn et al. (1987), os quais observaram uma correlação positiva entre as concentrações de carboidratos não fibrosos (CNF) e amido na dieta, bem como seus consumos e degradações ruminais, e a síntese de niacina em bovinos leiteiros. No entanto, não foi observado efeito da proporção de forragem (35 ou 60% na MS) ou CNF (30 ou 40% na MS) da dieta sobre a produção de vitaminas hidrossolúveis.

Os efeitos da suplementação de vitamina B_3 sobre o desempenho produtivo de bovinos de corte têm sido variáveis. Byers (1981) resumiu 14 estudos sobre os efeitos da suplementação de vitamina B_3 para bovinos de corte em uma meta-análise. Esse autor concluiu que a suplementação de niacina variando de 50 a 250 mg/kg MS durante a adaptação à dieta (primeiros 21 a 38 dias) melhorou a taxa de crescimento e a eficiência alimentar de bovinos de corte em 9,7 e 10,9%, respectivamente. Luo et al. (2019) avaliaram os efeitos da suplementação de vitamina B_3 em níveis de 320, 480 e 640 mg/kg MS sobre o desempenho produtivo de bovinos *Jinjiang* em terminação. Os resultados mostraram que os bovinos alimentados com 640 mg/kg MS de niacina suplementar apresentaram GMD 43,75% maior do que os do grupo controle durante o período inicial (1 a 28 dias). Contudo, as doses dietéticas de 480 e 640 mg/kg MS de niacina suplementar reduziram a eficiência alimentar em 26,07% e 31,61%, respectivamente, em relação ao grupo controle. De acordo com Zinn et al. (1987), a ausência de efeitos benéficos da suplementação de vitamina B_3 em menores doses (100-400 ppm) sobre o desempenho de bovinos pode estar relacionada à degradação dessa vitamina pela microbiota ruminal.

No entanto, algumas pesquisas sugeriram que a suplementação dietética com niacina pode melhorar a fermentação ruminal e a síntese de proteína microbiana em bovinos de corte (Flachowsky, 1993; Girard, 1998). Além disso, maiores digestibilidades dos nutrientes e desempenho produtivo foram observados quando a vitamina B_3 foi suplementada na dose de 6 g/vaca/dia e 1 g/touro/dia (Flachowsky, 1993).

Ácido pantotênico (Vitamina B_5)

O ácido pantotênico (vitamina B_5) é um componente de duas enzimas-chave do metabolismo de carboidratos, lipídeos e proteínas: a coenzima A (CoA) e a proteína transportadora de grupo acil (ACP; NASEM, 2016). Esta vitamina é composta por β-alanina e ácido pantoico (Bässler et al., 2002) e é encontrada em quase todos os alimentos e células vivas, associada a CoA, ACP ou como ácido pantotênico livre (Finlayson e Seeley, 1983; Ragaller et al., 2011).

A atividade biológica da vitamina B_5 está diretamente relacionada à CoA e ACP. Quando associada a CoA, a vitamina B_5 está envolvida em reações de liberação de energia a partir de carboidratos, ácidos graxos e aminoácidos, enquanto está envolvida na biossíntese de ácidos graxos quando associada a ACP (Ball, 2006). No metabolismo de carboidratos, o acetil-CoA fornece grupos

acetil para o ciclo do ácido tricarboxílico. Além disso, o acetil-CoA desempenha papel na acetilação de aminoaçúcares e colina para formação de mucopolissacarídeos.

A quantificação da vitamina B_5 no rúmen é complexa, pois está sujeita aos processos de síntese, degradação, passagem pelo trato digestivo e, provavelmente, absorção, simultaneamente (Kon e Porter, 1954). Além disso, as variações nas concentrações de ácido pantotênico no líquido ruminal de bovinos alimentados com dietas ricas em alimentos concentrados tendem a ser maiores do que para aqueles alimentados com dietas a base de forragem (Hayes et al., 1966). Zinn et al. (1987) relataram uma síntese aparente negativa de vitamina B_5 (-13,5 mg/dia) em bezerros mestiços em crescimento (116 kg) sob estresse de transporte alimentados com uma dieta à base de milho, indicando que não houve uma síntese líquida de vitamina B_5. Os autores afirmaram que isso pode estar relacionado à redução do consumo de alimentos dos animais em crescimento, quando comparados a animais mais velhos e às características da dieta, uma vez que a síntese de vitamina B_5 varia de acordo com a composição da dieta.

Há relatos na literatura sugerindo que a vitamina B_5 é necessária para o crescimento adequado de algumas bactérias ruminais, como *Lactobacillus* sp., *Streptococcus bovis* e *Megasphaera elsdenii* (Ford et al., 1958; Wolin et al., 1997). Efeito benéfico sobre a contagem *in vitro* de protozoários também tem sido relatado (Völker et al., 2011). Estima-se que a quantidade de vitamina B_5 sintetizada no rúmen seja 20 a 30 vezes maior do que a quantidade presente nas dietas comumente fornecidas a bovinos de corte (NASEM, 2016) e, por isso, as exigências nutricionais de vitamina B_5 ainda não foram estabelecidas.

Cerca de 80% da vitamina B_5 suplementar é degradada no rúmen (Zinn et al., 1987) e o uso de sua forma protegida (pantotenato) pode ser uma alternativa viável. De acordo com Liu et al. (2018), maiores concentrações ruminais de ácidos graxos voláteis totais (AGV), degradabilidades da fibra em detergente neutro (FDN) e proteína bruta (PB), abundância bacteriana, atividade enzimática microbiana e síntese de proteína microbiana foram observadas quando o pantotenato foi suplementado para bovinos Blonde d'Aquitaine × Simental. Em estudo anterior, Li et al. (2017) observaram melhor utilização de nutrientes e GMD para bezerros Blonde d'Aquitaine × Simental suplementados com pantotenato.

Piridoxina (Vitamina B_6)

A piridoxina também é conhecida como vitamina B_6 e representa um grupo de três compostos: piridoxol, piridoxal e piridoxamina. As duas últimas formas são encontradas predominantemente em produtos de origem animal (McDowell, 2000). As atividades vitamínicas desses três compostos são semelhantes quando oferecidas aos animais, mas não são equivalentes quando administradas a microrganismos (Morris, 2001). Outras formas químicas associadas a esta vitamina incluem piridoxal fosfato e piridoxamina fosfato. O piridoxal fosfato é cofator em mais de 60 reações enzimáticas associadas ao metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídios (McCormick, 2006). No entanto, é mais conhecido por seu importante papel na maioria das reações associadas ao metabolismo de aminoácidos (metionina e triptofano, principalmente; Mohammed et al., 2004). Portanto, as exigências de vitamina B_6 devem ser estabelecidas de acordo com o consumo de proteína (Casals e Calsamiglia, 2012). Isso significa que o uso de níveis mais elevados de metionina e triptofano em dietas de confinamento pode aumentar a exigência de piridoxina em bovinos.

Modificações na composição da dieta podem afetar a população microbiana ruminal e, provavelmente, o metabolismo de vitamina B_6. Embora não se saiba muito sobre os fatores que afetam a síntese ruminal dessa vitamina, ela parece ser aumentada quando dietas ricas em concentrado são fornecidas (Schwab et al., 2006) e reduzida em bovinos alimentados com dietas ricas em forragem (Castagnino et al., 2016). Recentemente, Clemmons et al. (2020) indicaram que o metabolismo de um subproduto da vitamina B_6 foi maior no rúmen de animais de melhor eficiência alimentar, e isso poderia ter permitido um uso mais eficiente da proteína e maior crescimento muscular.

A maioria dos dados publicados na literatura indicam que a piridoxina é sintetizada em abundância e quantidades muito pequenas

são degradadas no rúmen. Portanto, o fornecimento de vitamina B_6 na dieta é suficiente para prevenir os sintomas de deficiência e permitir adequado crescimento e produção dos bovinos. Zinn (1992), extrapolando dados coletados de estudos com suínos, recomendou o fornecimento de 0,14 mg/kg $PC^{0,75}$ para bovinos confinados. Contudo, as exigências de vitamina B_6 não foram definidas para bovinos de corte.

Biotina (Vitamina B_7)

A biotina é comumente conhecida como vitamina B_7, vitamina H ou coenzima R. Esta vitamina está presente na natureza na sua forma livre e ligada a proteínas. Entretanto, a maioria dos ingredientes utilizados em dietas de confinamento contém biotina ligada à proteína (ligações covalentes), o que dificulta sua digestão e biodisponibilidade para o animal (Habeeb e Gad, 2019). Proteases do sistema digestivo degradam essa forma ligada a proteína, liberando biocitina (vitamina ligada à lisina; McDowell, 2000). A ligação formada entre lisina e biotina só pode ser clivada sob a ação de uma enzima específica (biotinidase; McMahon, 2002), que está presente no pâncreas, células intestinais da borda em escova e algumas espécies bacterianas, liberando biotina em sua forma livre para ser absorvida (Santschi et al., 2005). Assim, alimentos com maiores teores de proteína geralmente contém mais biotina em relação àqueles com menores concentrações de proteína (por exemplo, farelo de soja = 0,30 mg/kg vs. cevada = 0,08 mg/kg; Ammerman et al., 1995).

A biotina é um cofator para muitas enzimas envolvidas em diversas vias metabólicas. A biotina é necessária como coenzima no metabolismo de aminoácidos, respiração celular, gliconeogênese e lipogênese (McDowell, 2000). Além disso, essa vitamina é necessária para o funcionamento normal das glândulas tireoide e suprarrenais, e dos sistemas reprodutivo e nervoso (Habeeb e Gad, 2019). Especificamente, a biotina é um cofator para quatro enzimas carboxilase: piruvato carboxilase e propionil-CoA-carboxilase, que são cruciais para a gliconeogênese; acetil-CoA-carboxilase, o primeiro passo e limitante da velocidade da síntese *de novo* de ácidos graxos; e metilcrotonil-CoA carboxilase (Weiss e Zimmerly, 2000). Além disso, a biotina é necessária para muitos processos que contribuem para as propriedades mecânicas dos cascos e dos chifres. Esses processos incluem a queratinização, a formação de substâncias cimentantes intracelulares e a produção de outros lipídios necessários para manter a permeabilidade e a integridade epidérmica (Lischer et al., 1996; Mulling et al., 1999). Foi demonstrado que a suplementação de biotina é recomendada para melhorar a dureza dos cascos e chifres em bovinos leiteiros (Higuchi et al., 2003; Chen et al., 2012).

Embora os ingredientes comumente utilizados em confinamentos contenham concentrações variáveis de biotina, a principal fonte dessa vitamina para ruminantes é aquela sintetizada por microrganismos ruminais (NRC, 2001; Enjalbert et al., 2008). A biotina também é necessária para algumas bactérias ruminais, especialmente bactérias celulolíticas para seu crescimento (Baldwin e Allison, 1983). Além disso, essa vitamina também é necessária para a microbiota ruminal produzir propionato, pois a biotina é um cofator da enzima microbiana metilmalonil-CoA-carboxitransferase, que catalisa uma etapa na síntese do ácido propiônico (Zempleni e Mock, 1999).

As bactérias ruminais sintetizam grandes quantidades de biotina dependendo da disponibilidade energética (0,79 mg/kg matéria orgânica digerida [MOD]; Briggs et al., 1964, citado por Casals e Calsamiglia, 2012). No entanto, a síntese de biotina pode ser reduzida em dietas de alta energia. Dietas ricas em concentrado, geralmente utilizadas em confinamento, podem acidificar o rúmen ou alterar o local de fermentação do amido. Nesse sentido, a flora ruminal e intestinal pode ser alterada e, por sua vez, afetar a síntese ou degradação da biotina microbiana. Dessa forma, a suplementação de biotina pode ser necessária para ruminantes recebendo dietas ricas em concentrado.

Redução da síntese de biotina foi relatada *in vitro* para dietas contendo mais de 50% de concentrado (Da Costa Gomez et al., 1998). Além disso, Abel et al. (2001) observaram que a síntese de biotina ruminal diminuiu 50% à medida que a proporção de cevada para feno aumentou de 50:50 para 83:17 em um estudo de cultura contínua *in vitro*, provavelmente como resultado de um desequilíbrio entre as espécies de microrganismos ruminais causado pela redução

do pH. Além disso, a proporção e o tipo de grão na dieta influenciaram as sínteses aparentes ruminais e intestinais e a absorção de biotina em machos castrados canulados no duodeno (Miller et al., 1986).

Contudo, Rosendo et al. (2004) sugeriram que a redução do crescimento dos microrganismos celulolíticos, causada pelo baixo pH ruminal (5,3), reduz a utilização em vez da síntese de biotina ruminal. Entretanto, a biotina não se degrada extensivamente no rúmen (NRC, 2001). Schwab e Shaver (2005) observaram aumento significativo na concentração de biotina no leite e plasma de bovinos leiteiros, sugerindo que essa vitamina suplementada de forma desprotegida contra a degradação ruminal não foi completamente degradada ou utilizada pelos microrganismos ruminais.

Uma meta-análise usando 9 estudos indicou que a suplementação com biotina desprotegida influenciou positivamente a produção de leite de vacas leiteiras (Chen et al., 2011), sugerindo que a biotina não requer proteção ruminal. Contudo, um número limitado de estudos foi realizado avaliando a suplementação de biotina em bovinos de corte. De Silva (2018) descreveram que a suplementação de biotina (20 mg/dia) não alterou as taxas de crescimento de bovinos mestiços. Além disso, trabalhos anteriores indicaram que grande parte da biotina dietética escapou da degradação ruminal e que sua suplementação em altos níveis, combinada com outras vitaminas (*blends*) para bovinos confinados não afetou o desempenho animal, mas tendeu a diminuir a morbidade (Zinn et al., 1987). Melhor saúde dos cascos de vacas Hereford foram atribuídas à suplementação de biotina (10 mg/dia; Campbell et al., 2000). A combinação da biotina sintetizada por microrganismos ruminais e seu fornecimento na dieta basal parece ser suficiente para atender as exigências de biotina para bovinos de corte.

O NASEM (2016) não estabeleceu as exigências diárias de biotina para bovinos de corte. Ainda, Zinn (1992) estimou as exigências de biotina para bezerros em confinamento e/ou terminação em 0,13 mg/kg $PC^{0,75}$. Em contraste, o OVN (2016) recomenda valores entre 10 e 20 mg/dia para otimizar a saúde do casco e o marmoreio da carne.

Colina (Vitamina B8)

A colina geralmente não é considerada uma vitamina porque, ao contrário das vitaminas clássicas, sua síntese endógena é possível. Portanto, foi sugerido que este composto pode ser um nutriente essencial para ruminantes, independentemente de ser ou não classificado como uma vitamina verdadeira (Pinotti et al., 2020). Logo, a colina é necessária em quantidades relativamente grandes (gramas e não em miligramas), geralmente mais do que as outras vitaminas (NASEM, 2016).

Embora uma pequena quantidade de colina livre possa existir em alguns materiais vegetais, a fosfatidilcolina é principal forma natural de colina presente nos alimentos. A colina é essencial para a síntese de moléculas vitais no corpo (por exemplo, fosfatidilcolina e acetilcolina); assim, cumpre um papel essencial no metabolismo energético, proteico e lipídico (Berdanier, 2008). Além disso, é um importante doador do grupo metil, contribuindo para a biossíntese de outros compostos metilados no metabolismo animal (McDowell, 2006). Portanto, uma das vantagens da suplementação de colina é aumentar a disponibilidade de metionina para a síntese de proteínas, pois a partir desse aminoácido essencial também podem ser obtidos grupos metil biologicamente ativos (NRC, 2001).

As exigências de colina para bovinos de corte não foram adequadamente estabelecidas por várias razões. Por exemplo, os ingredientes das dietas contêm diferentes concentrações de colina. O teor de colina no milho é de aproximadamente 80,04 mg/kg, enquanto no farelo de soja essa concentração é de 1686,54 mg/kg (Chen et al., 2019). Ainda, a combinação de diferentes níveis e composição de proteínas, gorduras e carboidratos na dieta, bem como a idade, categoria, consumo de energia e taxa de crescimento dos animais influenciam a ação lipotrópica da colina e, portanto, as exigências desta vitamina (Mookerjea, 1971).

Apesar disso, a colina dietética só será disponível para bovinos adultos se escapar da degradação ruminal. Um dos poucos relatos disponíveis na literatura sobre os efeitos da suplementação de colina desprotegida para bovinos de corte não observou efeitos positivos sobre o desempenho produtivo, características de carcaça, acidose ou produtos de fermentação

ruminal em machos castrados alimentados com uma dieta concentrada suplementada com colina (Morris, 2001). A colina presente nos alimentos e os suplementos sintéticos são rapidamente e extensivamente degradados pela microbiota ruminal (Baldi e Pinotti, 2006). Os valores de degradação ruminal da colina variam entre 80 e 99%, dependendo da fonte (Sharma e Erdman, 1989). Assim, mesmo os alimentos ricos em colina podem contribuir apenas marginalmente para o fornecimento pós-ruminal de colina. Assim, um método eficaz para aumentar a disponibilidade de colina para ruminantes é alimentá-la de forma protegida da degradação ruminal.

Nesse sentido, a colina protegida, contendo cloreto de colina coberto por uma camada protetora de ácidos graxos, tem despertado o interesse para propósitos de pesquisa e produtivos (Jayaprakash et al., 2016). Alguns estudos relataram melhora do desempenho produtivo (Bindel et al., 2000; Pinotti et al., 2009) e características de carcaça (Drouillard et al., 1998) de bovinos de corte suplementados com colina protegida. Devido ao número limitado de pesquisas disponíveis e à inconsistência dos resultados, nenhuma recomendação prática de suplementação diária de colina protegida ou não foi feita neste capítulo. Contudo, tem sido sugerido que bezerros alimentados com leite devem receber suplementação de 0,26% de colina em substitutos do leite (NASEM, 2016).

Ácido Fólico (Vitamina B_9)

O ácido fólico, também conhecido como vitamina B_9, folacina ou folato, está envolvido na transferência de unidades de um carbono, desempenhando papel crucial na biossíntese de purinas e pirimidinas, síntese de DNA e metabolismo de aminoácidos (McDowell, 2000). O ácido fólico atua sinergicamente com outras vitaminas, minerais, aminoácidos e metabólitos para manter um pool metabólico funcional de unidade de um carbono (por exemplo, colina, metionina, glicina, cobalto e outros; NASEM, 2016).

Os microrganismos ruminais sintetizam uma grande quantidade de ácido fólico, que depende da disponibilidade de energia (NRC, 2001). Zinn (1992) estimou que a síntese de ácido fólico no rúmen foi de 0,42 mg/kg MOD. Assim, animais com rúmen funcional devem ter uma oferta adequada de ácido fólico (McDowell, 2000). Além disso, estima-se que aproximadamente 97% do ácido fólico suplementar é degradado por microrganismos ruminais (Zinn et al., 1992; Wang et al., 2017) e apenas 3% do ácido fólico dietético pode atingir o intestino delgado para ser absorvido (Santschi et al., 2005). Assim, a suplementação de ácido fólico em animais adultos só se justificaria com o uso de tecnologia de proteção contra a degradação ruminal.

Nesse contexto, estudos recentes demonstraram que a suplementação de ácido fólico protegido para machos castrados aumentou a concentração ruminal de AGV, a degradabilidade dos nutrientes, a síntese de proteína microbiana, a população bacteriana celulolítica, a atividade enzimática, o GMD e a eficiência alimentar (Liu et al., 2020; Wang et al., 2016, 2017). Zinn (1992), extrapolando dados coletados de suínos (NRC, 1998), concluiu que as exigências de ácido fólico foram de 0,75 mg/kg $PC^{0,75}$ para bovinos confinados. No entanto, os sistemas internacionais de exigências nutricionais para bovinos de corte (por exemplo, NASEM, 2016; OVN, 2016), assim como esta publicação não estabeleceram as exigências diárias de vitamina B_9.

Cobalamina (Vitamina B_{12})

A vitamina B_{12} é um nome genérico usado para se referir a um grupo de compostos que possuem atividade de vitamina B_{12}, como ciano, hidroxi, metil ou desoxiadenosilcobalamina. A cobalamina, forma biologicamente ativa da vitamina B_{12}, está envolvida no metabolismo de ácidos nucleicos, proteínas, carboidratos e lipídios (González-Montaña et al., 2020). Atender às necessidades de vitamina B_{12} é de maior interesse em ruminantes do que em animais não ruminantes, pois é necessária para o adequado metabolismo do propionato. A metilmalonil-CoA mutase é uma enzima dependente de vitamina B_{12} que é essencial para a conversão de propionato em succinato, que através da gliconeogênese é posteriormente convertido em glicose, influenciando a produção de energia nos animais (Mansur, 2009; Rowley e Kendall, 2019).

Diferentemente de outras vitaminas do complexo B, a vitamina B_{12} não está presente nas plantas e é produzida por bactérias apenas se o fornecimento de cobalto for adequado, o que geralmente é utilizado como indicador do *status* de B_{12} no organismo animal (González-Montaña et al., 2020). A microbiota ruminal pode sintetizar vitamina B_{12} se as concentrações de cobalto livre no líquido ruminal forem superiores a 0,5 mg/mL (Underwood e Suttle, 2002). Assim, os ruminantes obtêm a vitamina B_{12} pré-formada de sua flora bacteriana natural ou pela ingestão de produtos de origem animal.

Fisiologicamente, a captação seletiva de vitamina B_{12} ativa requer interação entre proteínas pré-transportadoras, haptocorrina (HP), fator intrínseco (FI), transcobalamina (TC) e diferentes receptores. A HP é encontrada em muitos fluidos biológicos, como o suco gástrico, e ajuda a destruir os análogos da vitamina B_{12}. O FI gástrico (humanos) ou pancreático (cães) liga-se seletivamente à B_{12} e entra nas células intestinais via endocitose mediada por receptor. Subsequentemente, a vitamina B_{12} absorvida é transmitida a TC e entregue aos tecidos via corrente sanguínea. É importante ressaltar, que a complexidade do sistema de transporte permite eficiência no processo de absorção da vitamina B_{12}. Contudo, falha em qualquer ponto desse processo pode levar à deficiência dessa vitamina, o que levaria a danos neurológicos irreversíveis, anemia e até morte (Fedosov, 2012; Kather et al., 2020).

Em um estudo comparando a farmacocinética de duas formas de cobalamina (OHB12 e CNB12) associadas a microminerais para machos Holandeses castrados, Gonzalez-Rivas et al. (2021) verificaram que os animais que receberam a forma OHB12 apresentaram GMD 11% maior quando comparados aos tratados com CNB12 (1,17 e 1,06 kg/dia para machos castrados que receberam as formas OHB12 e CNB12 de cobalamina, respectivamente). Ainda, os autores afirmaram que uma única injeção de OHB12 foi eficaz em aumentar o nível sanguíneo de cobalamina nas primeiras 24 horas e seu armazenamento no fígado, que se manteve por pelo menos 28 dias em situação de deficiência. Em contraste, a suplementação de cobalamina na forma CNB12 não aumentou a cobalamina no fígado (Gonzalez-Rivas et al., 2021).

VITAMINAS LIPOSSOLÚVEIS

As vitaminas lipossolúveis são encontradas em associação com os constituintes lipídicos de plantas e animais e são caracterizadas por sua capacidade de armazenamento a longo prazo no organismo animal (McDowell, 2000). As vitaminas lipossolúveis A, D, E e K são absorvidas concomitantemente com a absorção de lipídios e dependem da presença de bile e formação de micelas no intestino (McDowell, 2000).

As vitaminas lipossolúveis têm várias funções essenciais no organismo dos ruminantes. Por exemplo, a vitamina A está envolvida na formação, regeneração e proteção do ectoderma e das membranas mucosas (Toledo et al., 2006). A vitamina E melhora a formação de anticorpos e o sistema imunológico humoral, além de ser necessária para o metabolismo celular (respiração celular e metabolismo de ácidos nucléicos), divisão celular e síntese de proteínas. Além disso, a vitamina E atua como um composto antioxidante para ácidos graxos insaturados e vitamina A, contribuindo para a melhoria da qualidade da carne (Leda et al., 2018; Toledo et al., 2006).

Por outro lado, a vitamina D regula a homeostase do cálcio (Ca) e fósforo (P), aumentando a captação intestinal e a reabsorção óssea. Além disso, aumenta a atividade de enzimas proteolíticas dependentes de Ca, o que pode levar a uma melhor qualidade da carne (Montgomery et al., 2000; Toledo et al., 2006). A vitamina K é necessária para a síntese de vários fatores de coagulação do plasma (fatores II, VII, IX e X) e também pode participar da homeostase do Ca (Dores et al., 2001).

Vitamina A

Embora todas as vitaminas sejam igualmente importantes na manutenção da vida do ruminante, a vitamina A é a vitamina mais relevante para a produção de bovinos de corte, sendo essencial para o crescimento e desenvolvimento saudáveis (NRC, 2001). A vitamina A cumpre muitas funções no organismo do animal, sendo as mais importantes

associadas à visão (pigmento da visão), desenvolvimento embrionário, imunidade, manutenção da homeostase e manutenção do tecido esquelético e epitelial (Bendich, 1993; McDowell, 2006). A vitamina A e o β-caroteno são necessários para otimizar o desempenho reprodutivo de vacas Nelore (Gouvêa et al., 2018; Vasconcellos et al., 2018ab) e a qualidade do embrião (Amaral et al., 2004). Além disso, essa vitamina tem um papel benéfico sobre a espermatogênese de touros Nelore (Silva et al., 2020).

A vitamina A é uma família de moléculas agrupadas sob o nome de retinol, que é um composto quase incolor, de cadeia longa e insaturado. Como um composto lipossolúvel, são necessários processos normais de digestão e absorção de gorduras e teor adequado de gorduras na dieta para permitir sua absorção. O fígado e os tecidos adiposos são os locais do corpo onde o retinol absorvido pode ser armazenado. Vários estudos confirmaram que o fígado (geralmente contém cerca de 90% da vitamina A total do corpo) pode armazenar vitamina A suficiente para preservar os animais de uma deficiência causada por longos períodos de baixa ingestão de vitamina A (McDowell, 2000).

A estrutura básica da vitamina A é o *all-trans* retinol, que pode originar vários isômeros. No entanto, as formas comuns de suplementação de vitamina A em alimentos comerciais são o *all-trans* acetato de retinil e o *all-trans* palmitato de retinil. Estes são normalmente produzidos como grânulos de gelatina endurecidos ou reticulados para melhorar a estabilidade. Assim, as exigências de vitamina A para ruminantes são descritas tanto em Unidades Internacionais (UI) quanto em Equivalentes de Retinol (ER; NASEM, 2016). As definições e relações entre UI e RE são apresentadas na Tabela 15.1.

Tabela 15.1 - Definições e relações entre as Unidades Internacionais (UI) ou Equivalentes de Retinol (ER) relacionadas à vitamina A

1 UI	0.3 μg de all-*trans* retinol
1 UI	0.344 μg de acetato de retinil
1 UI	0.55 μg de palmitato de retinil
400 UI	1 mg β-caroteno
1 RE	1 μg de all-*trans* retinol, 2 μg de all-*trans* β-caroteno sintético suplementar, 6 μg de all-*trans* β-caroteno dietético, ou 12 μg de outros carotenóides com atividade de pró-vitamina A dietéticos

*Adaptada de NASEM (2016); Casals e Calsamiglia (2012).

O retinol não está presente em ingredientes vegetais comumente usados na dieta de ruminantes, mas seus precursores (carotenos ou carotenóides) ocorrem em diferentes formas. Contudo, a atividade do β-caroteno é substancialmente maior do que a de outros carotenóides. O β-caroteno (ou pró-vitamina A) é convertido em vitamina A (retinol) por enzimas localizadas nas células da mucosa intestinal. Ainda, outros carotenóides (por exemplo, α-caroteno e criptoxantina) também podem ser convertidos em vitamina A. No entanto, a eficiência de conversão de carotenóides em retinol parece ser menor em bovinos de corte do que em animais não ruminantes (Ullrey, 1972). A redução da taxa de conversão de caroteno para retinol pode ser devido à degradação ruminal da vitamina A (McDowell, 2000).

A degradação ruminal da vitamina A pode ser afetada pelo tipo de dieta fornecida aos bovinos de corte. Rode et al. (1990) relataram que o desaparecimento da vitamina A durante a fermentação ruminal *in vitro* aumentou de 20% para aproximadamente 80%, quando os animais doadores foram alimentados com uma dieta de alto concentrado em relação àqueles alimentados com uma dieta rica em forragem. Nesse sentido, novas tecnologias têm sido desenvolvidas comercialmente para proteger a vitamina A da degradação ruminal. Neste caso, os produtos comerciais são compostos por vitamina A e outros compostos, como carboidratos e

antioxidantes, visando sua estabilização (Alosilla et al., 2007).

Diversos fatores podem influenciar a composição dos carotenóides de um alimento, como as condições de produção (por exemplo, temperatura e umidade), maturidade no momento da colheita e condições de armazenamento e processamento pós-colheita (Pickworth et al., 2012). O Retinol e os carotenóides são muito sensíveis à oxidação, exposição à luz UV e à presença de ácidos, umidade e microminerais (NRC, 2001). O armazenamento prolongado em pré-misturas contendo microminerais (principalmente cobre), umidade elevada, peletização, processamento por extrusão ou a presença de lipídeos rancificados reduzem a estabilidade da vitamina A (Olson, 1991; Coelho, 2002).

A deficiência de vitamina A em bovinos de corte criados em condições tropicais pode ocorrer durante o inverno, pois a disponibilidade e a qualidade da massa de forragem (por exemplo, baixa concentração de β-caroteno) são baixas. A deficiência de vitamina A também pode ocorrer em dietas com alto teor de concentrado em sistemas de confinamento e quando os ingredientes da dieta forem expostos à luz solar e/ou altas temperaturas ou armazenados por um longo período (Akhtar et al. 2011). Considerando que a forragem fresca (por exemplo, pastagem) tem concentrações relativamente mais altas de β-caroteno do que as forragens conservadas (por exemplo, silagem), a quantidade de vitamina A suplementar necessária quando forragem fresca é fornecida seria menor. Embora a toxicidade por excesso dessa vitamina na dieta seja incomum em ruminantes devido à sua alta taxa de degradabilidade ruminal, ela também limita a quantidade de vitamina A disponível para o animal (Casals e Calsamiglia, 2012).

Alguns estudos *in vivo* documentaram que bovinos alimentados com 2.134-2.300 UI/kg MS de vitamina A suplementar apresentaram maiores ganhos e eficiência alimentar do que aqueles que consumiram aproximadamente 6.274-11.000 UI/kg MS (Zinn et al., 1996). Além disso, Gorocica-Buenfil et al. (2007bc; 2008) realizaram três experimentos avaliando a suplementação de vitamina A em níveis de 2.200 ou 2.700 UI/kg MS para bovinos de corte em terminação. Comparado com o grupo não suplementado, o grupo suplementado com vitamina A apresentou maiores ganhos em um experimento (Gorocica-Buenfil et al., 2007b) e eficiência alimentar nos outros dois experimentos (Gorocica-Buenfil et al., 2007c; 2008). Bryant et al. (2010) avaliaram os efeitos da suplementação de vitamina A (0, 1.103, 2.205, 4.410 ou 8.820 UI/kg MS) sobre o desempenho e qualidade da carcaça de machos castrados recebendo dieta rica em grãos. Os autores não observaram diferenças para o PC final, eficiência alimentar, GMD e consumo de MS (CMS) entre os tratamentos dentro de cada período de 28 dias ou no período total de confinamento. Dessa forma, foi sugerido que a suplementação de vitamina A para bovinos em terminação deve ser cuidadosamente avaliada.

Segundo esses autores, dietas típicas de confinamento (aproximadamente 90% de concentrado na dieta total) têm em média 5.215 UI vitamina A/kg MS. As exigências de vitamina A para bovinos em terminação alimentados com dietas basais semelhantes é ≤ 2.205 UI/kg MS (NASEM, 2016). Assim, dietas com valores acima de 2.205 UI/kg MS de vitamina A podem sobrecarregar a capacidade do trato gastrointestinal inferior de absorver outros nutrientes, não necessariamente beneficiando a saúde e o desempenho animal.

Recentemente, Wellmann et al. (2020) avaliaram a suplementação de vitamina A atendendo as exigências estimadas (2.200 UI/kg MS) ou 5 vezes as exigências estimadas (11.000 UI/kg MS; NASEM 2016) para machos Nelore castrados e não observaram diferenças entre os tratamentos para o GMD, eficiência alimentar, peso da carcaça quente, área de olho de lombo ou espessura de gordura subcutânea. Portanto, a recomendação atual do NASEM (2016) de 2.200 UI vitamina A/kg MS parece ser adequada para manutenção do *status* de vitamina A de machos castrados em confinamento.

Estudos anteriores sugeriram que a estratégia de alimentação de vitamina A desempenha um papel crucial na deposição de gordura intramuscular em bovinos de corte (Oka, 1996; Gorocica-Buenfil et al., 2007a; Bryant et al., 2010; Knutson et al., 2020; Peng et al. al., 2020). Em contraste, um estudo mostrou que a restrição de vitamina A durante o período de engorda aumentou a deposição de gordura intramuscular em carcaças de bovinos através da hipertrofia dos adipócitos (Peng et al., 2021). Entretanto, a aplicabilidade geral da restrição de

vitamina A na produção de bovinos de corte ainda é equivocada e merece investigação adicional.

As exigências de vitamina A podem ser expressas em UI por kg de PC (UI/kg PC), por cabeça por dia (UI/dia) ou por kg de MS da dieta (UI/kg MS). Neste capítulo, as exigências foram expressas em UI/kg MS, quando baseadas no NASEM (2016) e em UI/dia, quando baseadas nas recomendações do OVN (2016), descritas na Tabela 15.6.

Vitamina D

As principais fontes de vitamina D são colecalciferol (vitamina D_3) e o ergocalciferol (vitamina D_2). São fontes pré-formadas de vitamina D e diferem entre si pela presença de uma ligação dupla adicional e um grupo metil no esterol vegetal. A vitamina D_3 é conhecida como a forma natural encontrada em animais e pode ser sintetizada sob a pele pela ação dos raios ultravioleta exclusivamente a partir do 7-desidrocolesterol (pró-vitamina D_3), que é derivado das moléculas de colesterol ou esqualeno presentes em grande quantidade na pele, parede intestinal e outros tecidos. A vitamina D_2 é a vitamina D presente nas plantas.

A síntese da vitamina D_3 consiste em várias etapas, as quais envolvem a modificação fotoquímica do 7-dehidrocolesterol seguida de isomerização não enzimática (Castro, 2011). Assim, a quantidade de colecalciferol formada dependerá da frequência e intensidade dos raios ultravioleta que atingem a pele do animal. Portanto, as exigências de vitamina D dependerão do grau de exposição à luz solar. Consequentemente, a conversão da forma de provitamina em vitamina ativa será mais intensa nos trópicos do que nas zonas temperadas e árticas, em altitudes elevadas. Ainda, essa conversão será mais intensa no verão quando comparado ao inverno, e ao meio dia, quando comparado ao período da manhã.

Grande parte (aproximadamente 70%) da vitamina D consumida é degradada no rúmen (Ballet et al., 2000). Além disso, a degradação ruminal da vitamina D pode gerar metabólitos com atividade antivitamina D, que protegem os ruminantes da toxicidade da vitamina D, quando ingerida em quantidades excessivas (Ballet et al., 2000). A vitamina D restante pode ser absorvida no intestino delgado.

A vitamina D e seus metabólitos têm outras funções além de atuar no metabolismo do Ca e regular a mineralização óssea. Esses efeitos bem conhecidos da vitamina D estão relacionados a alterações bioquímicas que ocorrem no intestino, nos ossos e nos rins. A vitamina D também tem funções semelhantes a hormônios. Assim como os hormônios esteróides, a 1,25–$(OH)_2D_3$ (Calcitriol) regula a expressão gênica por meio da interação com proteínas receptoras específicas no núcleo. Além disso, a 1,25–$(OH)_2D_3$ está envolvida na regulação do crescimento e diferenciação de uma variedade de tipos de células, incluindo as células do sistema hematopoiético e imunológico (Lemire, 1992).

Hormônios esteróides, prolactina, hormônio do crescimento (GH) e fator de crescimento semelhante à insulina 1 (IGF-1) estimulam a síntese renal de 1,25-$(OH)_2D_3$ para regular a absorção de Ca e atender às necessidades mais altas de Ca durante a gestação, lactação, e crescimento em ruminantes (Holick, 2007). Quando esses hormônios não atuam de forma eficiente, os animais podem apresentar desempenho produtivo insuficiente.

Animais jovens podem apresentar raquitismo causado por uma diminuição nas concentrações de Ca, P ou ambos, e um aumento significativo na fosfatase ácida. Em animais adultos, a deficiência de vitamina D pode levar à "febre do leite" em vacas em lactação, principalmente em multíparas. Isso ocorre porque animais mais velhos geralmente apresentam menor resposta ao Ca da dieta devido à diminuição da produção de 1,25-$(OH)_2D_2$ e menor resposta do tecido alvo ao 1,25-$(OH)_2D_3$, resultando em problemas metabólicos. O NASEM (2016) ainda utiliza as diretrizes do NRC (1984) para suplementação de vitamina D em bovinos de corte, o qual recomenda uma suplementação de 275 UI/kg MS ou aproximadamente 5,7 UI/kg PC.

Vitamina E

A vitamina E é oriunda principalmente de compostos conhecidos como tocoferóis, que são definidos como antioxidantes lipossolúveis biológicos em tecidos animais. Assim, esta

vitamina é importante para o metabolismo dos ácidos graxos essenciais (Andriguetto e Perly, 1994). Além disso, previne a formação de peróxidos resultantes da oxidação *in vivo* de certos ácidos graxos (McDowell, 2000).

Dentre os diferentes tipos de tocoferóis, o α-tocoferol é o mais biologicamente ativo (100% da atividade biológica em relação à vitamina E), sendo a vitamina E pré-formada predominante (McDowell, 2000) e a mais utilizada em suplementos comerciais (Scherf et al., 1996). O α-tocoferol é um excelente antioxidante natural que protege o caroteno e outros compostos oxidáveis na alimentação e no corpo (Buckley et al., 1995), melhorando o GMD (Pehrson et al., 1991) e a eficiência alimentar de bovinos de corte (Mir et al., 2003).

A concentração de α-tocoferol (vitamina E) nos alimentos é variável. Nas forrageiras, a concentração varia de acordo com o estágio vegetativo da planta, variando de 80 a 200 UI/kg MS ou de 80 a 200 mg de acetato de α-tocoferol (1 UI equivale a 1mg de acetato de α-tocoferol; Insani et al., 2008; Acedo et al., 2018). Além disso, as concentrações de α-tocoferol diminuem rapidamente após a colheita da planta (Acedo et al., 2018). Portanto, a silagem e o feno utilizados na dieta de ruminantes podem conter 20% a 80% menos α-tocoferol que a planta antes do processo de conservação. Os alimentos concentrados contêm concentrações reduzidas de vitamina E.

As exigências de vitamina E podem ser atendidas por meio de suplementação dietética exógena, que pode melhorar o desempenho animal. As exigências de vitamina E para ruminantes podem ser expressas em UI, µmol e α-tocoferol (mg/UI; NASEM, 2016). Definições e relações entre unidades para expressar vitamina E estão descritas na Tabela 15.2.

Tabela 15.2 - Fatores para converter unidades internacionais (UI) de vitaminas E em alfa-tocoferol em miligramas

Tipos de Vitamina E	Fator de conversão da USP[b]		Fatores de conversão molar [c] µmol/UI	Fator de conversão α-tocoferol[d] mg/UI
	UI/mg	mg/UI		
Vitamina E Sintética e Ésteres				
Acetato de DL-α-tocoferol	1,00	1,00	2,12	0,45
Succinato de DL-α-tocoferol	0,89	1,12	2,12	0,45
DL-α-tocoferol[e]	1,10	0,91	2,12	0,45
Vitamina E natural e Ésteres				
Acetato de DL-α-tocoferol	1,36	0,74	1,56	0,67
Succinato de DL-α-tocoferol	1,21	0,83	1,56	0,67
DL-α-tocoferol[f]	1,49	0,67	1,56	0,67

[a] Adaptado de NASEM (2016); IOM (2000).
[b] Conversões oficiais da Farmacopeia dos Estados Unidos (USP) em que 1 UI é definido como 1 mg de acetato de all-rac-α-tocoferil (USP, 1979; 1999).
[c] Para converter mg em µmol, divida o mg pelo peso molecular do composto de vitamina E (acetato de α-tocoferol = 472; Succinato de α-tocoferol = 530; α-tocoferol = 430) e multiplique por 1000. Como a quantidade de compostos livres e de Succinato é ajustada para seus diferentes pesos moleculares em relação ao acetato de α-tocoferila, essas formas têm os mesmos fatores de conversão que os compostos de tocoferol correspondentes.
[d] Para converter o µmol do composto de vitamina E em mg de α-tocoferol, multiplique o µmol pelo peso molecular do α-tocoferol (430) e divida por 1000. As atividades dos três compostos sintéticos de α-tocoferol foram divididas por 2, isso porque os 25 estereoisômeros contidos no α-tocoferol sintético não são mantidos no sangue.
[e] DL-α-tocoferol-all-rac-(racêmico) α-tocoferol = vitamina E sintética; todos rac-α-tocoferol = RRR-, RRS-, RSR-, RSS-, SSS, SRS-, SSR- e SRR-isômeros de α-tocoferol.
F D-α-tocoferol = RRR-α-tocoferol = vitamina E natural.

Roeber et al. (2001) avaliaram os níveis de acetato de α-tocoferol em bifes do traseiro, bisteca e carne moída de bovinos em terminação que foram suplementados com 500 e 1000 UI/dia de acetato de α-tocoferol durante a exposição em prateleiras comerciais. A suplementação dietética de acetato de α-tocoferol na dose de 1.000 UI/dia assegurou

uma vida de prateleira melhor para bisteca em comparação com a suplementação de 500 IU/dia. Além disso, cortes classificados como contendo alta concentração de α-tocoferol apresentaram maior vida de prateleira (aumentada em 10,7 e 4,0 h para os bifes e carne moída, respectivamente). Assim, esses resultados sugerem uma relação entre as concentrações de α-tocoferol e a vida de prateleira da carne moída e bifes. Em contraste, Pereira (2002) não observou efeito da suplementação com α-tocoferol acetato (1.000 mg/dia) sobre as características químicas e físico-químicas da carne de machos não castrados Nelore em terminação. No entanto, a vida de prateleira não foi determinada neste estudo. Segundo Acedo et al. (2018), os efeitos benéficos da suplementação de vitamina E sobre a vida de prateleira de cortes cárneos estão relacionados à redução da oxidação da mioglobina e de sua conversão em metamioglobina, responsável por conferir a cor marrom/vermelho escuro à carne; e a redução da oxidação lipídica (efeito antioxidante).

Secrist et al. (1997) realizaram uma extensa revisão de literatura sobre os efeitos da suplementação de vitamina E no desempenho produtivo de bovinos de corte. Os autores resumiram 21 estudos e concluíram que a suplementação de vitamina E melhorou a taxa de ganho de peso e o PC final de bovinos confinados. Além disso, este estudo mostrou que a suplementação de vitamina E para bovinos de corte durante os primeiros dias de confinamento (período estressante devido ao transporte e adaptação a um novo ambiente) tendeu a melhorar a eficiência alimentar. Além disso, os autores relataram que a suplementação de vitamina E afetou positivamente o sistema imunológico dos bovinos, aumentando a resposta imune a doenças e patógenos, bem como a outros distúrbios que surgem no início do período de confinamento. Consequentemente, esses resultados sugerem que a vitamina E pode estar, em termos gerais, em um nível abaixo do ideal em dietas de confinamento, pois sua suplementação promoveu uma melhora geral no desempenho de bovinos confinados (Secrist et al., 1997). Portanto, quando uma quantidade adequada de vitamina E não é fornecida na dieta, o desempenho animal pode ser prejudicado.

Vitamina K

Vitamina K é um termo genérico utilizado para caracterizar um grupo homólogo de vitaminas lipossolúveis, constituído por uma 2-metil-1,4-naftoquinona, com vários isômeros de natureza e comprimento de cadeia lateral diferentes, com efeitos anti-hemorrágicos (NASEM, 2016). Além disso, existem alguns relatos na literatura que descreveram uma relação entre a vitamina K e algumas proteínas dependentes de vitamina K (proteínas C, S, Z e M), sugerindo outras funções além de sua ação coagulante. As proteínas C e S desempenham um papel anticoagulante em vez de pró-coagulante na hemostasia normal (Stenflo, 1999), e também estão envolvidas na regulação da renovação óssea (Binkley e Suttie, 1995). As funções das proteínas M e Z ainda são desconhecidas.

As formas de vitamina K podem ser agrupadas em: filoquinona (K_1), menaquinonas (K_2) e menadionas (K). A filoquinona e as menaquinonas são formas naturais da vitamina K. A filoquinona é extraída de plantas (cloroplastos) e apresenta uma cadeia lateral fitil composta por quatro unidades de isopreno. A menaquinona é sintetizada por bactérias a partir de compostos contendo vitamina K ativa via fermentação. Esta forma de vitamina K apresenta ligações duplas que se sucedem periodicamente. A menadiona sintética (K) possui um núcleo ativo (2-metil-1,4-naftoquinona) e não possui cadeia lateral. Geralmente é usado como vitamina K suplementar (Dôres et al., 2001).

A filoquinona e a menaquinona têm atividade biológica semelhante no processo de coagulação do sangue. No entanto, a atividade das menadionas e seus derivados depende do grau de estabilidade do produto sintético; e geralmente são menos eficazes que a filoquinona em substâncias antagonistas (sulfaquinoxalina, dicumarol, varfarina ou actinomicina D; McDowell, 2000).

A vitamina K_2 é sintetizada em grandes quantidades pelas bactérias do rúmen (Berchielli et al., 2006). Assim, as exigências de vitamina K de ruminantes são atendidas por uma combinação de sua ingestão e biossíntese

microbiana ruminal e intestinal, que pode envolver microrganismos intestinais como a *Escherichia coli*. Ainda, os ruminantes podem absorver quantidades consideráveis de vitamina K sintetizada no rúmen e intestino delgado por meio de transporte ativo (Mendonça Júnior et al., 2010). De acordo com McDowell (2000), os machos são mais suscetíveis à deficiência de vitamina K na dieta do que as fêmeas, aparentemente devido ao estímulo do estrogênio na absorção da filoquinona.

AVALIAÇÃO PRÁTICA DA SUPLEMENTAÇÃO VITAMÍNICA EM DIETAS DE BOVINOS DE CORTE

Dois estudos foram conduzidos concomitantemente para avaliar os efeitos da suplementação vitamínica sobre o metabolismo (Estudo 1) e desempenho produtivo (Estudo 2) de bovinos de corte em condições brasileiras. Para isso, o consumo de alimentos, a digestibilidade dos nutrientes e os parâmetros ruminais de bovinos Nelore alimentados com dietas contendo diferentes suplementos vitamínicos foram avaliados no Estudo 1 (Silva et al., 2022). No estudo 2, foram avaliados os efeitos de diferentes suplementos sobre o consumo de alimentos, GMD e eficiência alimentar de machos não castrados Nelore (Andrade, 2022).

Em ambos os estudos, os animais foram alimentados com uma dieta basal composta por 30% de silagem de milho e 70% de concentrado (na base da MS) em esquema fatorial 2 × 2. Os fatores consistiram em dois níveis de suplementação de um *blend* de vitaminas lipossolúveis (A, D e E; ADE- ou ADE+) e dois níveis de suplementação de um *blend* de vitaminas do complexo B (biotina, niacina e tiamina; B-blend- ou B-blend+). Assim, os tratamentos avaliados consistiram em não suplementação vitamínica (ADE− B-blend−), suplementação com *blend* de vitaminas do complexo B (ADE− B-blend+), suplementação com *blend* de vitaminas lipossolúveis (ADE+ B-blend−), ou suplementação com uma combinação dessas duas misturas (ADE+ B-blend+). Os *blends* foram incluídos no concentrado e os níveis de suplementação vitamínica na dieta foram: 3,3 mg/kg MS de biotina (D-biotina), 111,1 mg/kg MS de niacina (niacina), 28,9 mg/kg MS de tiamina (cloridrato de tiamina), 6666,7 UI/kg MS de vitamina A (acetato de retinil), 5111,1 UI/kg MS de vitamina D (13% D3-Colecalciferol e 87% 25-Hidroxivitamina D3 - Hy-D®), e 70 UI/kg MS de vitamina E (DL-alfa-tocoferol acetato).

Estudo 1

Neste estudo, quatro machos Nelore não castrados fistulados no rúmen (idade = 8 ± 1.0 meses; PC inicial = 289 ± 11,2 kg) foram distribuídos em um delineamento em quadrado latino 4 × 4, com quatro tratamentos (diferentes suplementações vitamínicas) e quatro períodos. O experimento teve duração de 100 dias, com quatro períodos de 25 dias. Cada período consistiu de 14 dias para adaptação às dietas, 5 dias para coleta de fezes e urina, 3 dias para coleta de digesta omasal e ruminal e 3 dias para esvaziamento ruminal. Os principais resultados são descritos abaixo. Mais detalhes podem ser obtidos em Silva et al. (2022).

Os consumos de MS e de nutrientes, bem como a digestibilidade ruminal não foram afetados ($P \geq 0,072$) por nenhuma das suplementações vitamínicas (Tabela 15.3). A digestibilidade aparente do trato total da MS, matéria orgânica (MO) e fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteínas (FDNcp) não foi influenciada pelas dietas experimentais ($P > 0,114$). No entanto, um aumento na digestibilidade do trato total do amido foi verificado com a suplementação de vitaminas ADE ($P = 0,031$)

Tabela 15.3 - Consumo de matéria seca e de nutrientes, digestibilidade aparente ruminal e total de machos Nelore não castrados recebendo dietas com ou sem suplementação de *blends* vitamínicos

Item	Dietas experimentais[1]				EPM[2]	*P*-valor		
	ADE⁻		ADE⁺			B-blend	ADE	B-blend × ADE
	B-blend⁻	B-blend⁺	B- blend⁻	B-blend⁺				
Consumo (kg/dia)								
Matéria seca	7,3	7,2	7,3	6,7	0,54	0,312	0,545	0,558
Matéria orgânica	7,1	6,9	7,0	6,5	0,53	0,326	0,539	0,570
FDNcp[3]	1,5	1,5	1,5	1,4	0,12	0,301	0,630	0,765
Amido	3,7	3,6	3,6	3,3	0,29	0,331	0,465	0,549
Consumo (g/kg PC)								
Matéria seca	22,1	21,2	21,9	20,0	0,94	0,175	0,448	0,578
Digestibilidade ruminal (g/kg)								
Matéria seca	418,8	401,7	398,9	433,4	27,23	0,577	0,705	0,132
Matéria orgânica	494,7	477,2	475,4	510,4	23,35	0,557	0,637	0,111
FDNcp[3]	313,2	301,4	278,4	364,6	27,12	0,149	0,549	0,071
Amido	842,0	852,4	841,1	862,3	16,26	0,273	0,744	0,694
Digestibilidade aparente total (g/kg)								
Matéria seca	690,8	706,1	693,4	725,4	15,42	0,062	0,331	0,450
Matéria orgânica	707,6	720,5	707,4	742,2	15,04	0,056	0,327	0,322
FDNcp[3]	512,0	500,3	497,5	551,1	24,70	0,281	0,345	0,114
Amido	876,4	897,3	907,8	918,9	12,30	0,141	0,031	0,625

[a–b]Valores médios na mesma linha com letras diferentes são estatisticamente diferentes. [1] ADE⁻ = sem suplementação com vitaminas lipossolúveis (ADE); ADE⁺= dieta suplementada com *blend* de vitaminas lipossolúveis (ADE), B-blend⁻ = sem suplementação com vitaminas do complexo B (biotina, niacina e tiamina), B-blend⁺= dieta suplementada com *blend* de vitaminas do complexo B (biotina, niacina e tiamina).[2]Erro padrão da média. [3]Fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína.

As concentrações individuais e totais de AGV (% molar), assim como as concentrações de lactato não foram influenciadas (P ≥ 0,133) pela suplementação vitamínica (Tabela 15.4). Os animais suplementados com a combinação de ADE e B-blend apresentaram menores concentrações ruminais de NH_3-N (P=0,008). A suplementação vitamínica de B-*blend* diminuiu o pH ruminal (P = 0,003). Além disso, as concentrações séricas de 25-hidroxivitamina D (25(OH)D) foram maiores (P<0,01), com valores médios de 38,7 e 31,5 (ng/mL), respectivamente, nos animais recebendo suplementação de ADE e ADE+B-*blend* (Figura 15.1).

Tabela 15.4 - Efeito da suplementação vitamínica sobre o pH ruminal e as concentrações de NH_3-N, AGV e lactato em machos Nelore não castrados

Item	Dietas experimentais[1]				EPM[2]	*P*-valor		
	ADE⁻		ADE⁺			B-blend	ADE	B-blend × ADE
	B-blend ⁻	B-blend ⁺	B-blend ⁻	B-blend ⁺				
pH ruminal	6,1	5,8	6,0	5,9	0,27	0,003	0,679	0,24
NH_3-N ruminal, mg/dL	11,8 [a]	9,3 [b]	9,7 [b]	10,0 [b]	1,38	0,058	0,205	0,008
AGV totais, mmol/L	94,7	97,8	92,9	88,8	6,75	0,907	0,215	0,396
Individual, mmol/100mmol								
Lactato	4,8	4,5	4,2	4,2	0,40	0,768	0,341	0,749
Acetato	63,6	63,2	64,5	66,5	1,50	0,485	0,106	0,318
Propionato	21,5	23,6	22,0	19,9	1,27	0,972	0,174	0,091
Butirato	10,2	8,7	9,3	9,4	0,50	0,198	0,917	0,137
Relação A:P	3,1	2,8	3,2	4,1	0,52	0,423	0,136	0,180

[a–b]Valores médios na mesma linha com letras diferentes são estatisticamente diferentes. [1] ADE⁻ = sem suplementação com vitaminas lipossolúveis (ADE); ADE⁺= dieta suplementada com *blend* de vitaminas lipossolúveis (ADE), B-blend⁻ = sem suplementação com vitaminas do complexo B (biotina, niacina e tiamina), B-blend⁺= dieta suplementada com *blend* de vitaminas do complexo B (biotina, niacina e tiamina).[2]Erro padrão da média.

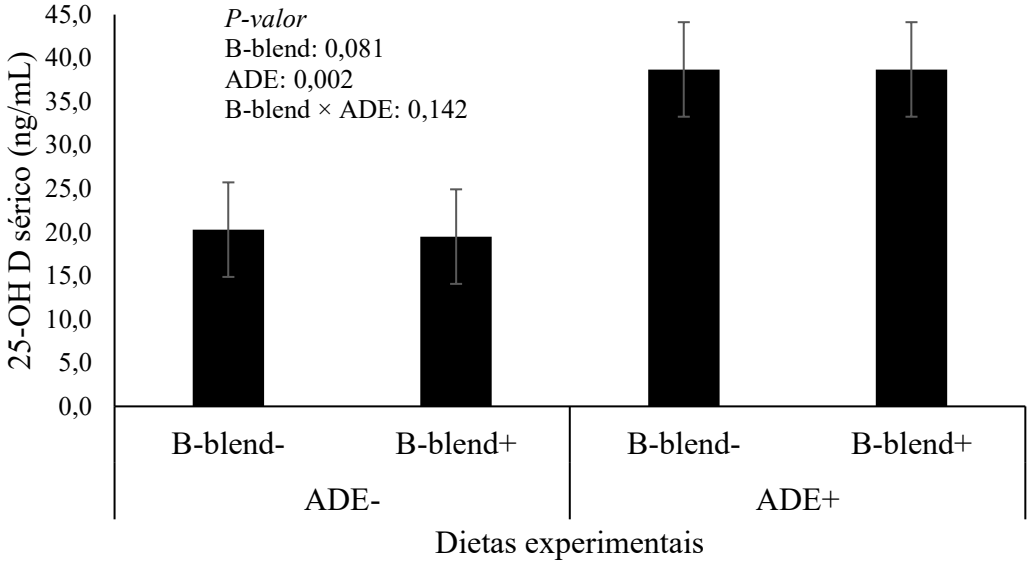


Figura 15.1 - Concentrações séricas de 25-hidroxivitamina D [25 (OH) D] em machos Nelore não castrados recebendo dietas com ou sem suplementação vitamínica. ADE- = sem suplementação com vitaminas lipossolúveis (ADE); ADE+= dieta suplementada com *blend* de vitaminas lipossolúveis (ADE), B-*blend*- = sem suplementação com vitaminas do complexo B (biotina, niacina e tiamina), B-*blend*+= dieta suplementada com *blend* de vitaminas do complexo B (biotina, niacina e tiamina).

Assim, este estudo demonstrou que a suplementação de machos Nelore não castrados com *blends* de vitaminas lipossolúveis (ADE) em dietas com alto teor de concentrado nas condições brasileiras aumentou a digestibilidade aparente total do amido. Ainda, a suplementação de machos Nelore não castrados com *blends* de vitaminas contendo 25(OH)D_3 foi uma estratégia bem-sucedida para aumentar as concentrações circulantes de 25(OH)D.

Estudo 2

Neste estudo, foram utilizados 45 machos Nelore não castrados (idade = 8 ± 1 ,0 meses; PC inicial = 261 ± 27,3 kg). Cinco animais foram abatidos ao início do experimento (REF), para determinação do peso de corpo vazio (PCVZ) inicial dos animais que permaneceram no experimento. Os 40 animais restantes foram distribuídos aleatoriamente em 4 grupos de 10 animais cada. Os quatro tratamentos descritos anteriormente foram aleatoriamente designados para cada grupo. O experimento teve duração de 140 dias. Os consumos de MS (P>0,05) e MO (CMO) não foram influenciados (P>0,05) pelas dietas experimentais (Figura 15.2; A e B).

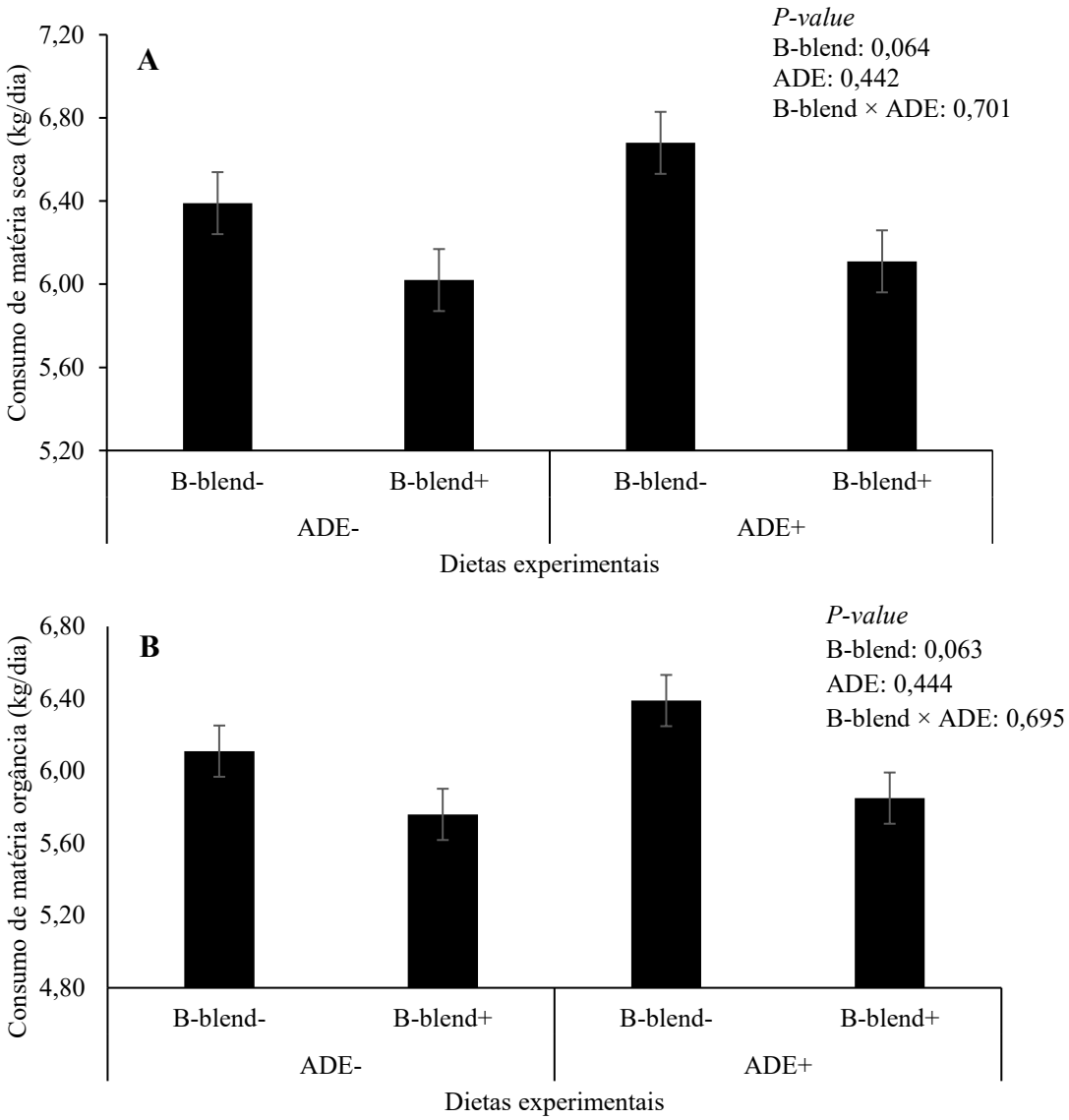


Figura 15.2 - Efeito da suplementação com *blends* de vitaminas lipossolúveis e/ou hidrossolúveis sobre o consumo de matéria seca (A) e de matéria orgânica (B) de machos Nelore não castrados. ADE- = sem suplementação com vitaminas lipossolúveis (ADE); ADE+= dieta suplementada com blend de vitaminas lipossolúveis (ADE), B-*blend*- = sem suplementação com vitaminas do complexo B (biotina, niacina e tiamina), B-*blend*+= dieta suplementada com *blend* de vitaminas do complexo B (biotina, niacina e tiamina).

Não foi observado efeito (P>0,05) da suplementação vitamínica sobre o peso corporal final (PCf), PCVZ final (PCVZf), GMD, ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ), peso de carcaça fria (PCF), peso de carcaça quente (PCQ), espessura de gordura subcutânea (EGS), comprimento de carcaça (COC), área de olho de lombo (AOL) e rendimento de carcaça quente (RCQ; Tabela 15.5). Assim, não foram observados benefícios da suplementação de *blends* de vitaminas hidrossolúveis (B-*blend*) e/ou lipossolúveis (ADE-*blend*) sobre CMS, CMO, desempenho produtivo e características de carcaça de machos Nelore não castrados recebendo dietas ricas em grãos em confinamentos brasileiros.

Mais pesquisas são necessárias em relação à suplementação vitamínica em dietas de confinamento. Assim, o comitê da atual edição do BR-CORTE sugere a utilização dos valores de exigências de vitaminas para bovinos de corte recomendados pelo NASEM (2016) e OVN (2016), apresentados na Tabela 15.6.

Tabela 15.5 - Efeito da suplementação vitamínica sobre o desempenho animal e características de carcaça de machos Nelore não castrados

Item[1]	REF	Dietas Experimentais[2]				EPM[3]	P-valor		
		ADE-		ADE+			B-*blend*	ADE	B-*blend* × ADE
		B-*blend*-	B-*blend*+	B-*blend*-	B-*blend*+				
Nº de animais	5	9	10	9	10	-	-	-	-
PCf (kg)	261	445	422	446	427	12,3	0,104	0,800	0,875
PCVZf (kg)	234	408	386	410	390	11,7	0,089	0,811	0,962
GMD (kg/dia)	-	1,25	1,14	1,26	1,19	0,054	0,120	0,608	0,693
GPCVZ (kg/dia)	-	1,19	1,08	1,20	1,12	0,050	0,075	0,624	0,834
PCF (kg)	-	258	244	259	247	8,1	0,131	0,823	0,882
PCQ (kg)	155	268	256	266	258	7,9	0,211	0,995	0,824
EGS (mm)	-	7,16	6,58	6,33	6,34	0,768	0,717	0,502	0,711
COC (cm)	-	127	126	126	125	1,8	0,523	0,564	0,978
AOL (cm^2)	55,9	75,8	73,2	77,1	75,8	2,44	0,449	0,441	0,792
RCQ (%)	-	60,3	60,7	59,8	60,4	0,52	0,336	0,437	0,842

[1]PCf = Peso corporal médio final; PCVZf = Peso de corpo vazio final; GMD = Ganho médio diário; GPCVZ = Ganho de peso de corpo vazio; PCF = Peso de carcaça fria; PCQ = Peso de carcaça quente; EGS = Espessura de gordura subcutânea; COC = Comprimento de Carcaça; AOL = Área de olho de lombo; RCQ = Rendimento de carcaça quente.

[2]REF = grupo referência, animais referências foram usados para estimar o peso de corpo vazio inicial, carcaça, não-carcaça e composição corporal dos demais animais experimentais. Eles não foram incluídos na análise estatística; (ADE-/B-blend-) = suplementação mineral sem vitaminas; (ADE-/B-blend+) = suplementação mineral com vitaminas do complexo B (Tiamina = 28,9 mg/kg MS , Niacina = 111,1 mg/kg MS e Biotina = 3,3 mg/kg MS); (ADE+/B-blend-) = suplementação mineral com vitaminas lipossolúveis (A = 6.666,7 UI/Kg MS, D = 5.111,1 UI/Kg MS (13% D3 e 87% Hy-D®) e E = 70 UI/Kg MS); (ADE+/B-blend+) = suplementação mineral com vitaminas do complexo B (Tiamina = 28,9 mg/kg MS , Niacina = 111,1 mg/kg MS e Biotina = 3,3 mg/kg MS) e vitaminas lipossolúveis (A = 6.666,7 UI/Kg MS, D = 5.111,1 UI/Kg MS (13% D3 e 87% Hy-D®) e E = 70 UI/Kg MS).

[3]O erro padrão da média para os tratamentos CTRL e Vit ADE são: PCf = 13,0; PCVZf = 12,3; GMD = 0,057; GPCVZ = 0,052; PCF = 8,5; PCQ = 8,3; EGS = 0,809; COC = 1,8 ; AOL = 2,57 ; RCQ = 0,54.

TABELAS DE EXIGÊNCIAS DE VITAMINAS (NASEM, 2016 e OVN, 2016)

Na Tabela 15.6, estão apresentadas as principais recomendações de vitaminas para bovinos de corte em diferentes fases, descritas pelo NASEM (2016) e OVN (2016).

Tabela 15.6 - Exigências de vitaminas lipossolúveis e hidrossolúveis para bovinos de corte de acordo com NASEM (2016) e OVN (2016)

		Categoria/Fase					
Vitaminas	Tabelas Referencias	[1]Bezerros (0-3 meses)	[2]Crescimento	[2]Terminação e Engorda	[2]Vacas e novilhas prenhas	[2]Vacas e novilhas lactantes	[2]Cruzados
A[3]	OVN-DSM 2016 (UI/dia)	20000-32000	25000-50000	40000-80000	40000-70000	40000-70000	50000-80000
	NASEM- 2016 (UI/ Kg MS)	-	2200	2200	2800	3900	3900
B-caroteno	OVN-DSM 2016 (mg/dia)	100	-	-	300-500	300-500	-
D[3]	OVN-DSM 2016 (UI/dia)	1400-1800	6000-90000	5000-70000	5000-10000	5000-10000	5000-10000
	NASEM- 2016 (UI/ Kg MS)	-	275	275	-	-	-
E	OVN-DSM 2016 (mg/dia)	100-150	200-300	500-2000[4]	300-500	300-500	300-500
	NASEM- 2016 (UI/ Kg MSI)	15-60	25-35[5]	25-35[5]	-	-	-
Tiamina	OVN-DSM 2016 (mg/dia)	2.5-5	60-250[6]	60-250[6]	-	-	-
Biotina	OVN-DSM 2016(mg/dia)	0.05-0.10	10-20[7]	10-20[7]	20	20	20

[1] Adicionado por kg de sucedâneo em pó; [2] Quantidade suplementar por animal por dia; [3] Quantidade suplementar por animal por dia; [4]Nível superior para maior vida útil da cor, 100 a 120 dias antes do abate;[5]5400-500 UI/ dia para bezerros estressados recém-recebidos no confinamento; [6]Nível superior para bovinos com dietas de alto concentrado; [7]Para uma ótima saúde do casco e marmoreio da carne.

REFERÊNCIAS

Abel, H. J.; Immig, I.; Da Costa Gomez, C.; Steinberg,W. Effect of increasing dietary concentrate levels on microbial biotin metabolism in the artificial rumen simulation system (RUSITEC). *Archives of Animal Nutrition*. 55:371–376, 2001.

Acedo, T. S., V. N. Gouvêa, e G. de S. F. M. Vasconcellos. 2018. Suplementação vitamínica para bovinos de corte: bases científicas e benefícios produtivos. Em: *Anais do XI Simpósio de Produção de Gado de Corte* - SIMCORTE. Scienza, Viçosa-MG. p. 71–546. Available from: http://editorascienza.com.br/pdfs/doi/palestras_xi_simcorte.pdf.

Ahmadian, M.; Bouyeh ; Seidavi, A.R. *A review of the effects of niacin on broiler productivity, World's Poultry Science Journal,* 77:3, 589-604, 2021.

Andriguetto, J. M., e L. Perly. 1994. *Nutrição Animal: bases e fundamentos*. NBL Editora.

Andrade, D.R. *Desempenho e exigências nutricionais de bovinos alimentados com dietas contendo diferentes blends vitamínicos*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2021.

Alosilla, C. E.; Mcdowell, L. R.; Wilkinson, N. S.; Staples, C. R.; Thatcher, W. W.; Martin, F. G.; Blair, M. Bioavailability of vitamin A sources for cattle. *Journal of Animal Science*, 85:1235–1238, 2007.

Amaral, B. C. do; Souza, J. C. de; Bertechini, A. G.; Viveiros, A. T. de M.; Teixeira, J. C.; Arantes, A. F. A. Efeito de diferentes dosagens de vitamina A injetável na produção e qualidade de embriões bovinos da raça Nelore. *Ciência e Agrotecnologia*, 28:662–667, 2004.

Akhtar, S.; Anjum, F.M.; Anjum, M.A. Micronutrient fortification of wheat flour: Recent development and strategies. *Food Research International*, 44:652-659, 2011.

Ammerman, C.B.; Baker, D.H.; Lewis, A.J. *Bioavailability of nutrients for animals: amino acids, minerals, and vitamins.* San Diego: Academic Press. xiv; p. 441, 1995.

Aragón, J. R. 2018. *Respuesta productiva, costos de producción, calidad de la canal y de la carne de toretes suplementados con difosfato de tiamina y β- agonistas.* Universidad Autónoma Chapingo. Available from: http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf.

Aschenbach, J. R., Zebeli, Q., Patra, A. K., Greco, G., Amasheh, S., & Penner, G. B. (2019). Symposium review: The importance of the ruminal epithelial barrier for a healthy and productive cow. *Journal of dairy science*, 102(2), 1866-1882.

Baldi, A. and Pinotti, L. Choline metabolism in high-producing dairy cows: Metabolic and nutritional basis. *Canadian Journal of Animal Science*, 86:207-212, 2006.

Baldwin, R. L., and Allison, M. J. Rumen metabolism. *Journal of Animal Sciences*. 57(2):461-477, 1983.

Ball, G. F. M. 2004. *Vitamins: their role in the human body*. London: Blackwell Publishing.

Ball, G. F. M. 2006. *Vitamins in foods: analysis, bioavailability and stability*. (Taylor & Francis Group. LLC, editor.). Boca Raton, FL, EUA.

Ballet, N., J. C. Robert, e P. E. V Williams. 2000. *Vitamins in Forages Vitamin Requirements of Ruminants*. 19:399–431.

Bässler, K. H. ., I. . Golly, D. . Loew, e K. Pietrzik. 2002. *Vitamin-Lexikon fu¨r A¨ rzte, Apotheker und Erna¨hrungswissenschaftler*,. 3rd ed. (Urban & Fischer, editor.). München and Jena.

Beaudet, V.; Gervais, R.; Graulet, B.; Nozière, P.; Doreau, M.; Fanchone, A.; Castagnino, D. D. S.; Girard, C. L. Effects of dietary nitrogen levels and carbohydrate sources on apparent ruminal synthesis of some B vitamins in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99(4):2730–2739, 2016.

Bendich, A. Physiological role of antioxidants in the immune system. *Journal of Dairy Science*, 76: 2789, 1993.

Berdanier, C. D.; Berdanier, L. A.; Zempleni, J. *Advanced nutrition: macronutrients, micronutrients, and metabolism*. CRC press, 2008.

Berchielli, T. T., A. V. Pires, e S. G. Oliveira. 2006. *Nutrição de Ruminantes*. 636.2085. FUNEP, Jaboticabal, São Paulo.

Binkley, N. C., e J. W. Suttie. 1995. Vitamin K nutrition and osteoporosis. *Journal of Nutrition*. 125:1812–1821.

Bindel, D. J.; Drouillard, J. S.; Titgemeyer, E. C.; Wessels, R. H.; Löest, C. A. Effects of ruminally protected choline and dietary fat on performance and blood metabolites of finishing heifers. *Journal of Animal Science*, 78(10):2497–2503, 2000.

Brent, B. E. 1976. Relationship of acidosis to other feedlot ailments. *Journal of Animal Science*. 43:930–935.

Brent, B. E., & Bartley, E. E. (1984). Thiamin and niacin in the rumen. *Journal of Animal Science*, *59*(3), 813-822.

Briggs, M. H.; Heard, T. W.; Whitcroft, A., and Hoog, M. L.: Studies on urea-fed cattle. II. Rumen levels of B vitamins and related coenzymes. *Life Science*. 3: 11-14 (1964).

Buckley, D. J., P. A. Morrissey, e J. I. Gray. 1995. Influence of dietary vitamin E on the oxidative stability and quality of pig meat. *Journal of animal science.* 73:3122–3130.

Byers, F. M. 1981. Another look at niacin. *Animal Nutrition Health.* 36 (6):36.

Bryant, T. C.; Wagner, J. J.; Tatum, J. D.; Galyean, M. L.; Anthony, R. V.; Engle, T. E. Effect of dietary supplemental vitamin A concentration on performance, carcass merit, serum metabolites, and lipogenic enzyme activity in yearling beef steers. *Journal of Animal Science*, 88: 1463–1478, 2010.

Campbell, J. R.; Greenough, P. R.; Petrie, L. The effects of dietary biotin supplementation on vertical fissures of the claw wall in beef cattle. *Canadian Veterinary Journal*, 41(9):690–694, 2000.

Castro, L. C. G. de. 2011. O sistema endocrinológico vitamina D. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia*. 55:566–575.

Casals, R., and Calsamiglia, S. Optimum vitamin nutrition in beef cattle. In: Linden, J. (Ed.), *Optimum Vitamin Nutrition in the Production of Quality Animal Foods*. 5M Publishing, Shefield, United Kingdom, p. 309–333. 2012.

Castagnino, D. S.; Seck, M.; Beaudet, V.; Kammes, K. L.; Linton, J. A. V.; Allen, M. S.; Gervais, R.; Chouinard, P. Y.; Girard, C. L. Effects of forage family on apparent ruminal synthesis of B vitamins in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99:1884–1894, 2016.

Chen, B.; Wang, C.; Liu, J.X. Effects of dietary biotin supplementation on performance and hoof quality of Chinese Holstein dairy cows. *Livestock Science*. 148:168–173, 2012.

Chen, B.; Wang, C.; Wang, Y. M.; Liu, J. X. Effect of biotin on milk performance of dairy cattle: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 94: 3537–3546, 2011.

Chen, Y. F.; Huang, C. F.; Liu, L.; Lai, C. H.; Wang, F. L. Concentration of vitamins in the 13 feed ingredients commonly used in pig diets. *Animal Feed Science and Technology*, 247:1–8, 2019.

Clemmons, B. A.; Powers, J. B.; Campagna, S. R.; Seay, T. B.; Embree, M. M.; Myer, P. R. Rumen fluid metabolomics of beef steers differing in feed efficiency. *Metabolomics*, 16: 1–9, 2020.

Coelho, M. Vitamin stability in premixes and feeds a practical approach in ruminant diets. 13th *Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium*, 2002.

Cummins, K. A. and C. J. Brunner. Effect of calf housing on plasma ascorbate and endocrine and immune function. *Journal of Dairy Science*. 74:1582-1588. 1991.

Cunha, S., V. Lúcia, C. Bastos, C. Bastos, J. B. Salles, C. Martins, C. Salles, M. Cristina, R. A. Dias, L. M. De Lima, e C. A. Mandarim-de-lacerda. 2006. *Nível de Tiamina no Miocárdio, Área Transversa e Número de Núcleos de Cardiomiócitos de Ratos em uso de Furosemida.* 87:195–200.

Da Costa Gomez, C.; Masri, M. A.; Steinberg, W.; Abel, H. Effect of varying hay/barley-proportions on microbial biotin metabolism in the rumen simulating fermenter Rusitec. In: *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*, 7:30 (Abstr.). 1998.

De Silva, L.A.F.; Amhold, E.; Rabelo, R.E.; de Freitas, S.L.R.; Buso, B.L.S.; Rodrigues, D.F.; Assis, B.M. Comparative study of biotin supplementation on weight gain and occurrence of digital diseases in cattle (Bos taurus x Bos indicus). *Revista Brasileira De Ciência Veterinária,* 25:6–12, 2018.

Dôres, S. M. C. das, S. A. R. de Paiva, e Á. O. Campana. 2001. Vitamina K: Metabolismo e nutrição. *Revista de Nutrição*. 14:207–218.

Drouillard, J. S., A. S. Flake, and G. L. Kuhl. 1998. *Effects of added fat, degradable intake protein, and ruminally protected choline in diets of finishing steers.* Cattlemen's Day Rep. Prog. 804. Kansas Agric. Exp. Sta., Manhattan. pp 71−75.

Ebtehag, I. M. A.-E., A. A. Abdou, W. A. Riad, e M. R. M. Mostafa. 2016. Effect of dietary niacin and/or thiamin supplementations on growth and fattening performance of buffalo calves. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds.* 19:415–425.

Enjalbert F.; Micot, M.C.; Packington, A.J. Effects of per partum biotin supplementation of dairy cows on milk production and milk composition with emphasis on fatty acids profile. *Livestock Science*, 114: 287-295, 2008.

Fedosov, S. N. 2012. *Physiological and Molecular Aspects of Cobalamin Transport*. Em: p. 347–367. Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-2199-9_18

Finlayson, H. J., e R. C. Seeley. 1983. The synthesis and absorption of pantothenic acid in the gastrointestinal tract of the adult sheep. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 34:427–432.

Flachowsky, G. 1993. Niacin in dairy and beef cattle nutrition. *Archiv für Tierernährung*. 43:195–213.

Ford, J. E., K. D. Perry, e C. A. Briggs. 1958. Nutrition of lactic acid bacteria isolated from the rumen. *Journal of general microbiology*. 18:273–284.

Girard, C. L., & Matte, J. J. (1998). Dietary supplements of folic acid during lactation: effects on the performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 81(5), 1412-1419.

González-Montaña, J. R., F. Escalera-Valente, A. J. Alonso, J. M. Lomillos, R. Robles, e M. E. Alonso. 2020. Relationship between vitamin b12 and cobalt metabolism in domestic ruminant: An update. *Animals*. 10:1–36.

Gonzalez-Rivas, P. A., M. Chambers, e J. Liu. 2021. A pilot study comparing the pharmacokinetics of injectable cyanocobalamin and hydroxocobalamin associated with a trace mineral injection in cattle. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics.* 44:406–410.

González, F. H. D., e S. C. Silva. 2019. *Minerais e vitaminas no metabolismo animal*. Available from: https://www.ufrgs.br/lacvet/site/wp-content/uploads/2019/06/miner_vitam2019.pdf

Gorocica-Buenfil, M. A.; Fluharty, F. L.; Bohn, T.; Schwartz, S. J.; Loerch, S. C. Effect of low vitamin A diets with high-moisture or dry corn on marbling and adipose tissue fatty acid composition of beef steers. *Journal of Animal Science,* 85: 3355–3366, 2007.

Gorocica-Buenfil, M. A.; Fluharty, F. L.; Loerch, S. C. Effect of vitamin a restriction on carcass characteristics and immune status of beef steers. *Journal of Animal Science*, 86: 1609–1616, 2008.

Gorocica-Buenfil, M. A.; Fluharty, F. L.; Reynolds, C. K.; Loerch, S. C. Effect of dietary vitamin A concentration and roasted soybean inclusion on marbling, adipose cellularity, and fatty acid composition of beef. *Journal of Animal Science*, 85: 2230–2242, 2007a.

Gorocica-Buenfil, M. A.; Fluharty, F. L.; Reynolds, C. K.; Loerch, S. C. Effect of dietary vitamin A restriction on marbling and conjugated linoleic acid content in Holstein steers. *Journal of Animal Science*, 85: 2243–2255, 2007b.

Gouvêa, V. N. de; Colli, M. H. A.; Junior, W. A. G.; Motta, J. C. L.; Acedo, T. S.; Vasconcellos, G. de S. F. M. de; Tamassia, L. F. M.; Elliff, F. M.; Mingoti, R. D.; Baruselli, P. S. The combination of β-carotene and vitamins improve the pregnancy rate at first fixed-time artificial insemination in grazing beef cows. *Livestock Science*, 217:30–36, 2018.

Habeeb, A. A., and Gad, A. E. Effect of biotin supplementation to the diet of pregnant goats on productive and reproductive traits and performance of their kids during suckling period. *Journal of Animal Sciences and Livestock Production*, 3:1, 2019.

Hayes, B. W., G. E. Mitchell, Jr., C. O. Little and N. W. Bradley. 1966. Concentrations of B-vitamins in ruminal fluid of steersfed different levels and physical forms of hay and grain. *Journal Animal Science.* 25:53.

Higuchi, H.; Maeda, T.; Kawai, K.; Kuwano, A; Kasamatsu, M.; Nagahata, H. Physiological changes in the concentrationsof biotin in the serum and milk and in the physical properties of the claw horn in Holstein cows. *Veterinary Research Communications*. 27:407–413, 2003.

Holick, M. F. (2007). Vitamin D deficiency. *New England journal of medicine,* 357(3), 266-281.

Insani, E. M., A. Eyherabide, G. Grigioni, A. M. Sancho, N. A. Pensel, e A. M. Descalzo. 2008. Oxidative stability and its relationship with natural antioxidants during refrigerated retail display of beef produced in Argentina. *Meat Science*. 79:444–452.

Karapinar, T., M. Dabak, e O. Kizil. 2010. Thiamine status of feedlot cattle fed a high-concentrate diet. *Canadian Veterinary Journal*. 51:1251–1253.

Jayaprakash, G.; Sathiyabarathi, M.; Robert, M. A.; Tamilmani, T. Rumen-protected choline: A significance effect on dairy cattle nutrition. *Veterinary World*, 9:837–841, 2016.

Kather, S., N. Grützner, P. H. Kook, F. Dengler, e R. M. Heilmann. 2020. Review of cobalamin status and disorders of cobalamin metabolism in dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 34:13–28.

Kon, S. K., e J. W. G. Porter. 1954. The Intestinal Synthesis of Vitamins in the Ruminant. *Vitamins and Hormones*. 12:53–68.

Knutson, E. E.; Menezes, A. C. B.; Sun, X.; Fontoura, A. B. P.; Liu, J. H.; Bauer, M. L.; Maddock-Carlin, K. R.; Swanson, K. C.; Ward, A. K. Effect of feeding a low-vitamin A diet on carcass and production characteristics of steers with a high or low propensity for marbling. *Animal*, 14(11):2308-2314, 2020.

Leda, F., A. Catharina, B. Suelen Gonçalves, F. Isabela Pereira, F. Vanessa Pires de, B. Antônio, e L. Patrícia de Fátima. 2018. Micronutrientes e sua importância no período gestacional. *Revista Saber Científico*. 7:68–82.

Lemire, J. M. 1992. Immunomodulatory role of 1,25-dihydroxyvitamin D3. *Journal of Cellular Biochemistry*. 49:26–31.

Lischer, C. J.; Hunkeler, A.; Geyer, H.; Ossent, P. *The effect of biotin in the treatment of uncomplicated claw lesions with exposed corium in dairy cows. Part II: The healing process in supplemented animals*. Page 31 IN: Proc. 9th Int. Symp. Disorders Ruminant Digit Int. Conf. Lameness Cattle. Koret School of Veterinary Medicine, Rehovot, Israel. 1996.

Liu, Y. J.; Chen, J. Z.; Wang, D. H.; Wu, M. J.; Zheng, C.; Wu, Z. Z.; Wang, C.; Liu, Q.; Zhang, J.; Guo, G.; Huo, W. J. Effects of guanidinoacetic acid and coated folic acid supplementation on growth performance, nutrient digestion, and hepatic gene expression in Angus bulls. *British Journal of Nutrition*, 126: 510 – 517, 2020.

Liu, Q., C. Wang, H. Q. Li, G. Guo, W. J. Huo, S. L. Zhang, Y. L. Zhang, C. A. Pei, e H. Wang. 2018. Effects of dietary protein level and rumen-protected pantothenate on nutrient digestibility, nitrogen balance, blood metabolites and growth performance in beef calves. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 27:202–210.

Li, H. Q., Q. Liu, C. Wang, G. Guo, W. J. Huo, S. L. Zhang, Y. L. Zhang, C. X. Pei, W. Z. Yang, e H. Wang. 2017. Effects of rumen-protected pantothenate on ruminal fermentation, microbial enzyme activity, cellulolytic bacteria and urinary excretion of purine derivatives in growing beef steers. *Livestock Science*. 202:159–165.

Luo, D., Y. Gao, Y. Lu, Q. Zhang, M. Qu, X. Xiong, L. Xu, X. Zhao, K. Pan, e K. Ouyang. 2019. Niacin supplementation improves growth performance and nutrient utilisation in chinese Jinjiang cattle. *Italian Journal of Animal Science.* 18:57–62.

Mansur, L. M. 2009. *Vitaminas Hidrossolúveis No Metabolismo.* Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1–12.

McCormick, D. B. *Vitamin B_6.* Present Knowledge in Nutrition,1: 269–277, 2006.

Mcdowell, L. R. Vitamin nutrition of livestock animals: Overview from vitamin discovery to today. *Canadian Journal of Animal Science*, 86(2):171–179, 2006.

McDowell, L. R. *Vitamins in animal and human nutrition.* Iowa State University Press, Ames. 2000.

McMahon, R. J. (2002). *Biotin in metabolism and molecular biology*. Annual review of nutrition, 22(1), 221-239.

Mendonça Júnior, A. F., A. P. Braga, A. P. M. dos S. Rodrigues, e L. E. M. Sales. 2010. *Vitaminas : uma abordagem prática de uso na alimentação de ruminantes.* Agropecuária Científica no Semi-Árido. 6:1–16. Available from: www.cstr.ufcg.edu.br/acsa

Miller, B. L.; Meiske, J. C.; Goodrich, R. D. Effects of grain source and concentrate level on B-vitamin production and absorption in steers. *Journal of Animal Science*. 62:473–483. 1986.

Miller, B. L., J. C. Meiske, e R. D. Goodrich. 1986. Effects of Dietary Additives on B-Vitamin Production and Absorption in Steers. *Journal of Animal Science*. 62:484–496.

Mir, P. S., T. A. McAllister, S. Zaman, S. D. Morgan Jones, M. L. He, J. L. Aalhus, L. E. Jeremiah, L. A. Goonewardene, R. J. Weselake, e Z. Mir. 2003. Effect of dietary sunflower oil and vitamin E on beef cattle performance, carcass characteristics and meat quality. *Canadian Journal of Animal Science*. 83:53–66.

Mohammed, N.; Onodera, R.; Itabashi, H.; Lila, Z. A. Effects of ionophores, vitamin B_6 and distiller's grains on in vitro tryptophan biosynthesis from indolepyruvic acid, and production of other related compounds by ruminal bacteria and protozoa. *Animal Feed Science and Technology*, 116(3–4): 301–311, 2004.

Mookerjea, S. *Action of choline in lipoprotein metabolism.* Federation Proceedings. 30:143–150, 1971.

Montgomery, J. L., F. C. Parrish, D. C. Beitz, R. L. Horst, E. J. Huff-Lonergan, e A. H. Trenkle. 2000. The use of vitamin D3 to improve beef tenderness. *Journal of Animal Science*. 78:2615–2621.

Morris, J. G. Vitamins in Animal and Human Nutrition: 2nd ed, by Lee Russell McDowell, 2000, Iowa State University Press, Ames, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 74: 413, 2001.

Mulling, C.; Bragulla, H. H.; Resse, S.; Budras, K. D.; Steinberg, W. How structures in bovine hoof epidermis are influenced by nutritional factors. *Anatomia, Histologia, Embryologia,* 28:103–108, 1999.

NASEM - National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Nutrient requirements of beef cattle.* 8th ed. Nutrient requirements of domestic animals. National Academy Press, Washington, DC. 2016.

Niehoff, I. D., L. Hüther, e P. Lebzien. 2009. Niacin for dairy cattle: A review. *British Journal of Nutrition.* 101:5–19.

NRC. 1984. *Nutrient Requirementsof Beef Cattle* (6th Ed.). National AcademyPress,Washington, DC.

NRC. National Research Council. 1979. *Nutrient Requirements of Swine*: Eighth revised edition, 1979. Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/19882.

NRC. National Research Council. 1998. *Nutrient Requirements of Swine:* 10th Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/6016.

NRC. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC. 2001.

Oka, A. Effects of vitamin A on beef quality and body weight of Japanese Black steers. *The Journal of animal genetics*, 24: 31-36, 1996.

Olson, J. A. *Vitamin A. In: Handbook of Vitamins*, 2nd ed. L. J. Machlin, ed. Marcel Dekker Inc., New York, NY. p.17–18, 1991.

OVN. *Optimun vitamin nutrition - vitamin suplementation guidelines for animal nutrition*- DSM. v. 12, p. 14, 2016.

Pan, X. H., L. Yang, Y. Beckers, F. G. Xue, Z. W. Tang, L. S. Jiang, e B. H. Xiong. 2017. Thiamine supplementation facilitates thiamine transporter expression in the rumen epithelium and attenuates high-grain-induced inflammation in low-yielding dairy cows. *Journal of Dairy Science.* 100:5329–5342.

Pan, X. H., L. Yang, F. G. Xue, H. R. Xin, L. S. Jiang, B. H. Xiong, e Y. Beckers. 2016. Relationship between thiamine and subacute ruminal acidosis induced by a high-grain diet in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 99:8790–8801.

Pehrson, B., J. Hakkarainen, M. Törnquist, K. Edfors, e C. Fossum. 1991. Effect of Vitamin E Supplementation on Weight Gain, Immune Competence, and Disease Incidence in Barley-Fed Beef Cattle. *Journal of Dairy Science*. 74:1054–1059.

Pereira, A. S. C. 2002. *Qualidade da carne de bovinos Nelore (Bos taurus indicus) suplementados com vitamina E.* Universidade de São Paulo.

Peng, D. Q.; Jo, Y. H.; Kim, S. J.; Kim, N. Y.; Nejad, J. G.; Lee, H. G. Oral vitamin A supplementation during neonatal stage enhances growth, pre-adipocyte and muscle development in Korean native calves. *Animal Feed Science and Technology*, 268:114609, 2020.

Peng, D. Q.; Smith, S. B.; Lee, H. G. Vitamin A regulates intramuscular adipose tissue and muscle development: promoting high-quality beef production. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12(1): 1–10, 2021.

Pickworth, C. L.; Loerch, S. C.; Kopec, R. E.; Schwartz, S. J.; Fluharty, F. L. Concentration of pro-vitamin A carotenoids in common beef cattle feedstuffs. *Journal of Animal Science,* 90(5): 1553–1561, 2012.

Pinotti, L.; Manoni, M.; Fumagalli, F.; Rovere, N.; Tretola, M.; Baldi, A. *The role of micronutrients in high-yielding dairy ruminants: Choline and vitamin E.* Ankara Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi, 67(2): 209–214, 2020.

Pinotti, L.; Paltanin, C.; Campagnoli, A.; Cavassini, P.; Dell'orto, V. Rumen protected choline supplementation in beef cattle: Effect on growth performance. *Italian Journal of Animal Science*, 8: 322–324, 2009.

Ragaller, V., P. Lebzien, K. H. Südekum, L. Hüther, e G. Flachowsky. 2011. Pantothenic acid in ruminant nutrition: A review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 95:6–16.

Roeber, D. L., K. E. Belk, J. D. Tatum, J. W. Wilson, e G. C. Smith. 2001. Effects of three levels of α-tocopheryl acetate supplementation to feedlot cattle on performance of beef cuts during retail display. *Journal of Animal Science.* 79:1814–1820.

Rode, L. M.; McAllister, T.A.; Cheng, K. J. Microbial degradation of vitamin A in rumen fluid of steers fed concentrate, hay, or straw diets. *Canadian Journal of Animal Science*, 70:227–233,1990.

Rodwell, V., P. Kennelly, D. Bender, P. Weil, e K. Botham. 2015. *Micronutrientes: vitaminas e minerais.* In Bender,. McGraw Hill Education., México.

Rosendo, O.; Staples, C. R.; McDowell, L. R.; McMahon, L. R.; Badinga, L.; Martin, F. G.; Shearer, F. G.; Seymour, J. F.; Wilkinson, W. M. Effects of biotin supplementation on peripartum perfor- mance and metabolites of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 87:2535– 2545, 2004.

Rowley, C. A., e M. M. Kendall. 2019. To B 12 or not to B 12 : Five questions on the role of cobalamin in host-microbial interactions. *PLoS Pathogens*. 15:6–11.

Santschi, D. E.; Berthiaume, R.; Matte, J. J.; Mustafa, A. F.; Girard, C. L. Fate of supplementary B-vitamins in the gastrointestinal tract of dairy cows. *Journal of Dairy Science,* 88, (6): 2043–2054, 2005.

Scherf, H., L. J. Machlin, T. M. Frye, B. A. Krautmann, e S. N. Williams. 1996. Vitamin E biopotency: Comparison of various 'natural-derived' and chemically synthesized α-tocopherols. *Animal Feed Science and Technology.* 59:115–126.

Schwab, E. C., and Shaver, R. D. *B-vitamin nutrition for dairy cattle.* In: Penn State Dairy Cattle Nutrition Workshop, Grantville. p. 1–10, 2005.

Schwab, E. C.; Schwab, C. G.; Shaver, R. D.; Girard, C. L.; Putnam, D. E.; Whitehouse, N. L. Dietary forage and nonfiber carbohydrate contents influence B-vitamin intake, duodenal flow, and apparent ruminal synthesis in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89(1):174–187, 2006.

Sharma, B.K., and Erdman, R.A. In vitro degradation of choline from selected feedstuffs and choline supplements. *Journal of Dairy Science*, 72: 2772-2776, 1989.

Secrist, D. S., F. N. Owens, D. R. Gill, L. J. Boyd, e J. E. Oldfield. 1997. Effects of Vitamin E on Performance of Feedlot Cattle: A Review. *Professional Animal Scientist*. 13:47–54. doi:10.15232/S1080-7446(15)31844-1.

Silva, J.T. *Effect of vitamin supplementation on the ingestive, digestive, and ruminal parameters of nellore cattle.* Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2020.

Silva, L. G. L.; Urzêda, M.; Ramos, G. M.; Castro, R. D. De; Santos, I. R. Dos; Santos, A. Da S.; Souza, W. J. de; *Reproductive characteristics of pre-pubertal bulls supplemented with vitamin A.* Research, Society and Development, 9, 2020.

Spears, J. W., e W. P. Weiss. 2014. Invited review: mineral and vitamin nutrition in ruminants. *Professional Animal Scientist.* 30:180–191.

Stenflo, J. 1999. *Contributions of Gla and EGF-Like Domains to the Function of Vitamin K-Dependent Coagulation Factors.* Critical Reviews in Eukaryotic Gene Expression. 9:59–88.

Toledo, G. S. de, P. Kloeckner, J. Lopes, e P. T. Costa. 2006. Níveis das vitaminas A e E em dietas de frangos de corte de 1 a 42 dias de idade. *Ciência Rural*. 36:624–629.

Underwood, E. J., e N. F. Suttle. 2002. Los *Minerales en la Alimentación del Ganado*. 3rd. versi. Acribia: Zaragoza, Spain.

Ullrey, D. E. Biological availability of fat-soluble vitamins: vitamin A and carotene. *Journal of animal science,* 35: 648–657, 1972.

Vasconcellos, G. S. F. M; Gonçales-Junior, W.A.; Colli, M. H.A; Gouvea, V. N.; Acedo, T.S.; Tamassia, L.M.; Mingoti, R.D.; Baruselli, P.S. PSXVII-8 Effects of β-carotene and vitamins in grazing Nellore multiparous cows submitted to fixed timed artificial insemination (FTAI). *Journal of Animal Science,* 96:450–450, 2018.

Vasconcellos, G. S. F. M; Gonçales-Junior, W.A.; Colli, M. H.A; Gouvea, V. N.; Acedo, T.S.; Tamassia, L.M.; Mingoti, R.D.; Baruselli, P.S. PSXVII-9 Effects of β-carotene and vitamins in grazing Nellore primiparous cows submitted to fixed timed artificial insemination (FTAI). *Journal of Animal Science*, 96: 450–451, 2018.

Völker, D., L. Hüther, G. Daş, e H. Abel. 2011. Pantothenic acid supplementation to support rumen microbes? *Archives of Animal Nutrition*. 65:163–173.

Wang, C.; Liu, Q.; Guo, G.; Huo, W.J.; Liang, Y.; Pei, C.X.; Zhang, S.L.; Yang, W.Z.; Wang, H. Effects of different dietary protein levels and rumen-protected folic acid on ruminal fermentation, degradability, bacterial populations and urinary excretion of purine derivatives in beef steers. *Journal of Agricultural Science,* 155:1477–1486, 2017.

Wang, C.; Liu, Q.; Guo, G.; Huo, W.J.; Ma, L.; Zhang, Y.L.; Pei, C.X.; Zhang, S.L.; Wang, H., Effects of dietary supplementation of rumen protected folic acid on rumen fermentation, degradability and excretion of urinary purine derivatives in growing steers. *Archives of Animal Nutrition,* 70: 441–454, 2016.

Weiss, W. P.; Zimmerly, C. A. *Effects of biotin on metabolism and milk yield of dairy cows*. in In: Proc. Cornell Nutrition Conf. Syracuse. Cornell Univ., Ithaca, NY. p. 22, 2000.

Wellmann, K. B.; Kim, J.; Urso, P. M.; Smith, Z. K.; Johnson, B. J. Evaluation of the dietary vitamin A requirement of finishing steers via systematic depletion and repletion, and its effects on performance and carcass characteristics. *Journal of Animal Science*, 98(9), 2020.

Wolin, M. J., T. L. Miller, e C. S. Stewart. 1997. Microbe-microbe interactions. Em: C. S. S. P.N. Hobson, editor. *The Rumen Microbial Ecosystem.* Blackie Academic & Professional (Chapman & Hall), London (UK). p. 467–491.

Wu, H. M.; Zhang, J.; Wang, C.; Liu, Q.; Guo, G.; Huo, W. J.; Chen, L.; Zhang, Y. L.; Pei, C. X.; Zhang, S. L. Effects of riboflavin supplementation on performance, nutrient digestion, rumen microbiota composition and activities of Holstein bulls. *British Journal of Nutrition*, p.1–8, 2021.

Zempleni, J.; Mock, D.M. Biotin biochemistry and human requirements. *Journal of Nutritional Biochemistry*,10: 128-138, 1999.

Zinn, R. A. *B-vitamins in beef cattle nutrition.* In: TakedaTechnical Symposium. 53rd Minnesota Nutrition Conference. September 21. 1992.

Zinn, R. A., & Plascencia, A. (1996). Effects of forage level on the comparative feeding value of supplemental fat in growing-finishing diets for feedlot cattle. *Journal of animal science*, 74(6), 1194-1201.

Zinn, R. A.; Owens, F. N.; Stuart, R. L.; Dunbar, J. R.; Norman, B. B. B-vitamin supplementation of diets for feedlot calves. *Journal of Animal Science,* 65(1): 267–277, 1987.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-192-0.2023.C016.p.389-430

16

Aditivos para bovinos de corte

Flávia Adriane de Sales Silva, Breno de Castro Silva, Sidnei Antônio Lopes, Danillo Domingues Millen, Telma Teresinha Berchielli, Ana Luiza da Costa Cruz Borges, Laura Franco Prados, Mario Luiz Chizzotti, Marcos Vinícius Carneiro Pacheco, Fabyano Fonseca e Silva†, Sebastião de Campos Valadares Filho

INTRODUÇÃO

O aprimoramento do conhecimento sobre nutrição de ruminantes e a crescente adoção de tecnologias pelos pecuaristas brasileiros revelam novas lacunas de conhecimento que precisam ser preenchidas para fornecer as estimativas mais precisas possíveis das exigências nutricionais dos bovinos. Nesse contexto, o uso de aditivos alimentares que alteram a fermentação ruminal em dietas de bovinos de corte são exemplos dessas tecnologias.

De acordo com levantamentos realizados sobre as recomendações nutricionais e práticas de manejo adotadas nos confinamentos brasileiros, quase 100% dos confinamentos avaliados utilizavam algum tipo de aditivo alimentar nas dietas (Oliveira e Millen, 2014; Pinto e Millen, 2019; Silvestre e Millen, 2021). Além disso, o último levantamento (Silvestre e Millen, 2021) demonstrou que a monensina (ionóforo) foi o principal aditivo utilizado. Outros aditivos comumente utilizados em dietas de bovinos de corte incluem tampões, alcalinizantes, antibióticos não ionóforos, levedura viva, enzimas exógenas e extratos vegetais (por exemplo, óleos essenciais e funcionais).

Os aditivos são incluídos em dietas de bovinos de corte principalmente para alterar beneficamente a fermentação ruminal, prevenir a acidose ruminal e melhorar a utilização de nutrientes (Beauchemin et al., 2018). Os efeitos de aditivos que alteram a fermentação ruminal (principalmente ionóforos) em dietas de bovinos de corte criados em condições temperadas têm sido extensivamente estudados. Sabe-se que os ionóforos alteram a fermentação ruminal limitando o crescimento de bactérias gram-positivas e deslocando a fermentação ruminal para mais propionato e menos acetato e butirato (Bergen e Bates, 1984; NASEM, 2016; Beauchemin et al., 2018). Além disso, a redução da incidência de distúrbios metabólicos, produção de metano e degradação da proteína ruminal também são efeitos da maioria dos aditivos (Beauchemin et al., 2018). Assim, a utilização de aditivos em dietas de ruminantes pode afetar o consumo de alimentos, os parâmetros ruminais e o metabolismo energético e protéico e, consequentemente, pode influenciar as exigências nutricionais e o desempenho dos bovinos.

No entanto, os efeitos relatados dos aditivos não são sempre consistentes. Por exemplo, redução do consumo de matéria seca (CMS) e melhoria da eficiência alimentar (EA) associados ou não com aumento do ganho médio diário (GMD) foram observados em bovinos confinados recebendo monensina (Raun et al., 1976; Maturana Filho et al., 2010; Melo et al., 2020), enquanto alguns estudos não encontraram efeitos sobre o CMS e EA de bovinos criados em confinamento ou a pasto (McGinn et al., 2004; Zawadzki et al., 2011; Maciel et al., 2019).

Além disso, alguns estudos recentes observaram maior consumo de alimentos e melhor desempenho produtivo para bovinos em confinamento alimentados com a combinação de um blend de óleos essenciais (OE) e α-amilase exógena em relação àqueles recebendo a monensina, sem afetar a EA (Gouvêa et al., 2019; Meschiatti e outros, 2019). Contudo, em estudo realizado por Toseti et al. (2020), o uso de uma mistura de OE com α-amilase exógena em dietas de confinamento melhorou o desempenho produtivo dos animais em comparação aos animais alimentados com monensina, sem diferenças para o CMS e EA. As variações entre as condições experimentais (por exemplo: dosagem do aditivo; dieta basal, duração do experimento, sexo, raça, idade, entre outros) podem dificultar a comparação

dos efeitos dos aditivos alimentares obtidos em diferentes estudos. Nesse sentido, a meta-análise pode ser usada para resumir os efeitos de diferentes aditivos entre os estudos e investigar os fatores que explicam a potencial heterogeneidade da resposta (Duffield et al., 2012).

No entanto, os autores não têm conhecimento de nenhum estudo meta-analítico que aborde os efeitos dos aditivos sobre o desempenho produtivo e parâmetros ruminais de bovinos criados em condições brasileiras. Além disso, a última edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016) não recomendou nenhum fator de correção para estimar as exigências nutricionais de bovinos recebendo aditivos. Portanto, o comitê da atual edição do BR-CORTE propôs um novo capítulo sobre os efeitos dos aditivos alimentares sobre o desempenho produtivo e parâmetros ruminais de bovinos criados em condições brasileiras.

Dessa forma, a primeira seção deste capítulo é composta por uma revisão dos principais aditivos atualmente disponíveis para bovinos no Brasil. Posteriormente, é apresentada uma meta-análise sobre os efeitos da monensina e dos óleos funcionais sobre o desempenho produtivo e parâmetros ruminais de bovinos confinados em condições brasileiras.

ADITIVOS DISPONÍVEIS NO BRASIL

De acordo com a instrução Normativa nº 13 de 30 de novembro de 2004 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), aditivos são definidos como "produtos destinados à alimentação animal, tais como substâncias, microrganismos ou produtos formulados, que não são comumente utilizados como ingredientes de rações". Além disso, tais produtos podem ou não ter valor nutricional; e geralmente são utilizados para melhorar as características de produtos destinados à alimentação animal ou os próprios produtos de origem animal, melhorar o desempenho produtivo de animais saudáveis, atender às exigências nutricionais dos animais ou ter efeito anticoccidiano. No entanto, embora vários aditivos apresentem valor nutricional, eles não são fornecidos para atender às exigências nutricionais dos ruminantes, mas geralmente são fornecidos para alterar o metabolismo ruminal ou pós-ruminal, melhorando a utilização de nutrientes e a produtividade animal.

Muitos aditivos estão disponíveis para uso na indústria brasileira de carne bovina (a lista de aditivos permitidos pela legislação brasileira pode ser vista em https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-pecuarios/alimentacao-animal/aditivos), e existem diversas formulações e marcas comerciais de cada um. Na prática, eles podem ser classificados em categorias gerais, tais como: antibióticos ionóforos, antibióticos não ionóforos, probióticos, enzimas exógenas, tampões e alcalinizantes, extratos vegetais, entre outros. Alguns aditivos, como os ionóforos, foram extensivamente estudados (pelo menos em condições temperadas), enquanto outros carecem de avaliação robusta. Nesse contexto, pode ser difícil para produtores e consultores equilibrar todas as informações e decidir quais aditivos alimentares utilizar. Uma breve descrição dos principais aditivos utilizados para bovinos de corte será apresentada a seguir.

Tamponantes e alcalinizantes

A acidose ruminal é um grande desafio, quando grandes quantidades de amido prontamente fermentável são fornecidas aos bovinos. Redução do CMS, desempenho animal e EA (acidose subaguda) e, em casos graves, morte do animal (acidose aguda) pode ocorrer se a acidose ruminal não for adequadamente prevenida. Uma opção para reduzir o potencial de acidose é o uso de tamponantes como bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$) ou de potássio ($KHCO_3$) e/ou alcalinizantes, como carbonatos de sódio (Na_2CO_3) e potássio (K_2CO_3) e óxido de magnésio (MgO) na dieta. Outros tamponantes e alcalinizantes usados para prevenir a acidose ruminal incluem: carbonatos de magnésio ($MgCO_3$), de cálcio ($CaCO_3$) e de cálcio e magnésio ($CaMg(CO_3)_2$).

Tecnicamente, tamponantes e alcalinizantes são diferentes. Os tamponantes reduzem as flutuações do pH ruminal; enquanto os alcalinizantes aumentam o pH ruminal. Contudo, ambos têm efeito direto no pH do fluido ruminal por meio de alterações

químicas no rúmen, visto que neutralizam a acidez por meio do sequestro de H^+ e aumentam a capacidade tampão do fluido ruminal (Hernández et al., 2014). Além disso, alguns efeitos secundários do uso de tamponantes ou alcalinizantes podem incluir melhor digestibilidade da MS e da fibra (Peirce et al., 1983; Stroud et al., 1985; Kovacik et al., 1986), relação acetato:propionato (Okeke et al. , 1983; Ghorbani et al., 1989; González et al., 2008) e desempenho produtivo de bovinos (Wise et al., 1965; Stroud et al., 1985; Zinn, 1991). Tamponantes e alcalinizantes supostamente beneficiam ruminantes que ingerem grandes quantidades de carboidratos prontamente fermentáveis e, portanto, têm sido usados em dietas brasileiras de confinamento para evitar ou mitigar a ocorrência de distúrbios metabólicos (Millen et al., 2009).

O $NaHCO_3$ é o tamponante mais utilizado na dieta de ruminantes. Este aditivo é considerado um verdadeiro tamponante, pois seu pKa está próximo ao pH fisiológico do rúmen e possui excelente solubilidade no rúmen, além de ser naturalmente o principal tampão na saliva e no fluido ruminal (Kohn e Dunlap, 1998). Além disso, o $NaHCO_3$ pode elevar o pH ruminal (Rogers e Davis, 1982; Ghorbani et al., 1989; Zinn, 1991), por ser um tampão forte (Kohn e Dunlap, 1998) e aumentar a diluição do conteúdo ruminal e, portanto, o fluxo de ácidos e carboidratos fermentáveis do rúmen (Rogers e Davis, 1982; Okeke et al., 1983; Russell e Chow, 1993), embora essas respostas não sejam detectadas em todos os estudos (Kellaway et al., 1978; Zinn e Borques, 1993; Paton et al., 2006; Calsamiglia et al., 2012). Tal aumento no fluxo ruminal pode prevenir o declínio severo do pH ruminal e, consequentemente, ser benéfico para bovinos confinados que consomem dietas com alto teor de concentrado.

As respostas ao uso de $NaHCO_3$ sobre o desempenho produtivo têm sido variáveis. Maiores CMS, GMD e/ou EA foram relatados em bovinos alimentados com dietas ricas em concentrado contendo $NaHCO_3$ em níveis de 0,75% (Zinn, 1991), 1% (Thomas e Hall, 1984; Stroud et al., 1985; Brethour et al., 1986) e 3% da MS da dieta (Nicholson et al., 1963). Além disso, pesquisas demonstraram desempenho produtivo semelhantes com a inclusão de $NaHCO_3$ ou monensina (0,75, 2,5 e 5% $NaHCO_3$ *vs.* 33 mg/kg de monensina ou 1,14% NaHCO3 versus 34 mg/kg de monensina) em dietas de terminação, sem nenhum benefício adicional quando ambos foram incluídos em combinação na dieta (Kargaard e Van Niekerk, 1980; Zinn e Borques, 1993; Oliveira et al., 2013).

Em contraste, a adição de 0,75, 1,5, 2,25 e 5% (McKnight et al., 1979) ou 1,0, 1,25, 2,5 e 5% $NaHCO_3$ (González et al., 2008) em dietas com alto teor de concentrado não influenciou o CMS, GMD e EA ou o CMS e pH ruminal de machos castrados e fêmeas Holandesas, respectivamente. Da mesma forma, a inclusão de 5,7% de $NaHCO_3$ em dietas com 100% de concentrado não melhorou o consumo de alimentos, GMD ou EA de machos castrados Hereford (Nicholson et al., 1962). Além disso, Thomas e Hall (1984) observaram que a inclusão de 1 e 1,25% de $NaHCO_3$ em dietas à base de volumoso não influenciou o pH ruminal, CMS, GMD e EA de machos castrados confinados. O aumento da produção de saliva devido ao aumento do tempo de mastigação e ruminação e, consequentemente, maior capacidade de tamponamento endógeno é esperado quando dietas à base de volumoso são fornecidas aos bovinos (Bailey, 1961; Maekawa et al., 2002). Essa maior capacidade de tamponamento, juntamente com uma taxa reduzida de produção de ácidos graxos voláteis (AGV), pode reduzir a eficácia e a exigência de suplementação com tamponantes.

Em geral, nenhum efeito sobre as características da carcaça tem sido observado quando $NaHCO_3$ é suplementado em dietas de confinamento (Nicholson et al., 1962; McKnight et al., 1979; Kargaard e Van Niekerk, 1980); embora pequenos efeitos negativos da inclusão de $NaHCO_3$ a 0,75 e 1,2% sobre características da carcaça (rendimento de cortes, área de olho de lombo e espessura de gordura subcutânea) tenham sido descritos em alguns estudos (Russell et al., 1980; Zinn, 1991; Zinn e Borques, 1993).

Todavia, existem muitos relatos na literatura que descrevem apenas efeitos de curto prazo em dietas suplementadas, onde a inclusão de 0,9, 1,1 e 1,2% de $NaHCO_3$ em dietas com alto, moderado ou baixo nível de concentrado, respectivamente, melhorou o desempenho produtivo de bovinos durante os

primeiros 28 dias de alimentação, sem benefício para o período total de alimentação (Russell et al., 1980; Worley et al., 1986; Lanna e Boin, 1990). Tais resultados corroboram com efeitos inconsistentes da suplementação com $NaHCO_3$ sobre o desempenho produtivo quando todo o período de alimentação foi considerado.

Os alcalinizantes também podem contribuir para o controle da acidose ruminal, sendo o óxido de magnésio (MgO) o mais utilizado. O óxido de magnésio é um agente alcalinizante forte, mas apresenta menor solubilidade na faixa de pH ruminal normal (Erdman et al., 1982; Schaefer et al., 1982; Erdman, 1988). A inclusão de MgO a níveis de 0,4, 0,69 e 1,37% em dietas com conteúdo de concentrado moderado ou 0,5, 0,69 e 1,05% para dietas de alto concentrado aumentou o pH ruminal e/ou fecal (Schaefer et al., 1982; Peirce et al., 1983; Christiansen e Webb, 1990), a digestibilidade da MS da dieta (Erdman et al., 1982; Peirce et al., 1983), a concentração molar de acetato (Emery et al., 1965) e a relação acetato:propionato (Teh et al., 1985) de bovinos de corte e leite.

No entanto, as respostas à suplementação com MgO sobre o desempenho produtivo de bovinos foram, em geral, limitadas ou variáveis. Nenhum efeito da suplementação de MgO a níveis de 0,4, 0,8 e 1,37% foi observado sobre o CMS (Erdman et al., 1982; Teh et al., 1985; Arambel et al., 1988), GMD (Schaefer et al., 1982) ou produção de leite (Erdman et al., 1982; Arambel et al., 1988) de bovinos. Além disso, redução do CMS também tem sido relatada em estudos com bovinos de leite em resposta a suplementação com MgO (Thomas e Emery, 1969a; Erdman, 1988). No entanto, vários estudos relataram aumento do teor de gordura do leite, quando o MgO foi adicionado à dieta de vacas em lactação (Emery et al., 1965; Thomas e Emery, 1969b; Erdman et al., 1982), sendo este efeito menor à medida que o teor de fibra da dieta aumenta (Erdman, 1988).

Como os alcalinizantes atuam elevando o pH ruminal e os tamponantes resistindo às mudanças de pH, alguns estudos foram realizados para avaliar a possibilidade de um efeito aditivo ou sinérgico da combinação de $NaHCO_3$ e MgO. Alguns autores relataram aumento do CMS de bovinos de corte e leite com o uso combinado de $NaHCO_3$ e MgO no período inicial após a transição de uma dieta rica em forragem para uma dieta rica em concentrado (Erdman et al., 1980; Peirce et al., 1983; Teh et al., 1985). Além disso, Erdman (1988) revisou várias publicações e testou a interação entre $NaHCO_3$ e MgO sobre o teor de gordura do leite e afirmou que seus efeitos foram aditivos e poderiam ser usados em combinação para prevenir a redução do teor de gordura do leite. No entanto, nenhum efeito aditivo benéfico foi aparentemente observado sobre a produção de leite com uso dessa combinação de aditivos (Teh et al., 1985; Erdman, 1988; Cabrita et al., 2009).

Parece plausível afirmar que a inclusão de tamponantes e/ou alcalinizantes em dietas contendo altos níveis de carboidratos fermentáveis promove algum benefício para os bovinos, pelo menos no início do período de alimentação ou adaptação a dietas com alto teor de concentrado. No entanto, a relação custo-benefício deve ser avaliada previamente ao uso, uma vez que outros aditivos alimentares que promovem melhorias semelhantes ou ainda mais consistentes nas condições ruminais e no desempenho produtivo também estão disponíveis comercialmente.

Ionóforos

Ionóforos são os principais aditivos utilizados em dietas de terminação no Brasil (Oliveira and Millen, 2014; Pinto and Millen, 2019; Silvestre and Millen, 2021). Esses aditivos compõem uma classe de compostos antimicrobianos, os quais não incluem drogas medicamente importantes para humanos. São compostos poliéster carboxílicos, que geralmente são incluídos nas dietas de bovinos em crescimento e terminação para melhorar a fermentação ruminal, permitindo maior EA e redução do risco de acidose e timpanismo (Bergen and Bates, 1984). São conhecidos mais de 120 tipos de ionóforos produzidos principalmente por bactérias do gênero *Streptomyces*. Existem muitos ionóforos atualmente licenciados para uso em nutrição animal no Brasil, tais como: monensina, lasalocida, narasina e salinomicina.

O mecanismo de ação é semelhante entre os diferentes tipos de ionóforos. Eles têm

a capacidade de interagir com cátions, geralmente íons sódio (Na^+), servindo assim como um carreador pelo qual esses íons podem ser transportados através da membrana celular de alguns microrganismos ruminais (Bergen and Bates, 1984). No entanto, vale ressaltar que alguns ionóforos podem ter afinidade maior ou semelhante a outros íons como potássio (K^+) e cálcio (Ca^{2+}) (Bergen and Bates, 1984; NASEM, 2016). Essa alteração nos gradientes iônicos resulta no aumento da atividade da bomba de prótons e, consequentemente, no esgotamento da reserva de energia (ATP), causando divisão celular prejudicada e provável morte do microrganismo (Bergen and Bates, 1984; Russel and Strobel, 1989). Nesse contexto, os ionóforos inibem seletivamente bactérias Gram-positivas enquanto preservam muitas bactérias Gram-negativas, cuja sensibilidade está relacionada às suas diferentes estruturas de parede celular. (Bergen and Bates, 1984; Russel and Strobel, 1989; NASEM, 2016). As bactérias Gram-negativas apresentam uma membrana externa que geralmente é impermeável a ionóforos (tamanho molecular geralmente maior que 500 Daltons) e outras macromoléculas (Russel and Strobel, 1989). Assim, os ionóforos alteram o perfil da população microbiana no rúmen e, consequentemente, o padrão de fermentação ruminal.

Sabe-se que os ionóforos alteram a fermentação ruminal limitando o crescimento de bactérias Gram-positivas e deslocam a fermentação ruminal para mais propionato (precursor da glicose) e menos acetato e butirato (Bergen and Bates, 1984; NASEM, 2016; Beauchemin et al., 2018). Consequentemente, menos H^+ está disponível para as bactérias produtoras de metano, levando a uma menor produção de metano (Nagaraja et al., 1997; NASEM, 2016). Assim, a menor perda de energia, devido a redução da produção de metano, e o maior aporte de precursores de glicose para a gliconeogênese no fígado resultam em um maior fornecimento de energia ao animal (melhoraram a eficiência do uso de energia). Além disso, redução da incidência de distúrbios metabólicos (acidose ruminal e timpanismo) da degradação da proteína ruminal em amônia (melhoria da eficiência do uso de N no rúmen) também são efeitos atribuídos ao uso de ionóforos (Bergen and Bates, 1984; Nagaraja et al., 1997; Beauchemin et al., 2018). Tais efeitos são geralmente atribuídos ao seu efeito anticoccidiano e inibição de microrganismos produtores de lactato ruminal e bactérias fermentadoras obrigatórias de aminoácidos sem inibir os microrganismos consumidores de lactato (Bergen and Bates, 1984; Beauchemin et al., 2018). Assim, seria esperado um melhor desempenho produtivo devido a melhor retenção de energia e N na fermentação ruminal. No entanto, os efeitos do uso de ionóforos sobre o desempenho animal parecem ser dependentes do animal, dose e fatores dietéticos (Tedeschi et al., 2003; Bretschneider et al., 2008; Duffield et al., 2012).

A monensina é o ionóforo mais estudado e também o mais utilizado no Brasil (Silvestre and Millen, 2021). A monensina geralmente diminui o consumo de alimentos com pouco ou nenhum efeito no GMD, e a EA é melhorada quando dietas contendo altos níveis de carboidratos prontamente fermentáveis são fornecidas aos bovinos (Maturana Filho et al., 2010; Duffield et al., 2012; Melo et al., 2020). Em dietas com maiores proporções de forragem ou em sistemas de pastejo, a monensina não diminui o consumo e o GMD geralmente é melhorado, resultando também em melhora da EA (Bretschneider et al., 2008; Prado et al., 2010; Maciel et al., 2019). No entanto, é importante destacar que a maioria das pesquisas realizadas até o momento com ionóforos se concentraram em dietas de alto concentrado; assim, as informações sobre os efeitos desses aditivos em bovinos alimentados com dietas ricas em forragem ainda são limitadas.

De fato, os dados de pesquisas mostraram uma melhoria consistente na EA de bovinos criados em confinamento recebendo monensina, melhorando ou mantendo o GMD e reduzindo o CMS. Goodrich et al (1984) resumiram 228 experimentos nos quais a monensina foi adicionada a dietas de bovinos em confinamento a 31,8 mg/kg MS, em média. Esses autores concluíram que a monensina melhorou o GMD e EA em 1,6 e 6,5%, respectivamente, e reduziu o CMS em 6,4%. Além disso, as características da carcaça não foram influenciadas pela monensina. Posteriormente, uma meta-análise sobre os

efeitos da monensina em bovinos de corte em crescimento e terminação foi realizada por Duffield et al. (2012). Este estudo incluiu dados de 40 artigos científicos publicados e 24 relatórios de experimentos. A dose média de monensina utilizada foi 28,1 mg/kg MS. Os autores afirmaram que a monensina melhorou tanto o GMD quanto a EA em aproximadamente 2,5 e 6,4%, respectivamente, e reduziu o CMS em 3%. No entanto, os autores destacaram que a melhora na EA foi influenciada pela década do estudo, onde a melhora na EA pela monensina diminuiu de 8,1% na década de 1970 para 2,3 a 3,5% nas décadas de 1990 a 2000, respectivamente. Os autores também apontaram que esse decréscimo do efeito da monensina na EA pode estar associado ao aumento do nível de concentrado (e conteúdo energético) nas dietas de confinamento ao longo das décadas.

Bretschneider et al. (2008) resumiram resultados de 48 referências em uma revisão de literatura sobre os efeitos de antibióticos promotores de crescimento (APC) em bovinos de corte recebendo dietas a base de forragem. Monensina e lasalocida estavam entre os APC avaliados, cujas doses médias foram de 70 e 68 mg/100 kg PC, respectivamente. Os autores observaram um aumento de 12,1 e 10,3% no GMD quando a monensina e a lasalocida foram utilizadas, respectivamente. Contudo, nenhum efeito da monesina ou lasalocida foi observado no CMS. Da mesma forma, a EA foi melhorada como resultado da melhora no GMD. Em todas as revisões descritas (Goodrich et al., 1984; Bretschneider et al., 2008; Duffield et al., 2012), a melhora no GMD de bovinos recebendo monensina diminuiu à medida que o GMD dos animais alimentados com a dieta controle (sem monensina) aumentou. Entretanto, Bretschneider et al. (2008) relataram aumento da resposta à lasalocida com o aumento do GMD dos animais controle alimentados com dietas ricas em forragem.

Recentemente, Gadberry et al. (2022ab) realizaram dois estudos metanalíticos sobre os efeitos da suplementação de monensina no desempenho de vacas de corte (21 experimentos), novilhas de reposição (18 experimentos) e bovinos de corte em crescimento recebendo dietas ricas em forragem (38 experimentos). A suplementação de monensina em doses de 125 a 200 mg/dia não afetou o PC ou o escore de condição corporal (ECC) de vacas de corte. No entanto, as vacas de corte apresentaram redução de 8% no consumo de forragem e de 18 dias ao primeiro estro, enquanto a porcentagem de vacas apresentando estro antes da estação de monta aumentou 19% e a produção de leite aumentou 5,4%, quando a monensina foi oferecida. Esses resultados sugeriram uma maior disponibilidade de energia quando a monensina foi fornecida para vacas de corte.

Além disso, a monensina aumentou o GMD em 5%, a EA em 14% e a porcentagem de novilhas ciclando antes da estação reprodutiva em 15,9%; enquanto diminuiu o CMS em 4,3% e a idade na puberdade em 8,9dias em novilhas de reposição (Gadberry et al., 2022b). Nos bovinos em crescimento, suplementação com monensina melhorou o GMD em 11%, embora essa resposta tenha sido afetada negativamente pela duração do período de alimentação (Gadberry et al., 2022a). Além disso, o uso de monensina diminuiu a incidência de timpanismo em 20%.

Respostas semelhantes foram observadas para outros ionóforos, como narasina e salinomicina. Nenhuma alteração do CMS, aumento do GMD de 6,7 a 24,8% e melhoria da EA de 5,8 a 25,1% foram reportados para bovinos alimentados com dietas à base de forragem contendo narasina nas doses 7,3, 13, 15,3 e 20 mg/kg MS (Silva, 2016; Polizel et al., 2017; Polizel et al., 2020; Limede et al., 2021). Além disso, redução do CMS de 4 a 6% e melhoria da EA de 6 a 14,8% foram observados em bovinos alimentados com dietas ricas em concentrado contendo níveis de 11 a 50 mg/kg MS de suplementação de salinomicina (Wagner, 1984; Merchen and Berger, 1985; Zinn, 1986a). No entanto, alguns estudos não demonstraram alteração do CMS de bovinos confinados com adição de 11 e 12,6 mg/kg MS de salinomicina (Zinn, 1986b; Neumann et al., 2016) ou 10,6 mg/kg MS de narasina (Gobato et al., 2017). Todavia, vale ressaltar que a narasina e a salinomicina demonstraram ser eficazes na melhora da EA em uma dosagem menor do que a lasalocida e a monensina (Bergen and Bates, 1984).

Vários estudos avaliaram os principais efeitos da monensina e de outros aditivos sobre

o desempenho produtivo de bovinos de corte criados em clima temperado (Goodrich et al., 1984; Bretschneider et al., 2008; Khiaosa-Ard and Zebeli, 2013) e recomendações gerais foram feitas para ajustar as exigências nutricionais de bovinos recebendo aditivos pelo Sistema Norte-Americano (NASEM, 2016). Com base em uma revisão da literatura, o NASEM (2016) recomendou: 1) redução de 3% no CMS quando a monensina é fornecida independentemente da composição da dieta e nenhuma redução quando a lasalocida ou a laylomicina são fornecidas; 2) melhora de 3,5% na EA quando monensina e lasalocida são utilizadas; e 3) melhoria da disponibilidade de energia metabolizável de 2,3% e 1,5% quando monensina e lasalocida ou laylomicina são fornecidas, respectivamente. Contudo, não foram propostas recomendações sobre ajustes da energia da dieta ou de desempenho animal devido à utilização de ionóforos em dietas de bovinos de corte na edição anterior do BR-CORTE (Valadares Filho et al., 2016). Infelizmente, a disponibilidade de dados sobre os efeitos dos ionóforos de estudos realizados em condições brasileiras era muito pequena para fazer alguma recomendação. Na presente edição, o comitê realizou uma meta-análise sobre os principais efeitos da monensina sobre as características ruminais e desempenho produtivo de bovinos criados em condições brasileiras, que serão discutidos mais adiante neste capítulo.

Antibióticos não ionóforos

Assim como os ionóforos, antibióticos não ionóforos, usados como promotores de crescimento, modificam seletivamente a população microbiana no rúmen, resultando em mudanças nas proporções de AGV produzidos (para mais propionato e menos acetato), redução da desaminação de aminoácidos (aumentando o fornecimento de aminoácidos ao animal hospedeiro) e inibição de bactérias produtoras de lactato ruminal; assim, melhoram a EA, a saúde e o desempenho produtivo (Nagaraja and Taylor, 1987; Nagaraja, 1995; Harfoot and Hazlewood, 2016). Os antibióticos não ionóforos disponíveis para uso em dietas de animais no Brasil incluem: virginiamicina e flavomicina. No entanto, os meios pelos quais compostos específicos exercem seu efeito antimicrobiano diferem.

A virginiamicina é produtzida durante a fermentação de *Streptomyces virginiae*, sendo um antibiótico da classe das estreptograminas. Este antibiótico é composto por dois fatores principais (M e S) que funcionam sinergicamente (Boom and Dewart, 1974) e são capazes de se ligar de forma específica e irreversível às unidades ribossomais (Cocito, 1979). Tal ligação inibe a síntese proteica, causando redução no crescimento ou mesmo morte de bactérias Gram-positivas, principalmente (Cocito, 1979). A flavomicina é um antibiótico polipeptídico que inibe a formação de peptidoglicano e, portanto, a formação da parede celular em bactérias Gram-positivas (Aarestrup et al., 1998). A virginiamicina pode ser usada dentro do sistema de produção sem período de carência.

Os benefícios da inclusão de antibióticos não ionóforos nas dietas de bovinos são bem documentados. Maiores proporções de propionato e menores proporções de acetato e butirato tem sido observadas quando virginiaminica é suplementada em dietas a base de forragem e concentrado (Nagaraja et al., 1987; Harfoot and Hazlewood, 2016). Além disso, tem sido associada a aumento do GMD e/ou EA em bovinos em crescimento e terminação alimentados com dietas ricas em forragem ou concentrado, bem como para prevenção de abscessos hepáticos em bovinos confinados (Fiems et al., 1992; Harfoot and Hazlewood, 2016; Tedeschi and Gorocica-Buenfil, 2018). Rogers et al. (1995) observaram uma melhora linear do GMD e da EA e uma redução da incidência e gravidade de abscessos hepáticos de bovinos confinados à medida que a dose suplementada de virginiamicina aumentou de 11 para 27,6 mg/kg MS. Os autores afirmaram que a faixa de dose efetiva para virginiamicina em dietas de confinamento foi de 19,3 a 27,3 mg/kg MS para aumento do GMD, 13,2 a 19,3 mg/kg MS para melhoria da EA e 16,5 a 19,3 mg/kg MS para redução da incidência de abscesso hepático.

Da mesma forma, resultados de um estudo meta-analítico realizado por Tedeschi e Gorocica-Buenfil (2018) demonstraram que a incidência de abscesso hepático reduziu

linearmente à medida que a dosagem de virginiamicina aumentou. Além disso, esses autores observaram que a virginiamicina foi cerca de 2,3 vezes mais eficaz em melhorar o GMD do que a monensina para a mesma dosagem e duração do período de alimentação (2,08 g/dia por ppm comparado com 0,92 g/dia por ppm para monensina). No entanto, os antibióticos não ionóforos apresentam pequena melhora ou nenhum efeito sobre o CMS e as características da carcaça (Lemos et al., 2016; Gorocica and Tedeschi, 2017; Castagnino et al., 2018).

Devido aos seus efeitos seletivos semelhantes sobre os microrganismos do rúmen e mecanismo de ação complementar, várias pesquisas levantaram a hipótese de um efeito aditivo do uso de combinações de antibióticos ionóforos e não ionóforos para bovinos de corte. Estudos recentes realizados em diferentes condições mostraram melhora no desempenho produtivo (aumento do GMD e EA) quando a virginiamicina e a monensina foram utilizadas em combinação em comparação com o uso isolado de monensina em dietas com alto teor de concentrado (Benatti et al., 2017; Heker et al., 2018; Neumann et al., 2020). Semelhantemente, Nunez et al. (2013) sugeriram que a combinação de virginiamicina e salinomicina em dietas de alto concentrado nas doses de 15 e 13 mg/kg MS, respectivamente, melhorou a eficiência de utilização de energia da dieta quando comparado a bovinos recebendo apenas salinomicina.

Em contraste, Rigueiro et al. (2020), avaliando o desempenho em confinamento de machos Nelore não castrados recebendo diferentes combinações de virginiamicina (25 mg/kg de MS) e monensina (30 mg/kg de MS) durante os períodos de adaptação e terminação, observaram um melhor desempenho produtivo quando os animais foram alimentados com a combinação de aditivos apenas durante o período de adaptação; sem benefícios quando essa combinação foi suplementada durante o período de terminação ou durante todo o período de alimentação (adaptação e terminação). Os autores postularam que seus resultados refletiam a ausência do impacto negativo da monensina sobre o CMS, uma vez que os animais foram suplementados com ionóforo por um menor período. Ainda, nenhuma evidência de benefícios foi encontrada para apoiar a suplementação de virginiamicina combinada com monensina para bovinos alimentados com dietas ricas em forragem (Maciel et al., 2019).

A preocupação com a resistência antimicrobiana tem levado a um maior controle no uso de antimicrobianos na produção animal. Nesse contexto, muitos países têm proibido o uso de agentes antimicrobianos como aditivos para melhorar o desempenho animal, como os da União Europeia. No Brasil, o uso de compostos antimicrobianos e outros aditivos promotores de crescimento na produção animal vem sendo gradativamente restringido (Rabello et al., 2020). Isso tem aumentado o interesse por aditivos alternativos e mais naturais, como leveduras, óleos essenciais e funcionais e enzimas exógenas.

Leveduras

A crescente demanda por produtos naturais como alternativa aos antibióticos, com potencial para melhorar a eficiência produtiva em ruminantes, está aumentando o interesse por aditivos como células vivas, microrganismos e/ou seus metabólitos. Nesse sentido, a levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) tem sido cada vez mais utilizada em dietas de bovinos para melhorar a EA, o desempenho produtivo e a saúde animal. Apesar disso, estudos avaliando os efeitos da suplementação de levedura no desempenho produtivo de bovinos de corte são recentes.

Leveduras (*Saccharomyces cerevisiae)* são geralmente fornecidas como preparações secas de células vivas (levedura viva) e, em alguns produtos, as células são misturadas com seu meio de crescimento (cultura de levedura). Produtos contendo células mortas também estão disponíveis comercialmente e, por não conterem células viáveis, são utilizados como ingrediente nutricional. As leveduras são compostas por proteínas de alta qualidade, carboidratos, lipídios e vitaminas do complexo B, tornando-as vantajosas em relação a outros aditivos. Ademais, os produtos comerciais disponíveis variam amplamente na cepa de *Saccharomyces cerevisiae* utilizada e no número de células de levedura presentes.

Em geral, a ação das leveduras tem sido relacionada à promoção de melhores condições ruminais por meio de: 1) remoção dos vestígios de oxigênio, melhorando a anaerobiose ruminal; 2) competição com bactérias produtoras de lactato (por exemplo, *Streptococcus bovis* e *Lactobacillus*) por carboidratos prontamente fermentáveis e, portanto, contribuição para a regulação do pH ruminal; 3) estimulação do crescimento de bactérias digestoras de fibra (por exemplo, *Fibrobacter succinogenes* e *Ruminococcus flavefaciens*) e de bactérias que utilizam lactato (por exemplo, *Megasphaera elsdenii*), o que pode estar relacionado ao efeito probiótico da levedura (Wallace and Newbold, 1992; Jouany and Morgavi, 2007; Chaucheyras-Durand et al., 2008).

Portanto, existem vários relatos na literatura que relacionam a suplementação de dietas de bovinos em crescimento e terminação com levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) com a melhoria do desempenho produtivo e a saúde (Finck et al., 2014; Geng et al., 2016; Peng et al., 2020). Melhores respostas produtivas (CMS, GMD, PC final e/ou EA) atribuídas à levedura geralmente estão relacionadas ao aumento do pH ruminal e concentrações de AGV, digestão de fibras e fluxo de proteína microbiana do rúmen devido à atividade inibitória das bactérias proteolíticas ruminais (Jouany and Morgavi, 2007; Chaucheyras-Durand et al., 2008; Amin and Mao, 2021). Esses efeitos podem ser particularmente importantes, quando dietas ricas em grãos são fornecidas aos bovinos.

No entanto, os efeitos da suplementação de levedura não são consistentes na literatura. Alguns estudos não mostraram benefícios da adição de levedura às dietas de bovinos de corte sobre os parâmetros digestivos ou desempenho produtivo (Adams et al., 1981; Edwards et al., 1990; Gattass et al., 2008). As discrepâncias das respostas à suplementação de levedura parecem ser dependentes de diferentes fatores, como tipo de dieta, cepa de levedura e dose utilizada.

Os efeitos positivos do uso de levedura são mais evidentes quando são fornecidas dietas com níveis mais elevados de concentrado, o que pode estar associado à capacidade da levedura de modular o pH ruminal. Carro et al. (1992) relataram maior digestibilidade *in vitro* da MS e FDN quando levedura foi suplementada em dietas de alto concentrado, mas nenhum efeito da suplementação de levedura foi observado com dietas contendo médio e baixo nível de concentrado. Similarmente, Desnoyers et al. (2009) realizaram uma meta-análise avaliando a influência da suplementação de levedura sobre os parâmetros ruminais e desempenho de ruminantes (bovinos de corte e leite, caprinos, ovinos e bubalinos) e concluíram que respostas benéficas para CMS, pH ruminal, concentrações de AGV e lactato e produção de leite foram mais pronunciadas nos ruminantes recebendo maiores níveis de concentrado na dieta.

Além disso, a eficácia da levedura parece ser dependente da relação entre a composição da dieta e as demandas nutricionais do animal. A eficácia da levedura em dietas pobres e ricas em proteína foi investigada para vacas leiteiras no início da lactação e os resultados obtidos revelaram que a suplementação de levedura melhorou a produção de leite de vacas que foram alimentadas com dietas pobres em proteína, mas não teve efeito sobre a produção de leite de vacas alimentadas com dietas ricas em proteínas (Putnam et al., 1997).

Diferentes cepas e doses de leveduras possuem diferenças quanto a eficácia em estimular a fermentação ruminal e o desempenho produtivo. A variabilidade na resposta à suplementação de leveduras quanto ao tipo de cepa pode estar relacionada a diferenças em sua atividade metabólica e deve ser considerada na seleção de leveduras para ruminantes (Newbold et al., 1995; Jouany and Morgavi, 2007; Sartori et al., 2017). O efeito de diferentes dosagens (0; 2×10^6; 4×10^6 e 6×10^6 UFC do substrato total da dieta) de levedura em dietas com diferentes relações volumoso:concentrado (80:20, 60:40, 40:60 e 20:80) sobre a digestibilidade *in vitro* foram investigados e os resultados revelaram que as digestibilidades máximas da MS e MO foram alcançadas com a maior dose de levedura (Phesatcha et al., 2020). A inclusão de uma dose maior de levedura (4 g/dia) melhorou o consumo de alimentos, GMD e EA de bezerros, enquanto a inclusão de uma dose menor (1% levedura seca/kg MS) não teve efeito sobre o desempenho de bezerros

(Lesmeister et al., 2004). Em uma meta-análise, Desnoyers et al. (2009) observaram que o pH ruminal, a concentração de AGV, a digestibilidade da MO e a produção de leite aumentaram linearmente com a dose de levedura suplementada para ruminantes. Ainda, aumento linear no GMD foi observado para novilhas de corte, quando a suplementação de levedura aumentou de 5 para 20 g/dia na dieta (Greene, 2002).

Óleos essenciais e funcionais

Esse tipo de aditivo alimentar inclui extratos vegetais que geralmente apresentam efeito antimicrobiano, causando alterações no perfil de fermentação. A maioria dos extratos de plantas geralmente tem sido associada a óleos essenciais (OE). Os OE são um grupo diversificado de metabólitos secundários de plantas obtidos de suas frações aromáticas voláteis (por exemplo, timol, carvacrol e eugenol), que possuem propriedades antimicrobianas (Patra e Saxena, 2010). No entanto, alguns óleos vegetais não podem ser classificados como OE porque não são derivados de porções aromáticas. Em vez disso, esses óleos são chamados de óleos funcionais (OF) porque têm funções que vão além de seu valor nutricional. Os ácidos anarcárdico e ricinoleico (principal grupo de lipídios fenólicos) são exemplos de OF. Embora possam ser classificados de forma diferente, uma variedade de efeitos positivos na saúde, como propriedades antitumorais, antioxidantes, gastroprotetoras e antimicrobianas, tem sido atribuída a esses extratos vegetais (Dahham et al., 2015; Salehi et al., 2020). Assim, OE e OF fazem parte de uma alternativa natural para melhorar a saúde animal e o desempenho produtivo, reduzindo o uso de antimicrobianos na pecuária. Como OF é uma classificação mais ampla que OE, ambos os tipos de extratos vegetais têm sido descritos cada vez mais simplesmente como OF.

Acredita-se que o efeito antimicrobiano da maioria dos OE e OF seja semelhante ao dos ionóforos, nos quais, na maioria das vezes, as bactérias Gram-positivas são inibidas seletivamente (Calsamiglia et al., 2007; Watanabe et al., 2010). Tal seletividade também é análoga à dos ionóforos, na medida em que a natureza hidrofóbica dos óleos permite sua interação com a membrana bacteriana resultando em transporte e gradiente de íons alterados (Calsamiglia et al., 2007; Watanabe et al., 2010). No entanto, vale ressaltar que esses extratos vegetais também podem ser eficazes contra algumas bactérias Gram-negativas (embora sejam menos sensíveis que as bactérias Gram-positivas) e alguns compostos possuem outros modos de ação, atuando no citoplasma ou organelas das células microbianas (Burt, 2004; Benchaar e Greathead, 2011).

Nesse sentido, espera-se que os principais efeitos desses óleos na fermentação ruminal incluam uma mudança nas proporções de AGV para menos acetato e mais propionato e, assim, diminuição da produção de metano no rúmen; diminuição da degradação de proteínas; e melhor utilização de nutrientes e EA. Muitos estudos têm sido realizados para avaliar os benefícios da suplementação de OE e OF, bem como seus componentes na dieta de ruminantes. Esses estudos utilizaram uma ampla gama de procedimentos experimentais, compostos, doses e dietas; assim, os resultados têm sido inconsistentes.

Vários estudos *in vitro* indicaram o potencial dos OE e seus componentes para manipulação benéfica da fermentação ruminal (McIntosh et al., 2003; Castillejos et al., 2005; Benchaar et al., 2008). Um aumento da concentração total de AGV e/ou relação propionato:acetato, bem como redução da concentração de N amoniacal e produção de metano tem sido descritos, quando diferentes OE e seus componentes e doses foram incluídos em dietas/substratos prontamente fermentáveis e com níveis moderados e altos de fibra (Cardozo et al., 2005; Busquet et al., 2006; Chaudhry and Khan, 2012). No entanto, a ocorrência de resultados positivos tem se mostrado dependente do substrato/dieta, tipo de OE e/ou seus componentes ou misturas, dose utilizada e pH do meio. Por exemplo, Busquet et al (2006) demostraram *in vitro* que a proporção molar de propionato aumentou e a proporção molar de acetato diminuiu quando o óleo de alho foi incluído em uma dieta com relação 50:50 forragem:concentrado em doses de 300 e 3000 mg/L, mas não em dose de 3 ou 30 mg/L. Ainda, outros OE, como os óleos de gengibre, cade, pimentão e yucca, não apresentaram efeito sobre as proporções

molares de propionato ou acetato em todas as doses testadas de inclusão em um mesmo estudo (3, 30, 300 e 3000 mg/L). Em alguns casos, os efeitos benéficos sobre as proporções de AGV, metabolismo ruminal de N e produção de metano *in vitro* foram alcançados apenas em altas concentrações de suplementação de alguns OE (Busquet et al., 2006; Benchaar et al., 2008; Benchaar e Greathead, 2011), que também podem inibir o processo de fermentação ruminal (diminuição da digestão dos alimentos e produção total de AGV) e são improváveis de serem usados na prática (*in vivo*). Os efeitos também podem ser transitórios devido a uma adaptação da microbiota ao OE (Benchaar et al., 2008).

Efeitos aditivos, antagônicos e sinérgicos têm sido sugeridos entre diferentes extratos vegetais e seus componentes (Burt, 2004; Toroglu, 2007; Fandiño et al., 2020), o que resultou em uma variedade de produtos comerciais combinando diferentes OE, OF ou seus componentes disponíveis para ruminantes no mercado, atualmente. No entanto, os estudos publicados sobre os efeitos do uso de OE e OF em bovinos de corte são limitados, quando comparados ao número de pesquisas que foram realizadas em bovinos de leite. No geral, os resultados dos estudos *in vivo* são inconsistentes dependendo do tipo de extrato vegetal, fonte, dieta e doses avaliadas. No entanto, existem alguns exemplos na literatura que descrevem os potenciais benefícios da suplementação com OE e OF para bovinos de corte. Em um estudo, Yang et al. (2010) relataram um aumento linear na proporção molar de propionato e uma diminuição linear da relação acetato:propionato com o aumento da dose de OE (0, 400, 800, 1600 mg/dia de eugenol) na dieta de bovinos de corte em crescimento. Ornaghi et al. (2017) observaram melhora no CMS, GMD e PC final e de carcaça em bovinos terminados em confinamento recebendo OE de cravo e canela. Ademais, os autores também afirmaram que as respostas para a maioria dessas variáveis aumentaram linearmente à medida que a dose de OE aumentou de 3,5 para 7 g/dia.

Semelhantemente, maiores GMD e EA foram relatados para novilhas Nelore confinadas que receberam *blends* de OE protegidos (compostos por eugenol, timol e vanilina + OE de cravo ou eugenol, timol e vanilina + OE de alecrim e cravo); (Souza et al., 2019). Além disso, Valero et al. (2014) reportaram melhor desempenho produtivo (PC final, GMD e EA) e peso de carcaça para machos não castrados em confinamento recebendo suplementação de OF (blend de óleo de rícino e de casca da castanha de caju). Esses resultados podem criar expectativas quanto ao uso de OE e OF na nutrição de bovinos de corte. Em contraste, outros estudos não mostraram efeito sobre os parâmetros de fermentação ruminal, desempenho produtivo, características de carcaça ou EA de bovinos alimentados com dietas de alto, médio e baixo concentrado contendo diferentes misturas comerciais de OE e OF em diferentes dosagens (Beauchemin et al., 2006; Silva et al., 2019; Melo et al., 2020; Wang et al., 2020; Wilson et al., 2020).

Em um estudo metanalítico, Khiaosa-Ard e Zebeli (2013) investigaram os efeitos de diferentes OE e seus compostos sobre a fermentação ruminal, desempenho produtivo e EA de ruminantes (bovinos de corte, bovinos de leite e pequenos ruminantes). Embora dose-dependente, os resultados indicaram uma melhora geral na fermentação ruminal (produção de AGV e concentração individual de AGV) com a suplementação de OE em ruminantes. Entretanto, as respostas positivas sobre a composição de AGV e produção de metano foram mais pronunciadas em bovinos de corte quando comparados a bovinos leiteiros e pequenos ruminantes. Os autores atribuíram a melhor resposta de bovinos de corte a um efeito sinérgico entre o OE e seu baixo pH ruminal, uma vez que menor pH ruminal é comumente observado em sistemas de confinamento devido ao uso de dietas ricas em grãos. Nenhum efeito benéfico sobre a degradação ruminal da proteína ou desempenho produtivo e EA de bovinos leiteiros foram atribuídos à suplementação de OE. Os efeitos da suplementação de OE no desempenho produtivo de bovinos de corte e pequenos ruminantes não foram avaliados devido ao número limitado de estudos até aquele momento. Assim, parece que a manipulação da fermentação ruminal para rotas energeticamente mais eficientes é o benefício mais consistente da utilização de OE em ruminantes.

Apesar dos resultados limitados e inconsistentes relatados até agora sobre o desempenho produtivo de bovinos de corte, OE e OF são atualmente uma das melhores alternativas para o uso de antibióticos ionóforos. Nesse contexto, Torres et al. (2021) realizaram uma meta-análise avaliando os efeitos de diferentes OE como alternativa à monensina em dietas de bovinos de corte. Esses autores relataram que a substituição da monensina por OE não teve influência nos parâmetros de desempenho, mas afetou positivamente o rendimento de carcaça, área de olho de lombo e espessura de gordura subcutânea de bovinos de corte alimentados com dietas ricas em grãos. No entanto, os autores também concluíram que OE apresentou baixa eficácia na prevenção de abscessos hepáticos nesses animais.

Semelhantemente, Purevjav et al. (2013) avaliaram os efeitos de OF (blend de óleo de rícino e de casca da castanha de caju) com ou sem monensina no desempenho e características de carcaça de machos castrados confinados. Os autores descreveram melhores características de carcaça (rendimento de carcaça, área de olho de lombo e classificação em *prime grade*) em bovinos que receberam apenas suplementação de OF; porém, também apresentaram maior incidência de abscesso hepático, principalmente na maior dose aplicada (500 mg/kg MS). Embora ainda seja necessária uma avaliação mais aprofundada, os dados publicados sugerem que ainda há potencial de substituição de antibióticos ionóforos por OE ou OF em dietas de bovinos de corte.

Para os autores, o conhecimento sobre o potencial de uso desses extratos vegetais em bovinos de corte, principalmente naqueles criados em condições brasileiras, ainda é muito limitado. Dessa forma, o comitê realizou uma meta-análise sobre os principais efeitos do OF sobre as características ruminais e desempenho produtivo de bovinos criados em sistemas de produção brasileiros, que serão discutidos mais adiante neste capítulo.

Enzimas exógenas

As enzimas exógenas são outra classe de aditivos alimentares naturais que têm potencial para substituir os promotores de crescimento, como os antibióticos ionóforos. Os aditivos enzimáticos são extratos complexos de fermentação bacteriana (e.g., *Bacillus*) ou fúngica (e.g., *Aspergillus, Trichoderma*) com atividades enzimáticas específicas como amilases, xilanases, celulases e proteases. Enzimas são proteínas que são, ao final, digeridas ou excretadas pelo animal, não deixando resíduos na carne ou no leite.

Em ruminantes, enzimas exógenas auxiliam a população microbiana do rúmen realizando parte da digestão dos alimentos, principalmente. Assim, esses compostos têm potencial de melhorar a digestão ruminal dos ingredientes da dieta, a disponibilidade de nutrientes e a EA (Beauchemin et al., 2004; NASEM, 2016; Beauchemin et al., 2018). Além disso, podem ser usados para complementar as enzimas produzidas por animais jovens onde, devido a um sistema digestivo imaturo, a produção de enzimas pode ser inadequada.

O modo de ação das enzimas exógenas ainda não é bem compreendido. No entanto, o modo de ação proposto para enzimas exógenas inclui hidrólise direta, estimulação da população microbiana, sinergismo com enzimas microbianas e melhor aderência microbiana às partículas de alimento (Beauchemin et al., 2004; Salem et al., 2013).

A maioria das pesquisas em ruminantes avaliaram os potenciais efeitos de enzimas fibrolíticas exógenas (por exemplo, xilanase e celulase) em melhorar a digestibilidade da fibra no rúmen (NASEM, 2016; Beauchemin et al., 2018), porque o aumento da digestibilidade da fibra pode aumentar a ingestão de energia pelo animal. Ainda, a melhoria da digestibilidade da fibra no rúmen estimula o crescimento microbiano, o que geralmente aumenta a oferta de proteína metabolizável ao animal. Como resultado, melhores produtividade e EA podem ser alcançadas. Menos trabalhos têm sido realizados em relação a outros tipos de enzimas exógenas, como amilases e proteases.

As pesquisas realizadas avaliaram vários produtos enzimáticos que foram aplicados em várias doses de várias maneiras (por exemplo, pulverizado sobre forragem, adicionado ao concentrado, etc.) a diferentes tipos de dietas oferecidas a diferentes categorias de animais (por exemplo, gado de

corte em crescimento e terminação, vacas leiteiras em lactação, etc.); assim, os resultados mostraram alta variabilidade. Por exemplo, maior digestibilidade (particularmente da fibra), desempenho produtivo (GMD, PC final e/ou EA) e/ou características de carcaça foram relatadas em alguns estudos (Salem et al., 2013; Neumann et al., 2018; Lourenco et al., 2020) mas não em outros (ZoBell et al., 2000; Miller et al., 2008; Encinas et al., 2018) quando enzimas fibrolíticas exógenas foram suplementadas em dietas com alto teor de forragem e concentrado fornecidas para bovinos em crescimento e terminação.

Em um estudo meta-analítico, Tirado-González et al. (2018) avaliaram os efeitos do uso de enzimas fibrolíticas exógenas em dietas de ruminantes com conteúdo variável de forragem (gramíneas ou leguminosas) sobre o desempenho produtivo de vacas leiteiras em lactação, bovinos de corte em crescimento e ovinos. O trabalho incluiu dados de 74 artigos publicados em periódicos. Em geral, os resultados sugeriram que a inclusão de enzimas fibrolíticas exógenas melhora o desempenho produtivo de bovinos de leite e de corte, mas as respostas foram dependentes da atividade enzimática (celulases, xilanases ou diferentes misturas de ambas) de acordo com a composição da dieta (tipo de forragem, relação volumoso:concentrado). Vale ressaltar que as enzimas fibrolíticas exógenas melhoraram o desempenho produtivo em bovinos leiteiros quando suplementadas em dietas com alto teor de forragem, enquanto melhores respostas produtivas em bovinos de corte foram observadas quando enzimas fibrolíticas exógenas foram adicionadas a dietas com baixo teor de forragem. Os efeitos da suplementação de enzimas fibrolíticas exógenas sobre o desempenho produtivo de ovinos foram inconsistentes. Esses resultados sugerem que as respostas às enzimas fibrolíticas exógenas são maiores quando a energia limita a produtividade animal, o que geralmente é o caso de vacas leiteiras em lactação e bovinos de corte em rápido crescimento.

Embora estudos tenham levantado a hipótese de que a digestão de amido e proteína não seria limitada no rúmen, alguns trabalhos tem sido realizados com o intuito de avaliar o potencial de uso da suplementação de enzimas exógenas com atividade amilolítica (Tricarico et al., 2007; DiLorenzo et al., 2011; de Oliveira et al., 2015) e proteolítica (Licitra et al., 1999; Vera et al., 2012; Amaro et al., 2021) para melhorar o desempenho produtivo de ruminantes. De forma geral, o uso de amilases e proteases exógenas parece ter potencial de melhorar a digestão dos alimentos e o desempenho produtivo de bovinos, especialmente quando adicionados a dietas ricas em grãos (Tricarico et al., 2007; Vera et al., 2012; Jolly-Breithaupt et al., 2019).

Além disso, estudos recentes (Gouvêa et al., 2019; Meschiatti et al., 2019; Toseti et al., 2020) sugeriram um efeito sinérgico positivo sobre o CMS e a digestibilidade do amido e, consequentemente, melhoria do desempenho animal, quando OE e α-amilase exógena foram incluídos em dietas de confinamento, quando comparados com outros aditivos, como monensina. Espera-se que o uso de aditivos enzimáticos aumente à medida que o uso de antibióticos nas dietas de ruminantes diminua. Contudo, os resultados de experimentos com enzimas exógenas para ruminantes ainda são inconsistentes ou limitados. Portanto, embora muito progresso tenha sido feito em relação a tecnologia de enzimas exógenas, não se pode concluir no momento que a suplementação de enzimas possa ser uma maneira eficaz de aumentar a produtividade de ruminantes.

3-nitrooxipropanol (3-NOP)

O 3-nitrooxipropanol (3-NOP; DSM Nutritional Products Ltd., Kaiseraugst, Suíça), comercializado como Bovaer® desde 2021 no Brasil, é um inibidor da produção de CH_4 ruminal através da inativação da enzima metil-coenzima M redutase utilizada por *archaea*s (Duin et al., 2016). A suplementação de 3-NOP parece não ter efeitos adversos nos bovinos ou outros microrganismos ruminais (Jayanegara et al., 2018; Honan et al., 2022). Ainda, os resíduos de 3-NOP no leite e na carne são mínimos ou inexistentes (Thiel et al., 2019), sendo os riscos de segurança desse aditivo aparentemente baixos.

Os resultados sobre a mitigação de CH_4 por 3-NOP têm sido promissores. Vyas et al. (2016) relataram que a suplementação de 200 mg/kg MS de 3-NOP reduziu a produção de

CH_4 em bovinos de corte em crescimento e terminação em 37,6% e 84,3%, respectivamente, quando comparados com o grupo controle. Da mesma forma, Alemu et al. (2021) relataram uma diminuição na produção de CH_4 de 25,7%, em média, em machos castrados em crescimento suplementados com doses crescentes de 3-NOP (de 150 a 200 mg/kg de MS), enquanto McGuinn et al. (2019), utilizando o nível de suplementação de 125 mg/kg MS para bovinos de corte em terminação, encontraram uma redução de aproximadamente 70% na produção de CH_4. Em uma metanálise, Hristov et al. (2022) demonstraram uma redução consistente de 28 a 32% nas emissões de CH_4 em vacas leiteiras alimentadas com 3-NOP em doses variando de 40 a 200 mg/kg MS, sem efeito sobre o CMS, produção de leite, PC ou mudança no PC, e um ligeiro aumento na concentração (0,19%) e rendimento (90 g/dia) de gordura do leite.

De fato, os efeitos do 3-NOP parecem depender da dose, tipo de animal, características da dieta e duração da suplementação. Em uma meta-análise sobre os efeitos do 3-NOP em bovinos de leite e de corte, Dijkstra et al. (2018) concluíram que o efeito de mitigação de CH_4 deste composto foi dependente da dose utilizada e foi menos pronunciado em bovinos de corte (redução de 22%) do que em bovinos leiteiros (redução de 39%), bem como o aumento do teor de FDN da dieta diminuiu a eficácia do aditivo. Portanto, para um mesmo tipo de animal e dose aplicada, o efeito de mitigação do 3-NOP foi maior em dietas mais concentradas.

Um estudo metanalítico mais recente relatou que o aumento da dose de 3-NOP diminuiu linearmente a emissão de CH_4 (g/kg CMS), independentemente do tipo de animal e duração do período de alimentação, bem como a proporção de acetato e a relação acetato: propionato (A: P) em bovinos de leite e de corte (Kim et al., 2020). Além disso, esses autores também observaram uma tendência de diminuição do CMS em bovinos de corte, mas não em bovinos leiteiros, com o aumento da dose de 3-NOP, enquanto a maior suplementação de 3-NOP tendeu a diminuir a produção de leite (kg/dia) e aumentou a gordura do leite (%) e proteína (%). Os efeitos da suplementação de 3-NOP sobre o GMD, PC ou EA de bovinos de corte não foram avaliados no estudo de Kim et al. (2020).

Em contraste, embora as emissões de CH_4 tenham diminuído linearmente, o aumento do nível de suplementação de 3-NOP não teve efeito sobre o CMS de ruminantes (vacas leiteiras, gado de corte e ovinos; Jayanegara et al., 2018). Além disso, o desempenho produtivo de bovinos de leite e de corte não foi influenciado pelo uso de 3-NOP neste estudo, exceto a EA e gordura do leite (%). Melhores EA e gordura do leite (%) foram observados para animais recebendo 3-NOP, sugerindo uma maior disponibilidade de energia devido a redução das emissões de CH_4. Há relatos na literatura que suportam esses achados, nos quais foram observados maiores teores de gordura do leite e melhores EA sem efeito sobre a produção de leite e GMD, quando se fornece 3-NOP para bovinos de leite e de corte, respectivamente (Vyas et al., 2018; Hristov et al., 2022). Contudo, menores CMS para bovinos de corte alimentados com dieta rica em forragem tem sido frequentemente observados (Romero-Perez et al., 2014; Vyas et al., 2016; Vyas et al., 2018).

Outros fatores podem afetar a resposta à suplementação com 3-NOP, como o método utilizado para medir as emissões de CH_4 (câmaras respirométricas, técnica do gás traçador [SF6] e sistema Greenfeed) e os efeitos de interação, quando o 3-NOP é combinado com outras estratégias de mitigação. Gruninger et al. (2022) mostraram que a combinação de 3-NOP com óleo de canola em uma dieta rica em forragem para bovinos de corte resultou em um efeito aditivo sobre a redução da emissão de CH_4 em g/kg MS(3-NOP = -28%; óleo de canola = -24%; 3 -NOP + óleo de canola = -52%).

O 3-NOP parece ser uma estratégia eficaz para mitigar as emissões de CH_4 de ruminantes. No entanto, os resultados sobre o desempenho animal (especialmente o CMS) têm sido mais variáveis. Além disso, pouco se sabe sobre a eficácia do 3-NOP para animais em pastejo e seus impactos a longo prazo. Ainda, os autores não têm conhecimento de nenhum estudo publicado avaliando o 3-NOP em condições brasileiras. Assim, ainda são necessárias mais informações sobre o uso de 3-NOP em uma maior gama de sistemas de alimentação e por períodos mais prolongados.

META-ANÁLISE

O uso de aditivos em dietas de bovinos de corte pode melhorar o desempenho produtivo. Contudo, a literatura mostra resultados inconsistentes para a maioria dos aditivos disponíveis. Além disso, a maioria dos estudos sobre os efeitos dos aditivos para bovinos foi realizada em condições temperadas. Nesse contexto, como a meta-análise pode sintetizar resultados de diferentes estudos, o comitê da edição atual do BR-CORTE avaliou os efeitos da monensina e dos OF sobre o desempenho produtivo e os parâmetros ruminais de bovinos criados em condições brasileiras por meio de um método meta-analítico.

Banco de dados

Um processo de busca e triagem de literatura foi realizado usando geradores de busca de dados públicos, como *Google Scholar*, *Science direct* e *Scielo*, para criar um banco de dados de estudos realizados no Brasil avaliando o uso de aditivos usando as palavras-chave: *"feed additives, cattle, and Brazil", "additive, cattle, and Brazil", "monensin, cattle, and Brazil", "essential oils, cattle, and Brazil" or "functional oils, cattle, and Brazil"*. As mesmas palavras-chave também foram pesquisadas em Português. Não foram utilizadas restrições de data na busca; assim, estudos publicados em qualquer data estavam disponíveis para pesquisa. Além disso, pesquisadores e organizações brasileiras foram consultados quando ao envio de dados publicados ou não que poderiam ser utilizados para essa análise. Os experimentos foram tratados individualmente, mesmo que tenham sido publicados no mesmo estudo.

Todos os dados foram inicialmente avaliados quanto à aceitabilidade, determinando se a pesquisa foi realizada no Brasil e qual aditivo foi usado. Artigos que avaliaram os efeitos de OE e OF, bem como seus compostos bioativos específicos e *blends* foram elegíveis para inclusão no banco de dados como OF, visto que OF é um termo mais genérico. Assim, daqui em diante OE, OF, compostos bioativos e *blends* são referidos simplesmente como OF. A triagem inicial dos dados foi realizada por dois autores. Quaisquer rejeições e inclusões foram revisadas por um dos autores e confirmadas por outros dois autores. Os estudos deveriam ser ensaios aleatórios (delineamentos inteiramente casualizado, em blocos completos ou esquemas fatoriais) realizados em condições brasileiras e conter tratamento controle para serem elegíveis. Cada tratamento (controle, monensina e OF) deveria apresentar o número de animais/baias por tratamento, média do tratamento e uma medida de dispersão.

Como resultado, um total de 22 artigos publicados ou não foram obtidos (Tabela 16.1). A lista completa dos experimentos utilizados pode ser encontrada no Apêndice 16.1. Foram incluídos dados de animais de diferentes classes (machos não castrados, machos castrados, fêmeas e vacas) de diferentes grupos genéticos (*Bos taurus taurus, Bos taurus indicus* ou cruzados), criados em confinamento. Outros fatores que poderiam influenciar os resultados foram incluídos no processo de extração de dados: estado fisiológico (crescimento, terminação ou vaca), dose do tratamento (mg/kg MS), dias em alimentação, relação volumoso:concentrado, tipo de estudo (publicado [P] ou não [N]) e condição do animal (fistulado ou não).

Tabela 16.1 - Descrição dos experimentos incluídos no banco de dados

Estudo	Fonte P = publicado N = não publicado	Tratamentos, n	Classe animal	Grupo Genético	Sistema de produção	Fistulado S = Sim N = Não	Estado fisiológico	Dias em alimentação	Repetições por tratamento, n	Aditivo MON = monensina OF = óleos funcionais	Doses testadas (mg/kg MS)	Variáveis[1]
Chagas, L. J.	N	4	Macho não castrado	*Bos taurus indicus*	Confinado	Não	Terminação	124	10	MON, OF	MON = 30 OF = 300 e 500	CMS, PC, GMD, PCARC, EA
Fonseca et al.	P	4	Macho não castrado	*Cruzado*	Confinado	Não	Crescimento	70	5	MON	22	CMS, GMD, EA
Mogentale et al.	P	3	Vaca	Cruzado	Confinado	Sim	Vaca	21	4	MON	26.5	CMS, pH ruminal, NH_3, AGV, acetato, propionato, butirato, A:P
Gomes et al.	P	4	Macho castrado	*Bos taurus indicus*	Confinado	Não	Terminação	84	18	MON	30	CMS, PC, GMD
Maturana Filho et a	P	3	Macho castrado	*Bos taurus indicus*	Confinado	Não	Terminação	84	6	MON	30.8	CMS, PC, GMD, EA
Pereira, M. C. S.	N	5	Macho não castrado	*Bos taurus indicus*	Confinado	Não	Terminação	70	12	MON	9, 18, 27, e 36	CMS, PC, GMD, PCARC, EA
Prado et al.	P	4	Macho castrado	*Bos taurus taurus*	Confinado	Sim	Crescimento	21	4	MON	32.8	CMS, pH ruminal, NH_3, AGV, acatato, propionato, butirato, A:P
Ribeiro, F. G.	N	4	Fêmea	*Bos taurus taurus*	Confinado	Não	Terminação	84	16	MON	13.3	CMS, PC, GMD, PCARC, EA
Segabinazzi, L. R.	N	3	Vaca	*Cruzado*	Confinado	Não	Vaca	64	8	MON	24.2	CMS, PC, GMD, EA
Sitta, C.	N	5	Macho não castrado	*Bos taurus indicus*	Confinado	Não	Terminação	102	22	MON	30	CMS, PC, GMD, EA
Sitta, C.	N	5	Macho não castrado	*Bos taurus indicus*	Confinado	Não	Terminação	109	23	MON	30	PC, GMD, EA
Zawadzki et al.	P	3	Macho não castrado	*Bos taurus indicus*	Confinado	Não	Terminação	84	11	MON	32.8	CMS, PC, GMD, PCARC, EA
Souza, K. A.	N	5	Fêmea	*Bos taurus indicus*	Confinado	Não	Terminação	73	8	OF	789, 640, 678, e 644	CMS, PC, GMD, PCARC, EA

[1]CMS = consumo de matéria seca; PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; PCARC = peso de carcaça; EA = eficiência alimentar; NH_3 = amônia ruminal; AGV = ácidos graxos voláteis; A:P = relação acetato:propionato.

Tabela 16.1 - Descrição dos experimentos incluídos no banco de dados (continuação)

Estudo	Fonte P = publicado N = não publicado	Tratamentos, n	Classe animal	Grupo Genético	Sistema de produção	Fistulado S = Sim N = Não	Estado fisiológico	Dias em alimentação	Repetições por tratamento, n	Aditivo MON = monensina OF = óleos funcionais	Doses testadas (mg/kg MS)	Variáveis[1]
Zotti, C. A.	N	4	Macho castrado	*Bos taurus indicus*	Confinado	Sim	Terminação	21	6	MON, OF	MON = 30 e 40 OF = 400	CMS, pH ruminal, NH_3, AGV, acetato, propionato, butirato, A:P
Almeida et. al.	P	5	Macho castrado	*Bos taurus indicus*	Confinado	Sim	Terminação	21	5	MON, OF	MON = 30 OF = 500	CMS, acetato, propionato, butirato, A:P
Fugita et al.	P	4	Macho não castrado	Cruzado	Confinado	Não	Terminação	-	12	OF	485	CMS, PC, GMD, PCARC, EA
Martinele et al.	P	4	Vaca	Cruzado	Confinado	Sim	Vaca	21	4	MON	33	CMS, pH ruminal, NH_3, AGV, acetato, propionato, butirato, A:P
Melo et al.	P	4	Macho não castrado	*Bos taurus indicus*	Confinado	Não	Terminação	89	6	MON, OF	MON = 27 OF = 500	CMS, PC, GMD, PCARC, EA
Perna Júnior et al.	P	3	Vaca	*Bos taurus taurus*	Confinado	Sim	Vaca	30	6	MON	17.8	CMS, pH ruminal
Chagas, L. J.	N	4	Macho castrado	*Bos taurus indicus*	Confinado	Sim	Terminação	21	4	MON, OF	MON = 25 OF = 300	CMS, pH ruminal, NH_3, AGV, acetato, propionato, butirato
Figueira, D.	N	5	Macho não castrado	*Bos taurus indicus*	Confinado	Não	Terminação	112	7	MON	20	CMS, PC, GMD, PCARC, EA
Benatti, J. M. B.	N	4	Macho não castrado	*Bos taurus indicus*	Confinado	Não	Terminação	84	11	MON	7	CMS, PC, GMD, PCARC, EA

[1]CMS = consumo de matéria seca; PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; PCARC = peso de carcaça; EA = eficiência alimentar; NH_3 = amônia ruminal; AGV = ácidos graxos voláteis; A:P = relação acetato:propionato.

Nem todas as variáveis de resposta estavam disponíveis para cada aditivo e em todas as observações, levando a muitos dados ausentes. Portanto, subconjuntos de dados para cada aditivo testado foram construídos de acordo com cada variável dependente: CMS, PC, GMD, EA, peso de carcaça (PCARC), pH ruminal, amônia ruminal ($N\text{-}NH_3$), AGV totais, acetato (% do AGV totais), propionato (% do AGV totais), butirato (% do AGV totais) e relação acetato:propionato (A:P). Ainda, devido ao número limitado de estudos obtidos e para evitar vieses que possam ocorrer a partir de diferenças em relação às condições experimentais (grupo genético, classe animal, PC, etc.), a análise de cada variável dentro de cada aditivo foi realizada baseada nas diferenças ajustadas de acordo com os valores do tratamento controle correspondentes (diferença = (valor no tratamento com aditivo – valor do tratamento controle)/valor do tratamento controle). Isso removeu qualquer efeito de viés entre estudos (Ellis et al., 2012).

Análises estatísticas

Uma meta-análise foi realizada através do procedimento MIXED do SAS (versão 9.4, Inst. Inc., Cary, NC, EUA). Um modelo de efeito fixo foi primeiro conduzido para cada parâmetro dentro de cada aditivo avaliado para estimar o efeito (*effect size*; ES), intervalo de confiança de 95% (IC) e significância estatística do efeito. As diferenças de tratamento relativas ao controle foram ajustadas pelo inverso da variância (*weighted mean differences*; WMD).

A heterogeneidade entre os estudos foi quantificada usando a estatística I^2 (Higgins et al., 2003), a qual descreve a porcentagem da variação total entre os experimentos que se deve à heterogeneidade e não ao acaso. Os intervalos de incerteza para I^2 foram calculados. Valores negativos de I^2 foram igualados a 0 (Duffield et al., 2012; Torres et al., 2021). Consequentemente, I^2 está entre 0 e 1. Valor superior a 0,5 foi considerado heterogeneidade substancial (Duffield et al., 2012). Se houvesse evidência de heterogeneidade, um modelo de efeitos aleatórios foi usado. Um nível de 0,05 foi estabelecido como o nível crítico de probabilidade para um erro do tipo I.

Resultados

O resumo dos experimentos usados para este estudo metanalítico é fornecido na Tabela 16.1 e a estatística descritiva do banco de dados utilizado para avaliar os efeitos da monensina e dos FO está disponível na Tabela 16.2. O número total de bovinos incluídos neste estudo quanto aos efeitos da monensina e FO sobre o desempenho produtivo e parâmetros ruminais foram: 448 e 153 para CMS; 353 e 118 para PC; 363 e 118 para GMD; 327 e 118 para EA; 196 e 118 para PCARC; 70 e 20 para pH ruminal; 58 e 20 para $N\text{-}NH_3$; 73 e 35 para AGV totais, acetato (% AGV totais), propionato (% AGV totais) e butirato (% AGV totais); e 65 e 27 para A:P, respectivamente. A dose média de monensina testada foi de 24,3 mg/kg MS, com variação de 7 a 40 mg/kg MS, enquanto a dose média de OF avaliada foi de 488 mg/kg MS, com variação de 300 a 789 mg/kg MS . Todos os estudos utilizaram o sistema de alimentação com dieta total (*total mixed ration*; TMR), a relação volumoso:concentrado variou de 72,5:27,5 a 7,75:92,25 nos estudos de monensina e de 50:50 a 12:88 nos estudos de OF.

Monensina

O resumo da meta-análise para cada variável resposta da suplementação de monensina é apresentado na Tabela 16.3. Houve heterogeneidade entre os estudos na resposta da monensina sobre a A:P (I^2 = 0,75; IC = 0, 0,87). De acordo com Higgins et al. (2003), valores da estatística I^2 acima de 0,5 denotam alta heterogeneidade. Assim, o modelo para A:P foi avaliado usando efeito aleatório de experimento. Nesse contexto, se a variância entre estudos não fosse considerada no modelo, inflaria a variância residual. Consequentemente, o aumento da variância residual promoveria uma maior taxa de erro tipo II. Ou seja, o erro que ocorre quando se aceita uma hipótese nula que na verdade é falsa (resposta falso-negativa).

Tabela 16.2 - Estatística descritiva de banco de dados utilizado para avaliar os efeitos da monensina e óleos funcionais no desempenho produtivo e características ruminais de bovinos criados em condições brasileiras

Item[1]	Estudos	n	Média	DP	Máximo	Mínimo
Monensina						
Consumo de matéria seca (kg)	20	448	10,5	2,80	18,0	6,10
Peso corporal (kg)	12	353	504	43,0	597	426
Ganho médio diário (kg/d)	13	363	1,33	0,187	1,58	0,87
Eficiência alimentar	13	327	0,13	0,028	0,22	0,09
Peso de carcaça quente (kg)	7	196	283	34,0	341	223
pH ruminal	6	70	6,21	0,324	6,75	5,74
N-NH_3 ruminal (mg/dL)	5	58	11,6	5,54	20,5	6,72
AGV totais (mM)	6	73	109	15,2	142	81,0
Acetato (% AGV totais)	6	73	60,1	9,08	71,7	46,4
Propionato (% AGV totais)	6	73	27,6	5,09	37,3	19,9
Butirato (% AGV totais)	6	73	9,37	3,674	14,6	5,32
Relação acetato:propionato (A:P)	5	65	2,52	0,879	4,23	1,31
Óleos funcionais						
Consumo de matéria seca (kg)	7	153	8,24	1,699	10,3	5,07
Peso corporal (kg)	4	118	439	69,6	506	343
Ganho médio diário (kg/d)	4	118	1,17	0,357	1,76	0,47
Eficiência alimentar	4	118	0,14	0,032	0,19	0,09
Peso de carcaça quente (kg)	4	118	238	40,1	282	186
pH ruminal	2	20	5,87	0,128	6,06	5,79
N-NH_3 ruminal (mg/dL)	2	20	13,9	6,97	20,3	7,32
AGV totais (mM)	3	35	124	20,0	147	101
Acetato (% AGV totais)	3	35	56,9	8,86	69,1	45,6
Propionato (% AGV totais)	3	35	29,0	5,84	37,3	23,0
Butirato (% AGV totais)	3	35	11,3	3,94	14,7	6,2
Relação acetato:propionato (A:P)	2	27	1,85	0,632	2,59	1,27

[1]AGV = ácidos graxos voláteis.

Tabela 16.3 - Resumo das estimativas do efeito (*effect size*) da monensina sobre o desempenho produtivo e características ruminais em bovinos criados em condições brasileiras

Variáveis[1]	Diferença média ajustada relativa ao controle (95% IC)[2]	% Variação	Estudos, n	Animais, n	I^2 (95% intervalo de incerteza)[3]	Efeito (*effect size*) P-value
Consumo de matéria seca (kg/d)	-0,45 (-0,58,-0,32)	-4,96	20	448	0 (0, 0,28)	<0,001
Peso corporal (kg)	-1,03 (-4,57, 2,52)	-0,22	12	353	0 (0, 0,01)	0,838
Ganho médio diário (kg/d)	-0,007 (-0,04, 0,03)	-0,58	13	363	0 (0, 0,01)	0,932
Eficiência alimentar	0,0003 (-0,004,0,004)	0,93	13	327	0 (0, 0,05)	0,991
Peso de carcaça (kg)	-1,67 (-5,57, 2,23)	-0,69	7	196	0 (0, 0,01)	0,672
pH ruminal	-0,06 (-0,08, -0,03)	-0,96	6	70	0 (0, 0,01)	0,001
N-NH_3 ruminal (mg/dL)	0,26 (-0,10, 0,63)	-3,30	5	58	0 (0, 0,01)	0,322
AGV totais (mM)	-3,38 (-6,65, -0,10)	-2,99	6	73	0,06 (0, 0,43)	0,123
Acetato (% AGV totais)	-3,07 (-3,96, -2,18)	-5,28	6	73	0 (0, 0,30)	<0,001
Propionato (% AGV totais)	4,08 (3,17, 4,99)	22,2	6	73	0 (0, 0,27)	<0,001
Butirato (% AGV totais)	-0,13 (-0,62, 0,37)	-1,60	6	73	0,10 (0, 0,38)	0,860
Relação Acetato:propionato (A:P)	-0,33 (-0,64, -0,02)	-10,3	5	65	0,75 (0, 0,87)	0,062

[1]AGV = ácidos graxos voláteis.
[2]Diferença média ajustada relativa ao controle, onde os ajustes utilizados foram o inverso da variância das diferenças das médias; IC = intervalo de confiança.
[3]I^2 é uma medida de variação além do acaso (Higgins et al., 2003).

A suplementação de monensina reduziu o CMS (– 0,45 kg; % variação = -4,96; P < 0,001), pH ruminal (– 0,06; % variação = -0,96; P = 0,001) e concentração de acetato (-0,45; % variação = -0,96; P < 0,001). A concentração de propionato aumentou com a inclusão de monensina nas dietas (4,08; % variação = 22,2; P < 0,001). No entanto, não houve efeito da suplementação da dieta com monensina sobre o PC, GMD, EA, PCARC, concentração ruminal de N-NH_3, AGV totais, concentração de butirato ou A:P (P ≥ 0,062).

Óleos funcionais

Os resultados da meta-análise sobre os efeitos da inclusão de OF nas dietas dos bovinos estão descritos na Tabela 16.4. Alta heterogeneidade entre os estudos foi observada quando os efeitos do OF sobre o GMD, pH ruminal e A:P foram avaliados no presente estudo (I^2 = 0,54 e IC = 0, 0,73 para GMD; I^2 = 0,53 e IC = 0, 0,53 para pH ruminal; e I^2 = 0,71 e IC = 0, 0,74 para A:P). Portanto, os modelos para GMD, pH ruminal e A:P foram avaliados usando efeito aleatório de experimento. Conforme discutido na seção anterior, se essa variância entre estudos não fosse considerada no modelo, aumentaria a probabilidade de ocorrência do erro tipo II.

A inclusão de OF aumentou o PC (12,9 kg; % variação = 3,75; P = 0,047) e PCARC (7,21 kg; % variação = 3,80; P = 0,017) e reduziu a concentração ruminal de N-NH_3 (- 0,81 mg/dL; % variação = 4,40; P = 0,009) e AGV totais (- 3,62 mM; % variação = - 3,01; P = 0,022). Contudo, não foram observados efeitos da suplementação de OF sobre o CMS, GMD, EA, pH ruminal, A:P ou concentrações de acetato, propionato e butirato no rúmen (P ≥ 0,157).

Tabela 16.4 - Resumo das estimativas do efeito (*effect size*) dos óleos funcionais sobre o desempenho produtivo e características ruminais em bovinos criados em condições brasileiras

Variáveis[1]	Diferença média ajustada relativa ao controle (95% IC)[2]	% Variação	Estudos, n	Animais, n	I^2 (95% intervalo de incerteza)[3]	Efeito (*effect size*) P-value
Consumo de matéria seca (kg/d)	0,24 (-0,02; 0,50)	4,05	7	153	0,04 (0; 0,37)	0,157
Peso corporal (kg)	12,9 (3,05; 22,8)	3,75	4	118	0 (0; 0,01)	0,047
Ganho médio diário (kg/dia)	0,09 (-0,05; 0,24)	12,5	4	118	0,54 (0; 0,73)	0,364
Eficiência alimentar	0,0008 (-0,004; 0,006)	0,04	4	118	0 (0; 0,01)	0,941
Peso de carcaça (kg)	7,21 (2,76; 11,7)	3,80	4	118	0 (0; 0,01)	0,017
pH ruminal	-0,02 (-0,59; 0,56)	-0,26	2	20	0,53 (0; 0,53)	0,944
N-NH_3 ruminal (mg/dL)	-0,81 (-1,05; -0,57)	-4,40	2	20	0 (0; 0,01)	0,009
AGV totais (mM)	-3,62 (-5,81; -1,42)	-3,01	3	35	0 (0; 0,01)	0,022
Acetato (% AGV totais)	-0,70 (-2,74; 1,34)	-14,6	3	35	0 (0; 0,01)	0,697
Propionato (% AGV totais)	0,08 (0,36; 0,73)	1,10	3	35	0 (0; 0,01)	0,996
Butirato (% AGV totais)	0,04 (-0,92; 1,00)	-0,01	3	35	0 (0; 0,18)	0,994
Relação Acetato:propionato (A:P)	0,07 (-0,41; 0,56)	6,70	2	27	0,71 (0; 0,74)	0,832

[1]AGV = ácidos graxos voláteis.
[2]Diferença média ajustada relativa ao controle, onde os ajustes utilizados foram o inverso da variância das diferenças das médias; IC = intervalo de confiança.
[3]I^2 é uma medida de variação além do acaso (Higgins et al., 2003).

Discussão

Para o conhecimento dos autores, esta é a primeira tentativa de resumir estudos avaliando os efeitos da monensina e OF em dietas de bovinos que foram conduzidos nas condições brasileiras. Apesar do número limitado de estudos no banco de dados, os principais resultados parecem corroborar com dados publicados anteriormente sobre os efeitos da monensina ou OF em dietas de bovinos em todo o mundo.

Os principais resultados obtidos para a análise da monensina concordaram com seus principais efeitos relatados para bovinos confinados na literatura, que incluem fermentação ruminal alterada para mais propionato e menos acetato e diminuição do consumo de alimentos com pouco ou nenhum efeito sobre o GMD (Maturana Filho et al., 2010; Ellis et al., 2012; Melo et al., 2020). No presente estudo, bovinos recebendo monensina apresentaram uma redução de aproximadamente 5% no CMS e concentração de acetato, bem como um aumento de 22% na concentração de propionato. Semelhantemente, Goodrich et al. (1984) e Duffield et al. (2012) concluíram em dois estudos metanalíticos que a inclusão de monensina em doses médias de 31,8 e 28,1 mg/kg MS em dietas de bovinos de corte reduziu o CMS em 6,4 e 3%, respectivamente. Além disso, respostas similares à monensina sobre a fermentação ruminal foram obtidas por McGinn et al. (2004) e Tomkins et al. (2015). Esses autores descreveram um aumento nas concentrações de propionato de 18 e 23,7% e uma diminuição na concentração de acetato de 3,6 e 5%, quando a monensina foi adicionada a dietas com alto teor de concentrado e alto teor de volumoso, respectivamente. Entretanto, diferentemente dos resultados obtidos pelas meta-análises de Goodrich et al. (1984) e Duffield et al. (2012), nenhum efeito da monensina foi observado sobre GMD ou EA no presente estudo.

Conforme discutido anteriormente, os resultados sobre os efeitos do OF sobre o desempenho produtivo e parâmetros de fermentação ruminal de bovinos têm sido variáveis devido a muitos fatores, como o tipo de OF, as doses utilizadas e a composição da dieta. De fato, a heterogeneidade entre os estudos foi mais pronunciada nos resultados dos OF, quando comparado aos resultados da monensina no presente estudo. A maior heterogeneidade entre os estudos, juntamente com o número limitado de estudos no banco de dados, pode ter prejudicado a obtenção de diferenças significativas mesmo quando ocorreram grandes mudanças numéricas devido à suplementação de OF, como para a variável GMD (aumento de 12%). No entanto, os efeitos significativos da suplementação de OF para bovinos observados neste estudo concordaram com resultados anteriores encontrados na literatura.

Alguns estudos descreveram melhora no GMD, PC final e/ou PCARC quando OF foram incluídos nas dietas de bovinos de corte, o que geralmente foi associado ao aumento do CMS e ausência de efeito sobre a EA (Valero et al., 2014; Ornaghi et al., 2017; Silva et al., 2019). Esses efeitos positivos da suplementação de OF corroboram parcialmente com os resultados obtidos, uma vez que a EA não foi afetada e um aumento de aproximadamente 3,8% no peso corporal e de carcaça foram observados para bovinos recebendo OF. Entretando, nenhum efeito significativo da suplementação de OF sobre o CMS ou GMD foi observado no presente estudo.

Muitos estudos disponíveis na literatura sobre suplementação de OF em ruminantes indicam que as concentrações totais de AGV permanecem inalteradas ao invés de aumentar ou até mesmo diminuir (Khorrami et al., 2015; Tomkins et al., 2015; Ghizzi et al., 2018), o que não é consistente com os resultados do presente estudo. No entanto, as concentrações totais de AGV inalteradas devido aos OF ainda podem ser benéficas se a concentração ruminal de $N\text{-}NH_3$ diminuir.

No presente estudo, a inclusão de OF reduziu a concentração ruminal de $N\text{-}NH_3$ em 4,4%, indicando que os OF podem ser eficazes na redução da perda de proteína da dieta devido à menor degradação ruminal. Em concordância, alguns estudos têm associado a inclusão de OF na dieta com redução na degradação ruminal de proteínas e aminoácidos (McIntosh et al., 2003; Cardozo et al., 2006; Bodas et al., 2012), resultando em concentrações reduzidas de amônia ruminal e

maior passagem de proteína para o intestino delgado.

Conforme discutido anteriormente, vários estudos avaliaram os efeitos de aditivos, como monensina e OF, na produtividade de bovinos criados em clima temperado (Goodrich et al., 1984; Duffield et al., 2012; Khiaosa-Ard and Zebeli, 2013), e recomendações gerais foram feitas pelo Sistema Norte-Americano (NASEM, 2016) para ajustar as exigências nutricionais de bovinos de corte recebendo aditivos.

Os resultados do presente estudo sugerem que monensina e OF podem afetar positivamente o metabolismo ruminal e o desempenho produtivo de bovinos. O comitê recomenda reduzir o CMS estimado em 5% quando monensina é incluída nas dietas de confinamento. Embora a inclusão de OF nas dietas de bovinos tenha aumentado numericamente o CMS e GMD em aproximadamente 4 e 12,5%, respectivamente, nenhum ajuste é proposto pelo atual comitê do BR-CORTE, pois esses efeitos não foram significativos. Mais pesquisas são necessárias para se determinar os efeitos dos OF sobre o CMS e GMD de bovinos criados em condições brasileiras.

Vale ressaltar que o aumento de cerca de 22% na concentração de propionato e a redução de aproximadamente 5% nas concentrações de acetato promovidas pela monensina podem ter melhorado a utilização de energia pelos bovinos. Estequiometricamente, a produção de gás (dióxido de carbono e metano) e, consequentemente, a perda de energia no rúmen geralmente é reduzida quando a fermentação é direcionada para mais propionato do que acetato (Wolin et al., 1997). Durante a formação do propionato, nenhum gás é gerado, mas ao contrário do acetato e butirato, parte do excesso de hidrogênio gerado durante sua produção é usado para formar propionato.

OUTROS ESTUDOS BRASILEIROS COM ADITIVOS

Infelizmente, não foi possível reunir dados suficientes para realizar estudos metanalíticos sobre o uso de outros aditivos em condições brasileiras. No entanto, foi realizada uma triagem de literatura semelhante à relatada no tópico anterior para monensina e OF, e os dados obtidos foram descritos na Tabela 16.5 (A lista de estudos está disponível no Apêndice 16.2).

Em geral, foram observadas reduções numéricas de 1,15, 0,83 e 0,85 kg/dia no CMS quando a monensina foi utilizada em associação com OF, virginiamicina ou levedura, respectivamente. Além disso, houve aumento numérico no PC de 11,3, 8,90 e 14,1 kg quando a virginiamicina foi incluída nas dietas dos bovinos isoladamente ou em associação com monensina ou levedura, respectivamente.

A inclusão de virginiamicina combinada com monensina reduziu numericamente o GMD em 0,090 kg/dia, enquanto a associação de virginimicina e levedura aumentou numericamente o GMD em 0,13 kg/dia. Além disso, a adição de salinomicina em dietas de bovinos aumentou numericamente o PC e GMD em 9,5 kg e 0,060 kg/dia, respectivamente. Contudo, maiores aumentos numéricos de EA somente foram observados quando monensina em associação com OF ou levedura foram incluídos nas dietas de bovinos. Esses resultados preliminares corroboram com a discussão realizada nos tópicos anteriores deste capítulo. No entanto, mais resultados experimentais são necessários para se chegar a qualquer conclusão sobre os efeitos desses aditivos nas dietas de bovinos.

Tabela 16.5 - Diferenças numéricas médias obtidas em relação ao controle para diferentes aditivos alimentares, para consumo de matéria seca (CMS), peso corporal (PC), ganho médio diário (GMD) eficiência alimentar (EA) e peso de carcaça (PCARC)

Item	Estudo	CMS (kg/dia)	PC (kg)	GMD (kg/dia)	EA	PCARC (kg)
Lasalocida	Cortada Neto, I. M.; Gonçalves, P. H.; Maturana Filho et al.	-0,08	-0,52	-0,01	0,003	4,00
Monensina + óleos funcionais	Melo et al.; Chagas, L. J.	-1,15	0,00	0,00	0,02	0,00
Monensina + virginiamicina	Fonseca et al.; Sitta, C.	-0,82	8,90	-0,08	0,004	-
Narasina	Gobato et al.	-	3,35	0,03	-	-
Salinomicina	Cortada Neto, I. M.; Ferreira et al.	-0,28	9,50	0,06	-	-
Salinomicina + virginiamicina	Sitta, C.	-	-1,20	-0,01	-0,009	-
Virginiamicina	Cortada Neto, I. M.; Fonseca et al.; Guimarães, K. L.; Sitta, C.; Ferreira et al.	-0,27	11,3	0,03	0,011	-
Leveduras	Gomes et al.; Guimarães, K. L.; Sitta, C.; Fugita et al.; Benatti, J. M. B.	0,29	1,04	-0,002	-0,003	0,30
Leveduras + monensina	Gomes et al.; Benatti, J. M. B.	-0,84	-6,05	-0,05	0,013	-7,00
Leveduras + virginiamicina	Guimarães, K. L.	-	14,1	0,13	-	-

Diferenças numéricas médias obtidas em relação ao controle para diferentes aditivos alimentares para consumo de matéria seca (CMS), peso corporal (PC), ganho médio diário (GMD) eficiência alimentar (EA) e peso de carcaça (PCARC)

AVALIAÇÃO PRÁTICA DE ADITIVOS EM DIETAS BRASILEIRAS

Dois estudos foram conduzidos concomitantemente para avaliar os efeitos de dietas contendo diferentes aditivos alimentares sobre o metabolismo (Estudo 1) e desempenho produtivo (Estudo 2) de machos Nelore não castrados criados em condições brasileiras. Para isso, o consumo, a digestibilidade dos nutrientes e os parâmetros ruminais de machos Nelore não castrados alimentados com dietas contendo diferentes aditivos foram avaliados no estudo 1 (Silva et al., 2021). No estudo 2, foram avaliados os efeitos da suplementação de diferentes aditivos sobre o consumo, GMD e EA de machos Nelore não castrados em terminação (Pacheco, dados não publicados).

Em ambos os estudos, os animais foram alimentados com dieta basal composta por 30% de silagem de milho e 70% de concentrado (na base da MS). Os tratamentos avaliados em ambos os casos consistiram na adição de seis aditivos (na base da MS), sendo: bicarbonato 1,4% e óxido de magnésio na proporção 3:1 (BOX); 36 mg/kg MS de lasalocida sódica (LAS); 30 mg/kg MS de monensina sódica (MON); 25 mg/kg MS de virginiamicina (VIR); 30 mg/kg DM de monensina sódica e 25 mg/kg MS de virginiamicina (MV); e 3,15% de suplemento mineral comercial contendo D-limoneno e α-amilase exógena (EOA).

Estudo 1

Neste estudo, seis machos Nelore não castrados fistulados no rúmen (idade = 8 ± 1,0 meses; PC inicial = 225 ± 13,2 kg) foram distribuídos em delineamento quadrado latino 6 × 6, com seis tratamentos (diferentes aditivos) e seis períodos. O experimento teve duração de 144 dias, com seis períodos de 24 dias. Cada período consistiu de 14 dias para adaptação à dieta, 3 dias para coleta total de fezes e urina e 7 dias para coleta de digesta omasal e ruminal. Os principais resultados estão descritos abaixo (Figura 16.1 e Tabela 16.6). Mais detalhes podem ser obtidos em Silva et al. (2021).

Os consumos de MS e demais nutrientes (MO, amido, FDN e PB) foram maiores nos animais alimentados com a dieta BOX quando comparados a todos os outros tratamentos (LAS, MON, VIR, MV e EOA; Figura 16.1 A e B). Ressalta-se que a melhoria no CMS dos animais alimentados com dietas BOX, em relação aos alimentados com outras dietas foi de aproximadamente 17,5%. Há relatos na literatura que corroboram com esses resultados, em que se observou maior consumo para bovinos de corte recebendo dietas contendo BOX em relação àqueles que não receberam aditivos ou receberam outros aditivos, como monensina (Adams et al., 1981; Peirce et al., 1983), visto que monensina reduz CMS.

Em geral, a digestibilidade ruminal e intestinal da maioria dos nutrientes foi semelhante entre todos os aditivos, exceto para a digestibilidade ruminal do amido. Animais alimentados com EOA apresentaram digestibilidade ruminal do amido aproximadamente 4,1% maior (tendência; $P = 0,09$) em comparação àqueles alimentados com dietas com BOX, LAS, MON, VIR ou MV (Tabela 16.6). Além disso, os animais alimentados com EOA apresentaram digestibilidade total da MS aproximadamente 6,5 % maior ($P < 0,05$) em comparação aos animais alimentados com BOX, LAS, MON, VIR ou MV. Em concordância, o potencial da α-amilase exógena em melhorar a digestibilidade do amido ruminal tem sido relatado na literatura (Nozière et al., 2014; Andreazzi et al., 2018).

No entanto, não foi observado efeito de aditivo ($P > 0,05$) sobre a digestibilidade intestinal ou total do amido, eficiência microbiana ou pH ruminal. O pH ruminal médio variou entre 6,0 e 6,3 para todas as dietas. Além disso, a duração do pH entre 5,6 e 5,2 foi baixa e valores de pH ruminal abaixo de 5,2 não foram observados, sugerindo que todos os aditivos alimentares avaliados foram eficientes em controlar o pH ruminal e prevenir acidose aguda e/ou subaguda.

Em resumo, parece plausível afirmar que que dietas contendo os aditivos monensina, virginiamicina, monensina + virginiamicina e óleos essenciais + α-amilase exógena reduziram o consumo de MS e nutrientes de machos Nelore não castrados em comparação com dietas contendo a combinação de bicarbonato de sódio e óxido de magnésio. Além disso, os resultados deste estudo sugerem que não parece ocorrer grandes diferenças nos parâmetros digestivos para os aditivos alimentares avaliados (BOX, LAS, MON, VIR, MV e EOA). Ademais, os resultados de pH ruminal deste estudo

confirmam que todos os aditivos avaliados podem ser utilizados em dietas de confinamento para minimizar distúrbios metabólicos e, consequentemente, seus impactos negativos sobre os parâmetros digestivos.

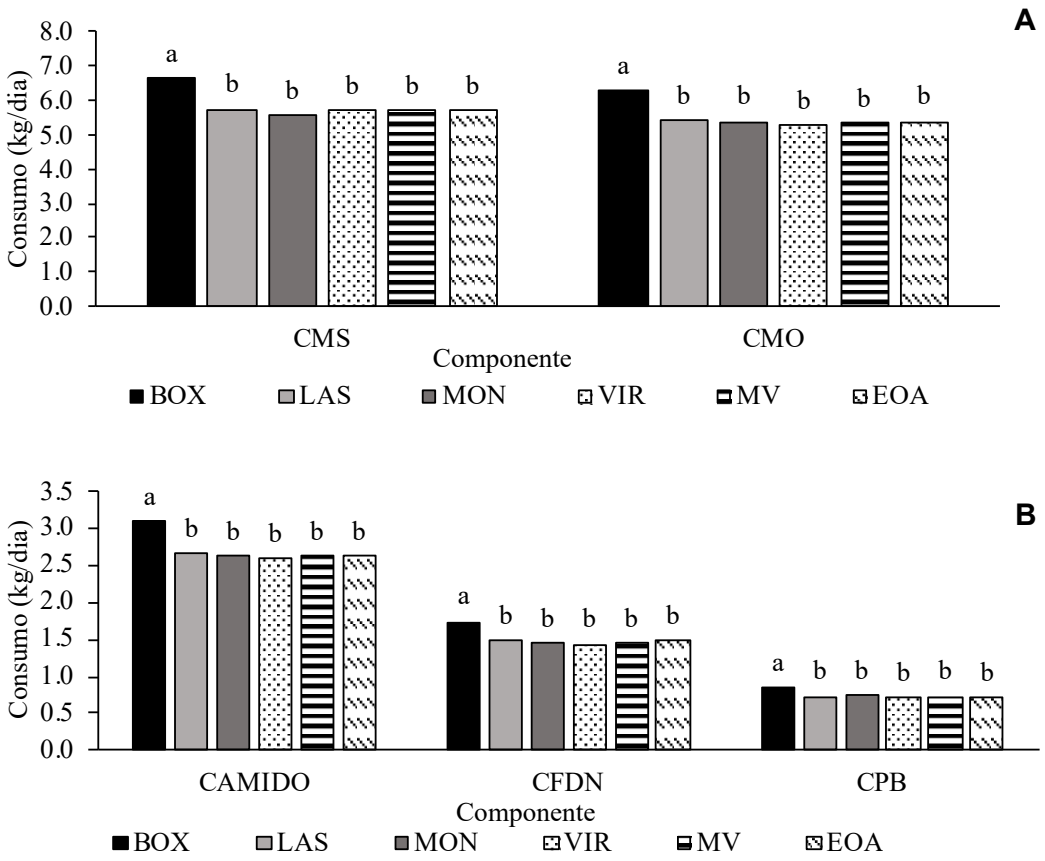


Figura 16.1 - Efeito de diferentes aditivos sobre o consumo de MS (CMS; A), matéria orgânica (CMO; A), amido (CAMIDO; B), fibra em detergente neutro (CFDN; B) e proteína bruta (CPB; B) de machos Nelore não castrados. Os tratamentos foram (com base na MS): BOX = 1,4% bicarbonato e óxido de magnésio na proporção 3:1; LAS = 36 mg/kg MS lasalocida sódica; MON = 30 mg/kg MS de monensina sódica; VIR = 25 mg/kg MS de virginiamicina; MV = 30 mg/kg MS de monensina sódica + 25 mg/kg MS de virginiamicina; e EOA = 3,15% de suplemento mineral comercial contendo D-limoneno e α-amilase exógena [Adaptada de Silva et al. (2021)].

Tabela 16.6 - Efeitos de diferentes aditivos sobre a digestibilidade do amido, eficiência microbiana e pH ruminal de machos Nelore não castrados [Adaptada de Silva et al. (2021)]

Item	Tratamento[1]						EPM	P-valor
	BOX	LAS	MON	VIR	MV	EOA		
Digestão da matéria seca (%)								
Rúmen	50,2	48,4	81,4	50,2	50,0	52,3	2,53	0,897
Intestinos	21,0	23,9	25,0	24,4	24,1	26,4	2,84	0,813
Trato total	71,2c	72,2bc	75,2b	74,5bc	73,4bc	78,7a	1,49	0,012
Digestão do amido (%)								
Rúmen	78,4	79,5	81,4	81,3	79,8	83,3	1,13	0,090
Intestinos	10,7	9,13	8,11	8,59	9,39	8,72	1,187	0,717
Trato total	89,1	88,6	89,5	89,9	89,2	92,0	1,42	0,514
Eficiência microbiana (g PBmic/kg NDT)	125	125	121	127	125	124	5,2	0,978
pH ruminal médio	6,27	5,96	6,05	6,03	6,01	5,95	<0,001	0,634
Duração pH (min/dia)								
pH > 5.6	1308	1089	1223	1161	1215	1129	139,4	0,887
5.6 < pH < 5.2	132	351	217	279	225	311	137,9	0,888
pH < 5.2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-

[1]Tratamentos foram (com base na MS): BOX = 1,4% bicarbonato e óxido de magnésio na proporção 3:1; LAS = 36 mg/kg MS lasalocida sódica; MON = 30 mg/kg MS de monensina sódica; VIR = 25 mg/kg MS de virginiamicina; MV = 30 mg/kg MS de monensina sódica + 25 mg/kg MS de virginiamicina; e EOA = 3,15% de suplemento mineral comercial contendo D-limoneno e α-amilase exógena

Estudo 2

Quarenta e dois machos Nelore não castrados (idade = 8 ± 1,0 meses; PC inicial = 257 ± 26,3 kg) foram distribuídos aleatoriamente em seis grupos com sete animais cada e alocados em confinamento. Os seis tratamentos descritos anteriormente para o Estudo 1 foram distribuídos aleatoriamente para cada grupo. Este estudo teve duração de 140 dias, consistindo de cinco períodos experimentais de 28 dias cada, sendo: d 1-28 , d 29-56, d 57-84; d 85-112 e d 113-140. Os principais resultados de desempenho produtivo estão descritos abaixo.

Não foram observadas diferenças ($P \geq 0,38$) para o CMS, GMD ou EA (Figura 16.2) durante o período total de confinamento (d 1 a 140). Contudo, o tipo de aditivo afetou ($P \leq 0,017$) o CMS e o GMD durante o período d 1-28 avaliado. Os animais alimentados com BOX tiveram o maior ($P < 0,05$) CMS (Figura 16.2; A), enquanto aqueles alimentados com LAS tiveram o menor ($P < 0,05$) CMS; animais alimentados com MON, VIR, MV e EOA apresentaram CMS intermediário e não diferiram ($P > 0,05$) dos demais tratamentos. O GMD (Figura 16.2; B) no período d 1-28 foi maior ($P < 0,05$) nos animais alimentados com BOX e EOA em comparação àqueles alimentados com LAS, VIR e MV ($P < 0,05$). Animais alimentados com MON apresentaram GMD intermediário e não diferiram ($P > 0,05$) dos demais tratamentos. Está bem documentado na literatura que MON reduz o CMS de bovinos confinados (Maturana Filho et al., 2010; Duffield et al., 2012; Melo et al., 2020). Além disso, há relatos na literatura que descrevem maior CMS para bovinos alimentados com BOX ou EOA em comparação àqueles que não receberam aditivos ou receberam outros aditivos, como MON (Peirce et al., 1983; Gouvêa et al., 2019; Meschiatti et al., 2019). Ainda, nenhum benefício adicional do uso combinado de monensina e virginiamicina (MV) em dietas de bovinos tem sido relatado recentemente (Fonseca et al., 2016; Lemos et al., 2016; Maciel et al., 2019).

Ademais, as dietas BOX e EOA resultaram no maior GMD dos animais, enquanto aqueles alimentados com LAS, VIR e MV apresentaram o menor GMD durante o período d 1-28. Assim, esses resultados sugerem que a inclusão de BOX e EOA às dietas de confinamento pode trazer algum benefício quanto ao maior consumo e ganho médio diário, enquanto a LAS pode reduzir o consumo e ganho de peso nos primeiros 28 dias de adaptação de machos Nelore não castrados.

CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ESTUDOS 1 e 2

Em geral, os resultados dos estudos 1 e 2 sugerem:

1 – Todos os aditivos avaliados foram eficientes no controle do pH ruminal e na prevenção da acidose aguda e/ou subaguda; portanto, todos os aditivos são recomendados para tal finalidade.

2 – Ao longo prazo (140 dias de confinamento), todos os aditivos alimentares testados apresentaram efeitos semelhantes sobre CMS, GMD e EA (d 1 a 140).

3 – No curto prazo (primeiros 28 dias de confinamento), animais alimentados com BOX apresentaram maior CMS em relação aos alimentados com LAS.

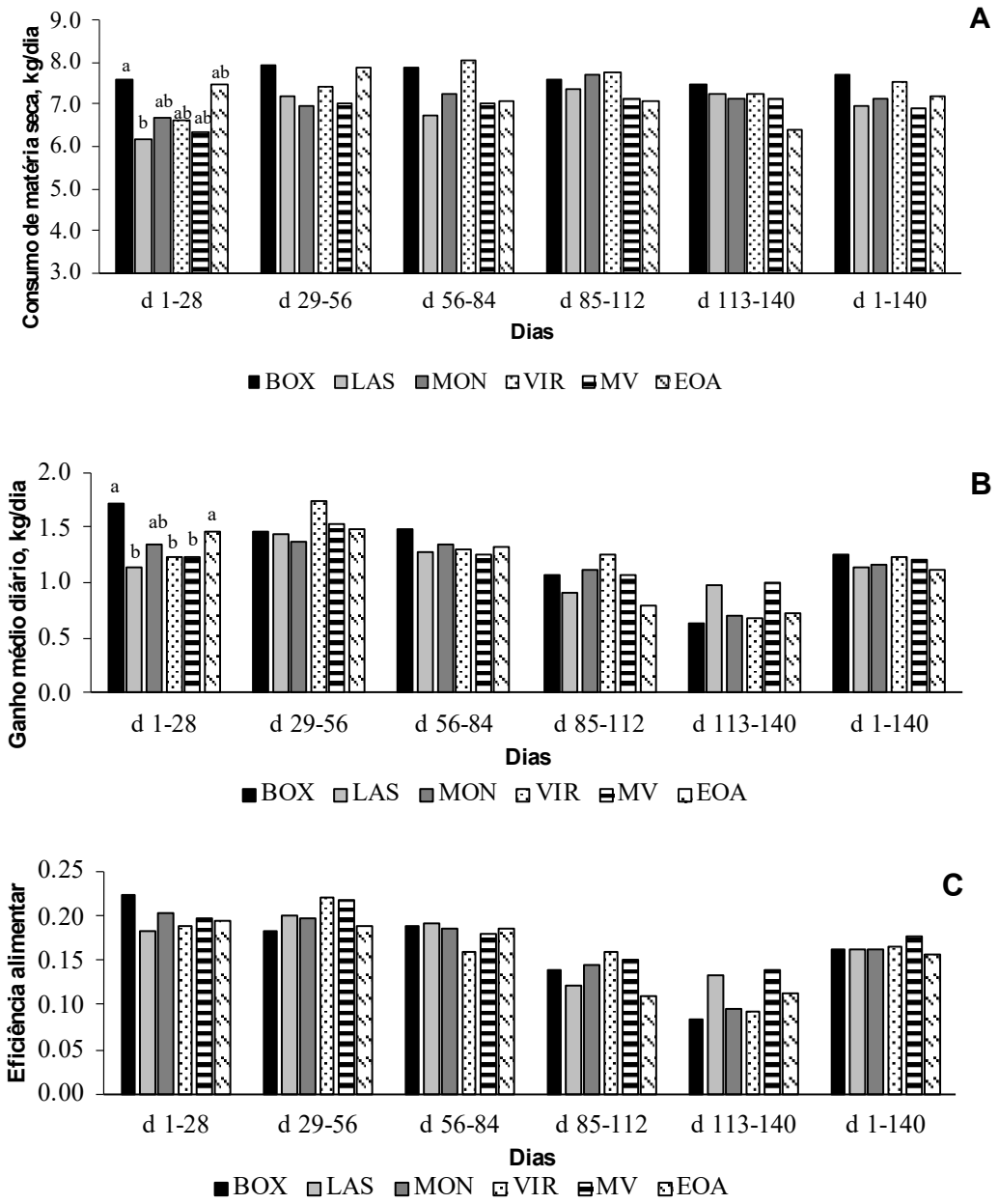


Figura 16.2 - Efeito de diferentes aditivos sobre o consumo de matéria seca (CMS; A), ganho médio diário (GMD; kg/d; B) eficiência alimentar (EA; C) de machos Nelore não castrados em terminação. Os tratamentos foram (com base na MS): BOX = 1,4% bicarbonato e óxido de magnésio na proporção 3:1; LAS = 36 mg/kg MS lasalocida sódica; MON = 30 mg/kg MS de monensina sódica; VIR = 25 mg/kg MS de virginiamicina; MV = 30 mg/kg MS de monensina sódica + 25 mg/kg MS de virginiamicina; e EOA = 3,15% de suplemento mineral comercial contendo D-limoneno e α-amilase exógena.

REFERÊNCIAS

Aarestrup, F. M., F. Bager, N. E. Jensen, M. Aarestrup, F. M., F. Bager, N. E. Jensen, M. Madsen, A. Meyling, and H. C. Wegener. 1998. Surveillance of antimicrobial resistance in bacteria isolated from food animals to antimicrobial growth promoters and related therapeutic agents in Denmark. *Apmis*. 106:606–622. doi:10.1111/j.1699-0463.1998.tb01391.x.

Adams, D. C., M. L. Galyean, H. E. Kiesling, J. D. Wallace, and M. D. Finkner. 1981. Influence of Viable Yeast Culture, Sodium Bicarbonate and Monensin on Liquid Dilution Rate, Rumen Fermentation and Feedlot Performance of Growing Steers and Digestibility in Lambs. *J. Anim. Sci*. 53:780–789. doi:10.2527/jas1981.533780x.

Alemu, A. W., Pekrul, L. K., Shreck, A. L., Booker, C. W., McGinn, S. M., Kindermann, M., & Beauchemin, K. A. (2021). 3-Nitrooxypropanol decreased enteric methane production from growing beef cattle in a commercial feedlot: implications for sustainable beef cattle production. *Frontiers in Animal Science*, 2, 641590. doi: 10.3389/fanim.2021.641590.

Amaro, F. X., D. Kim, M. C. N. Agarussi, V. P. Silva, T. Fernandes, K. G. Arriola, Y. Jiang, A. P. Cervantes, A. T. Adesogan, L. F. Ferraretto, S. Yu, W. Li, and D. Vyas. 2021. Effects of exogenous α-amylases, glucoamylases, and proteases on ruminal in vitro dry matter and starch digestibility, gas production, and volatile fatty acids of mature dent corn grain. Transl. *Anim. Sci*. 5:1–16. doi:10.1093/tas/txaa222.

Amin, A. B., and S. Mao. 2021. Influence of yeast on rumen fermentation, growth performance and quality of products in ruminants: A review. *Anim. Nutr*. 7:31–41. doi:10.1016/j.aninu.2020.10.005.

Andreazzi, A. S. R., M. N. Pereira, R. B. Reis, R. A. N. Pereira, N. N. Morais Júnior, T. S. Acedo, R. G. Hermes, and C. S. Cortinhas. 2018. Effect of exogenous amylase on lactation performance of dairy cows fed a high-starch diet. *J. Dairy Sci*. 101:7199–7207. doi:10.3168/jds.2017-14331.

Arambel, M. J., R. D. Wiedmeier, D. H. Clark, R. C. Lamb, R. L. Boman, and J. L. Walters. 1988. Effect of Sodium Bicarbonate and Magnesium Oxide in an Alfalfa-Based Total Mixed Ration Fed to Early Lactating Dairy Cattle. *J. Dairy Sci*. 71:159–163. doi:10.3168/jds.S0022-0302(88)79537-5.

Bailey, C. B. 1961. Saliva secretion and its relation to feeding in cattle. Br. *J. Nutr.* 15:489–498. doi:10.1079/bjn19610062.

Beauchemin, K. A., D. Colombatto, D. P. Morgavi, W. Z. Yang, and L. M. Rode. 2004. Mode of action of exogenous cell wall degrading enzymes for ruminants. *Can. J. Anim. Sci.* 84:13–22. doi:10.4141/A02-102.

Beauchemin, K. A., K. M. Koenig, W. Yang, and T. A. McAllister. 2018. Additives that alter ruminal fermentation and gastrintestinal function in beef cattle. In: S. de C. Valadares Filho, editor. *7th International Symposium of Beef cattle Production.* Suprema Gráfica Ltda, Viçosa, MG.

Beauchemin, K. A., C. R. Krehbiel, and C. J. Newbold. 2006. Chapter 7 Enzymes, bacterial direct-fed microbials and yeast: principles for use in ruminant nutrition. *Elsevier* Ltda.

Benatti, J. M. B., J. A. Alves Neto, I. M. de Oliveira, F. D. de Resende, and G. R. Siqueira. 2017. Effect of increasing monensin sodium levels in diets with virginiamycin on the finishing of Nellore cattle. *Anim. Sci. J.* 88:1709–1714. doi:10.1111/asj.12831.

Benchaar, C., S. Calsamiglia, A. V. Chaves, G. R. Fraser, D. Colombatto, T. A. McAllister, and K. A. Beauchemin. 2008. A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. *Anim. Feed Sci*. Technol. 145:209–228. doi:10.1016/j.anifeedsci.2007.04.014.

Benchaar, C., and H. Greathead. 2011. Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol*. 166–167:338–355. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.04.024.

Bergen, W. G., and D. B. . Bates. 1984. Ionophores: Their effect on production efficiency and mode of action. *J. Anim. Sci.* 58:1465–1483. doi:https://doi.org/10.2527/jas1984.5861465x.

Bodas, R., N. Prieto, R. García-González, S. Andrés, F. J. Giráldez, and S. López. 2012. Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Anim. Feed Sci. Technol*. 176:78–93. doi:10.1016/j.anifeedsci.2012.07.010.

Boom, B., and R. Dewart. 1974. Methods for identification and assay of virginiamycin in animal feeds. *Analyst.* 99:19–25.

Brethour, J. R., B. Lee, and J. G. Riley. 1986. *Adding fat and/or sodium bicarbonate to steer finishing rations that contain wheat*. In: K. S. U. A. E. S. and C. E. Service, editor. Cattlemen's Day. Kansas State University, Manhattan, KS. p. 4–11.

Bretschneider, G., J. C. Elizalde, and F. A. Pérez. 2008. The effect of feeding antibiotic growth promoters on the performance of beef cattle consuming forage-based diets: A review. *Livest. Sci.* 114:135–149. doi:10.1016/j.livsci.2007.12.017.

Burt, S. 2004. Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods - A review. Int. *J. Food Microbiol*. 94:223–253. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022.

Busquet, M., S. Calsamiglia, A. Ferret, and C. Kamel. 2006. Plant extracts affect in vitro rumen microbial fermentation. *J. Dairy Sci.* 89:761–771. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72137-3.

Cabrita, A. R. J., J. M. P. Vale, R. J. B. Bessa, R. J. Dewhurst, and A. J. M. Fonseca. 2009. Effects of dietary starch source and buffers on milk responses and rumen fatty acid biohydrogenation in dairy cows fed maize silage-based diets. *Anim. Feed Sci. Technol*. 152:267–277. doi:10.1016/j.anifeedsci.2009.04.020.

Calsamiglia, S., M. Blanch, A. Ferret, and D. Moya. 2012. Is subacute ruminal acidosis a pH related problem? Causes and tools for its control. *Anim. Feed Sci. Technol*. 172:42–50. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.12.007.

Calsamiglia, S., M. Busquet, P. W. Cardozo, L. Castillejos, and A. Ferret. 2007. Invited review: Essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *J. Dairy Sci.* 90:2580–2595. doi:10.3168/jds.2006-644.

Cardozo, P. W., S. Calsamiglia, A. Ferret, and C. Kamel. 2005. Screening for the effects of natural plant extracts at different pH on in vitro rumen microbial fermentation of a high-concentrate diet for beef cattle. *J. Anim. Sci.* 83:2572–2579. doi:10.2527/2005.83112572x.

Cardozo, P. W., S. Calsamiglia, A. Ferret, and C. Kamel. 2006. Effects of alfalfa extract, anise, capsicum, and a mixture of cinnamaldehyde and eugenol on ruminal fermentation and protein degradation in beef heifers fed a high-concentrate diet. *J. Anim. Sci*. 84:2801–2808. doi:10.2527/jas.2005-593.

Carro, M. D., P. Lebzien, and K. Rohr. 1992. Influence of yeast culture on the in vitro fermentation (Rusitec) of diets containing variable portions of concentrates. *Anim. Feed Sci. Technol.* 37:209–220. doi:10.1016/0377-8401(92)90005-Q.

Castagnino, P. S., G. Fiorentini, E. E. Dallantonia, E. San Vito, J. D. Messana, J. A. Torrecilhas, A. G. Silva Sobrinho, and T. T. Berchielli. 2018. Fatty acid profile and carcass traits of feedlot Nellore cattle fed crude glycerin and virginiamycin. *Meat Sci.* 140:51–58. doi:10.1016/j.meatsci.2018.02.013.

Castillejos, L., S. Calsamiglia, A. Ferret, and R. Losa. 2005. Effects of a specific blend of essential oil compounds and the type of diet on rumen microbial fermentation and nutrient flow from a continuous culture system. *Anim. Feed Sci. Technol.* 119:29–41. doi:10.1016/j.anifeedsci.2004.12.008.

Chaucheyras-Durand, F., N. D. Walker, and A. Bach. 2008. Effects of active dry yeasts on the rumen microbial ecosystem: Past, present and future. *Anim. Feed Sci. Technol*. 145:5–26. doi:10.1016/j.anifeedsci.2007.04.019.

Chaudhry, A. S., and M. M. H. Khan. 2012. Impacts of different spices on in vitro rumen dry matter disappearance, fermentation and methane of wheat or ryegrass hay based substrates. *Livest. Sci.* 146:84–90. doi:10.1016/j.livsci.2012.01.007.

Christiansen, M. L., and K. E. Webb. 1990. Intestinal acid flow, dry matter, starch and protein digestibility and amino acid absorption in beef cattle fed a high-concentrate diet with defluorinated rock phosphate, limestone or magnesium oxide. *J. Anim. Sci.* 68:2105. doi:10.2527/1990.6872105x.

Cocito, C. 1979. Antibiotics of the virginiamycin family, inhibitors which contain synergistic components. *Microbiol. Rev.* 43:145–198. doi:10.1128/mmbr.43.2.145-192.1979.

Dahham, S. S., Y. M. Tabana, M. A. Iqbal, M. B. K. Ahamed, M. O. Ezzat, A. S. A. Majid, and A. M. S. A. Majid. 2015. The anticancer, antioxidant and antimicrobial properties of the sesquiterpene β-caryophyllene from the essential oil of Aquilaria crassna. *Molecules.* 20:11808–11829. doi:10.3390/molecules200711808.

Desnoyers, M., S. Giger-Reverdin, G. Bertin, C. Duvaux-Ponter, and D. Sauvant. 2009. Meta-analysis of the influence of Saccharomyces cerevisiae supplementation on ruminal parameters and milk production of ruminants. *J. Dairy Sci*. 92:1620–1632. doi:10.3168/jds.2008-1414.

Dijkstra, J., A. Bannink, J. France, E. Kebreab, and S. van Gastelen. 2018. Short communication: Antimethanogenic effects of 3-nitrooxypropanol depend on supplementation dose, dietary fiber content, and cattle type. *J. Dairy Sci*. 101:9041-9047. doi:10.3168/jds.2018-14456.

DiLorenzo, N., D. R. Smith, M. J. Quinn, M. L. May, C. H. Ponce, W. Steinberg, M. A. Engstrom, and M. L. Galyean. 2011. Effects of grain processing and supplementation with exogenous amylase on nutrient digestibility in feedlot diets. *Livest. Sci*. 137:178–184. doi:10.1016/j.livsci.2010.11.003.

Duffield, T. F., J. K. Merrill, and R. N. Bagg. 2012. Meta-analysis of the effects of monensin in beef cattle on feed efficiency, body weight gain, and dry matter intake. *J. Anim. Sci*. 90:4583–4592. doi:10.2527/jas.2011-5018.

Duin, E. C., T. Wagner, S. Shima, D. Prakash, B. Cronin, D. R. Yáñez-Ruiz, S. Duval, R. Rümbeli, R. T. Stemmler, and R. K. Thauer. 2016. Mode of action uncovered for the specific reduction of methane emissions from ruminants by the small molecule 3-nitrooxypropanol. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 113:6172-6177. doi: 10.1073/pnas.1600298113

Edwards, I. E., T. Mutsvangwra, J. H. Topps, and G. M. Paterson. 1990. The effect of supplemental yeast culture (yea-sacc) on patterns of rumen fermentation and growth performance of intensively fed bulls. *Proc. Br. Soc. Anim. Prod.* 1990:116–116. doi:10.1017/S0308229600018961.

Ellis, J. L., J. Dijkstra, A. Bannink, E. Kebreab, S. E. Hook, S. Archibeque, and J. France. 2012. Quantifying the effect of monensin dose on the rumen volatile fatty acid pro fi le in high-grain-fed beef cattle. *J. Anim. Sci*. 90:2717–2726. doi:10.2527/jas2011-3966.

Emery, R. S., L. D. Brown, and J. W. Bell. 1965. Correlation of Milk Fat with Dietary and Metabolic Factors in Cows Fed Restricted-Roughage Rations Supplemented with Magnesium Oxide or Sodium Bicarbonate. *J. Dairy Sci.* 48:1647–1651. doi:10.3168/jds.S0022-0302(65)88543-5.

Encinas, C. M. A., G. V. Villalobos, J. D. Viveros, G. C. Flores, E. A. Almora, and F. C. Rangel. 2018. Animal performance and nutrient digestibility of feedlot steers fed a diet supplemented with a mixture of direct-fed microbials and digestive enzymes. *Rev. Bras. Zootec.* 47. doi:10.1590/rbz4720170121.

Erdman, R. A. 1988. Dietary Buffering Requirements of the Lactating Dairy Cow: A Review. *J. Dairy Sci.* 71:3246–3266. doi:10.3168/jds.S0022-0302(88)79930-0.

Erdman, R. A., R. L. Botts, R. W. Hemken, and L. S. Bull. 1980. Effect of Dietary Sodium Bicarbonate and Magnesium Oxide on Production and Physiology in Early Lactation. *J. Dairy Sci.* 63:923–930. doi:10.3168/jds.S0022-0302(80)83027-X.

Erdman, R. A., R. W. Hemken, and L. S. Bull. 1982. Dietary Sodium Bicarbonate and Magnesium Oxide for Early Postpartum Lactating Dairy Cows: Effects of Production, Acid-Based Metabolism, and Digestion. *J. Dairy Sci.* 65:712–731. doi:10.3168/jds.S0022-0302(82)82259-5.

Fandiño, I., G. Fernandez-Turren, A. Ferret, D. Moya, L. Castillejos, and S. Calsamiglia. 2020. Exploring additive, synergistic or antagonistic effects of natural plant extracts on in vitro beef feedlot-type rumen microbial fermentation conditions. *Animals*. 10. doi:10.3390/ani10010173.

Fiems, L. O., C. V. Boucque, B. G. Cottyn, R. J. Moermans, and D. L. Brabander. 1992. Effect of virginiamycin supplementation on the performance of young grazing cattle. *Grass Forage Sci*. 47:36–40. doi:10.1111/j.1365-2494.1992.tb02245.x.

Finck, D. N., F. R. B. Ribeiro, N. C. Burdick, S. L. Parr, J. A. Carroll, T. R. Young, B. C. Bernhard, J. R. Corley, A. G. Estefan, R. J. Rathmann, and B. J. Johnson. 2014. Yeast supplementation alters the performance and health status of receiving cattle. *Prof. Anim. Sci.* 30:333–341. doi:10.15232/S1080-7446(15)30125-X.

Fonseca, M. P., A. L. Da Costa Cruz Borges, R. Reise Silva, H. F. Lage, A. L. Ferreira, F. C. F. Lopes, C. G. Pancoti, and J. A. S. Rodrigues. 2016. Intake, apparent digestibility, and methane emission in bulls receiving a feed supplement of monensin, virginiamycin, or a combination. *Anim. Prod. Sci*. 56:1041–1045. doi:10.1071/AN14742.

Gadberry, S., Beck, P., Moore, M., White, F., Linneen, S., & Lalman, D. (2022). Meta-analysis of the effects of monensin on performance of beef replacement heifers and beef cows. *Translational Animal Science*, 6(3), txac086. doi: 10.1093/tas/txac086.

Gadberry, S., Lalman, D., White, F., Linneen, S., & Beck, P. (2022). Meta-analysis of the effects of monensin on growth and bloat of cattle on pasture. *Translational Animal Science*, 6(2), txac031. doi: 10.1093/tas/txac031.

Gattass, C. B. A., M. da G. Morais, U. G. P. Abreu, B. Lempp, J. Stein, T. Z. Albertini, and G. L. Franco. 2008. Consumo, digestibilidade aparente e ganho de peso em bovinos de corte confinados e suplementados com cultura de levedura (Saccharomyces cerevisiae cepa 1026). *Ciência Anim. Bras*. 9:535–542.

Geng, C. Y., L. P. Ren, Z. M. Zhou, Y. Chang, and Q. X. Meng. 2016. Comparison of active dry yeast (Saccharomyces cerevisiae) and yeast culture for growth performance, carcass traits, meat quality and blood indexes in finishing bulls. *Anim. Sci. J.* 87:982–988. doi:10.1111/asj.12522.

Ghizzi, L. G., T. A. Del Valle, C. S. Takiya, G. G. da Silva, E. M. C. Zilio, N. T. S. Grigoletto, L. S. Martello, and F. P. Rennó. 2018. Effects of functional oils on ruminal fermentation, rectal temperature, and performance of dairy cows under high temperature humidity index environment. *Anim. Feed Sci. Technol*. 246:158–166. doi:10.1016/j.anifeedsci.2018.10.009.

Ghorbani, G. R., J. A. Jackson, and R. W. Hemken. 1989. Effects of Sodium Bicarbonate and Sodium Sesquicarbonate on Animal Performance, Ruminal Metabolism, and Systemic Acid-Base Status. *J. Dairy Sci*. 72:2039–2045. doi:10.3168/jds.S0022-0302(89)79327-9.

Gobato, L. G. M., R. G. Silva, A. A. Miszura, D. M. Polizel, M. V. C. F. Junior, G. B. Oliveira, A. V. Bertoloni, J. P. R. Barroso, and A. V. Pires. 2017. Effect of narasin addition in mineral mixture on gain and intake of feedlot Nellore heifers. *J. Anim. Sci*. 95:266–266. doi:10.2527/asasann.2017.544.

González, L. A., A. Ferret, X. Manteca, and S. Calsamiglia. 2008. Increasing sodium bicarbonate level in high-concentrate diets for heifers. I. Effects on intake, water consumption and ruminal fermentation. *Animal*. 2:705–712. doi:10.1017/S1751731108001675.

Goodrich, R. D., J. E. Garrett, D. R. Gast, M. A. Kirick, D. A. Larson, and J. C. Meiske. 1984. Influence of Monensin on the Performance of Cattle. *J. Anim. Sci*. 58:1484–1498. doi:10.2527/jas1984.5861484x.

Gorocica, M. A., and L. O. Tedeschi. 2017. A meta-analytical approach to evaluate the performance of cattle fed virginiamycin or monensin under feedlot conditions from seven European countries. *J. Anim. Sci*. 95:71–71. doi:10.2527/asasann.2017.145.

Gouvêa, V. N., M. A. P. Meschiatti, J. M. M. Moraes, C. D. A. Batalha, J. R. R. Dórea, T. S. Acedo, L. F. M. Tamassia, F. N. Owens, and F. A. P. Santos. 2019. Effects of alternative feed additives and flint maize grain particle size on growth performance, carcass traits and nutrient digestibility of finishing beef cattle. *J. Agric. Sci.* 157:456–468. doi:10.1017/S0021859619000728.

Greene, W. Use of Saccharomyces cerevisiae in beef cattle. In: *Simposio Goiano sobre manejo e nutrição de bovinos de corte*, 4., 2002, Goiânia. Proceedings. Goiânia: CBNA, 2002. p.79-96.

Harfoot, C. G., and G. P. Hazlewood. 2016. *Rumenology*. (D. D. Millen, M. De Beni Arrigoni, and R. D. Lauritano Pacheco, editors.). Springer International Publishing, Cham.

Heker, J. C., M. Neumann, R. K. Ueno, M. K. Falbo, S. Galbeiro, A. M. De Souza, B. J. Venancio, L. C. Santos, and E. J. Askel. 2018. Effect of monensin sodium associative to virginiamycin and/or essential oils on the performance of feedlot finished steers. *Semin. Agrar.* 39:261–274. doi:10.5433/1679-0359.2018v39n1p261.

Hernández, J., J. L. Benedito, A. Abuelo, and C. Castillo. 2014. Ruminal acidosis in feedlot: From aetiology to prevention. *Sci. World J.* 2014. doi:10.1155/2014/702572.

Higgins, J. P. T., S. G. Thompson, J. J. Deeks, and D. G. Altman. 2003. Measuring inconsistency in meta-analyses. *Br. Med. J.* 327:557–560. doi:10.1136/bmj.327.7414.557.

Honan, M., Feng, X., Tricarico, J. M., & Kebreab, E. (2022). Feed additives as a strategic approach to reduce enteric methane production in cattle: modes of action, effectiveness and safety. *Animal Production Science*. doi: 10.1071/AN20295.

Hristov, A. N., Melgar, A., Wasson, D., & Arndt, C. (2022). Symposium review: Effective nutritional strategies to mitigate enteric methane in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. doi: 10.3168/jds.2021-21398.

Jayanegara, A., K. A. Sarwono, M. Kondo, H. Matsui, M. Ridla, E. B. Laconi, and Nahrowi. 2018. Use of 3-nitrooxypropanol as feed additive for mitigating enteric methane emissions from ruminants: a meta-analysis. Ital. *J. Anim. Sci*. 17:650-656. doi:10.1080/1828051x.2017.1404945

Jolly-Breithaupt, M. L., M. E. Harris, B. L. Nuttelman, D. B. Burken, J. C. MacDonald, M. K. Luebbe, T. K. Iragavarapu, and G. E. Erickson. 2019. Effects of Syngenta Enogen Feed Corn containing an α-amylase trait on finishing cattle performance and carcass characteristics. *Transl. Anim. Sci*. 3:504–512. doi:10.1093/tas/txy121.

Jouany, J.-P., and D. P. Morgavi. 2007. Use of 'natural' products as alternatives to antibiotic feed additives in ruminant production. *Animal*. 1:1443–1466. doi:10.1017/S1751731107000742.

Kargaard, J., and B. D. H. Van Niekerk. 1980. Effect of monensin, sodium bicarbonate and vitamin A on feedlot gain in cattle. S. Afr. *J. Anim. Sci*. 10:19–25.

Kellaway, R. C., D. E. Beever, D. J. Thomson, A. R. Austin, S. B. Cammell, and M. L. Elderfield. 1978. The effect of nacl or nahc03 on digestion in the stomach of weaned calves. *J. Agric. Sci*. 91:497–503. doi:10.1017/S002185960004661X.

Khiaosa-Ard, R., and Q. Zebeli. 2013. Meta-analysis of the effects of essential oils and their bioactive compounds on rumen fermentation characteristics and feed efficiency in ruminants. *J. Anim. Sci.* 91:1819–1830. doi:10.2527/jas.2012-5691.

Khorrami, B., A. R. Vakili, M. D. Mesgaran, and F. Klevenhusen. 2015. Thyme and cinnamon essential oils: Potential alternatives for monensin as a rumen modifier in beef production systems. *Anim. Feed Sci. Technol.* 200:8–16. doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.11.009.

Kim, H., Lee, H. G., Baek, Y. C., Lee, S., & Seo, J. (2020). The effects of dietary supplementation with 3-nitrooxypropanol on enteric methane emissions, rumen fermentation, and production performance in ruminants: a meta-analysis. *Journal of Animal Science and Technology,* 62(1), 31. doi: 10.5187/jast.2020.62.1.31.

Kohn, R. A., and T. F. Dunlap. 1998. Calculation of the Buffering Capacity of Bicarbonate in the Rumen and In Vitro. *J. Anim. Sci*. 76:1702–1709. doi:10.2527/1998.7661702x.

Kovacik, A. M., S. C. Loerch, and B. Dehority. 1986. Effect of supplemental sodium bicarbonate on nutrient digestibilities and ruminal pH measured continuously. *J. Anim. Sci.* 62:226–234.

Lanna, D. P. D., and C. Boin. 1990. *Efeito de bicarbonato de sódio, feno e bagaço "in natura" sobre a digestibilidade e o desempenho de zebuínos em crescimento alimentados com bagaço de cana auto-hidrolisado.* An. da Esc. Super. Agric. Luiz Queiroz. 47:417–434. doi:10.1590/s0071-12761990000200009.

Lemos, B. J. M., F. G. F. Castro, L. S. Santos, B. P. C. Mendonça, V. R. M. Couto, and J. J. R. Fernandes. 2016. Monensin, virginiamycin, and flavomycin in a no-roughage finishing diet fed to zebu cattle. *J. Anim. Sci*. 94:4307–4314. doi:10.2527/jas.2016-0504.

Lesmeister, K. E., Heinrichs, A. J., & Gabler, M. T. (2004). Effects of supplemental yeast (Saccharomyces cerevisiae) culture on rumen development, growth characteristics, and blood parameters in neonatal dairy calves. *Journal of dairy science*, 87(6), 1832-1839.

Licitra, G., P. J. Van Soest, I. Schadt, S. Carpino, and C. J. Sniffen. 1999. Influence of the concentration of the protease from Streptomyces griseus relative to ruminal protein degradability. *Anim. Feed Sci. Technol.* 77:99–113. doi:10.1016/S0377-8401(98)00233-8.

Limede, A. C., R. S. Marques, D. M. Polizel, B. I. Cappellozza, A. A. Miszura, J. P. R. Barroso, A. Storti Martins, L. A. Sardinha, M. Baggio, and A. V. Pires. 2021. Effects of supplementation with narasin, salinomycin, or flavomycin on performance and ruminal fermentation characteristics of Bos indicus Nellore cattle fed with forage-based diets. *J. Anim. Sci.* 99:1–11. doi:10.1093/jas/skab005.

Lourenco, J. M., F. J. Maia, J. H. J. Bittar, J. R. Segers, J. J. Tucker, B. T. Campbell, and R. L. Stewart. 2020. Utilization of exogenous enzymes in beef cattle creep feeds. *J. Appl. Anim. Res.* 48:70–77. doi:10.1080/09712119.2020.1732985.

Maciel, I. C. F., H. M. Saturnino, F. A. Barbosa, V. M. R. Malacco, J. M. C. Andrade Júnior, G. H. B. Maia Filho, and P. M. Costa. 2019. Virginiamycin and sodium monensin supplementation for beef cattle on pasture. *Arq. Bras. Med. Vet. e Zootec*. 71:1999–2008. doi:10.1590/1678-4162-10659.

Maekawa, M., K. A. Beauchemin, and D. A. Christensen. 2002. Effect of concentrate level and feeding management on chewing activities, saliva production, and ruminal pH of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85:1165–1175. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74179-9.

Maturana Filho, M., M. G. Oliveira, G. Del Claro, Ribeiro, H. P. Q. Oliveira, A. Netto Saran, M. A. F. Correia, Lísia Bertonha Porcionato, and Zanetti Marcus Antonio. 2010. Parâmetros sanguíneos e desempenho de bovinos de corte em confinamento, submetidos. *J. Chem. Inf. Model.* 11:772–782.

McGinn, S. M., K. A. Beauchemin, T. Coates, and D. Colombatto. 2004. Methane emissions from beef cattle: Effects of monensin, sunflower oil, enzymes, yeast, and fumaric acid. *J. Anim. Sci.* 82:3346–3356. doi:10.2527/2004.82113346x.

McGinn, S. M., Flesch, T. K., Beauchemin, K. A., Shreck, A., & Kindermann, M. (2019). Micrometeorological Methods for Measuring Methane Emission Reduction at Beef Cattle Feedlots: Evaluation of 3-Nitrooxypropanol Feed Additive. *Journal of environmental quality*, 48(5), 1454-1461. doi: 10.2134/jeq2018.11.0412.

McIntosh, F. M., P. Williams, R. Losa, R. J. Wallace, D. A. Beever, and C. J. Newbold. 2003. Effects of essential oils on ruminal microorganisms and their protein metabolism. *Appl. Environ. Microbiol.* 69:5011–5014. doi:10.1128/AEM.69.8.5011-5014.2003.

McKnight, D. R., G. S. Hooper, L. A. Drevjany, and W. E. Pollock. 1979. Effect of sodium bicarbonate all-concentrate rations fed to holstein steers. *Can. J. Anim. Sci*. 59:805–807. doi:10.4141/cjas79-102.

Melo, A. C. B., M. C. S. Pereira, A. L. N. Rigueiro, D. D. Estevam, A. F. Toledo, A. H. P. M. Assumpção, J. V. T. Dellaqua, A. L. J. Lelis, and D. D. Millen. 2020. Impacts of adding functional oils or sodium monensin in high-concentrate diets on performance, feeding behaviour and rumen morphometrics of finishing Nellore cattle. *J. Agric. Sci*. 158:136–142. doi:10.1017/S002185962000026X.

Merchen, N. R., and L. L. Berger. 1985. Effect of salinomycin level on nutrient digestibility and ruminal characteristics of sheep and feedlot performance of cattle. *J. Anim. Sci*. 60:1338–1346. doi:10.2527/jas1985.6051338x.

Meschiatti, M. A. P., V. N. Gouvêa, L. A. Pellarin, C. D. A. Batalha, M. V. Biehl, T. S. Acedo, J. R. R. Dórea, L. F. M. Tamassia, F. N. Owens, and F. A. P. Santos. 2019. Feeding the combination of essential oils and exogenous α-amylase increases performance and carcass production of finishing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 97:456–471. doi:10.1093/jas/sky415.

Millen, D. D., R. D. L. Pacheco, M. D. B. Arrigoni, M. L. Galyean, and J. T. Vasconcelos. 2009. A snapshot of management practices and nutritional recommendations used by feedlot nutritionists in Brazil. *J. Anim. Sci.* 87:3427–3439. doi:10.2527/jas.2009-1880.

Miller, D. R., R. Elliott, and B. W. Norton. 2008. Effects of an exogenous enzyme, Roxazyme® G2, on intake, digestion and utilisation of sorghum and barley grain-based diets by beef steers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 145:159–181. doi:10.1016/j.anifeedsci.2007.05.045.

Nagaraja, T. G. 1995. Ionophores and antibiotics in ruminants. In: R. J. Wallace and A. Chesson, editors. *Biotechnology in animal feeds and animal feeding.* VCH Publishers Inc., New York. p. 173–204.

Nagaraja, T. G., C. J. Newbold, C. J. van Nevel, and D. I. Demeyer. 1997. Manipulation of ruminal fermentation. In: *The Rumen Microbial Ecosystem. Springer Netherlands, Dordrecht.* p. 523–632.

Nagaraja, T. G., and M. B. Taylor. 1987. Susceptibility and resistance of ruminal bacteria to antimicrobial feed additives. *Appl. Environ. Microbiol.* 53:1620–1625. doi:10.1128/aem.53.7.1620-1625.1987.

Nagaraja, T. G., M. B. Taylor, D. L. Harmon, and J. E. Boyer. 1987. In vitro lactic acid inhibition and alterations in volatile fatty acid production by antimicrobial feed additives. *J. Anim. Sci.* 65:1064–1076. doi:10.2527/jas1987.6541064x.

NASEM. 2016. *Nutrient Requirements of Beef Cattle.* Eighth Rev. The National Academies Press, Washington, DC.

Neumann, M., G. F. M. Leão, E. H. Horst, O. F. Stuani, C. P. Sangali, and R. Castilho. 2018. Exogenous enzymes improve performance and carcass traits of feedlot cattle fed high-grain diet. *Rev. Bras. Zootec.* 47. doi:10.1590/rbz4720170308.

Neumann, M., G. B. Pontarolo, F. B. Cristo, B. J. Venancio, A. D. Manchur, R. K. Ueno, A. M. de Souza, E. M. Moresco, and C. Czelusniak. 2020. Associative effect of monensin sodium to virginiamycin on the performance of beef steers in the initial feedlot phase. *Semin. Agrar.* 41:2349–2364. doi:10.5433/1679-0359.2020v41n5Supl1p2349.

Neumann, M., R. K. Ueno, E. H. Horst, L. H. Kowalski, A. K. Eto, J. O. J. Barcellos, and I. Y. Mizubuti. 2016. Production performance and safety of meat from beef cattle finished in feedlots using salinomycin in the diet. *Semin. Agrar.* 37:4221–4234. doi:10.5433/1679-0359.2016v37n6p4221.

Newbold, C. J., R. J. Wallace, X. B. Chen, and F. M. McIntosh. 1995. Different strains of Saccharomyces cerevisiae differ in their effects on ruminal bacterial numbers in vitro and in sheep. *J. Anim. Sci.* 73:1811–1818. doi:10.2527/1995.7361811x.

Nicholson, J. W. G., H. M. Cunningham, and D. W. Friend. 1962. The addition of buffers to ruminant rations. 2. Additional observations on weight gains, efficiency of gains and consumption by steers of all-concentrate rations. *Can. J. Anim. Sci*. 42:75–81.

Nicholson, J. W. G., H. M. Cunningham, and D. W. Friend. 1963. Effect of Adding Buffers to All-Concentrate Rations on Feedlot Performance of Steers, Ration Digestibility and Intra-Rumen Environment. *J. Anim. Sci*. 22:368–373. doi:https://doi.org/10.2527/jas1963.222368x.

Nozière, P., W. Steinberg, M. Silberberg, and D. P. Morgavi. 2014. Amylase addition increases starch ruminal digestion in first-lactation cows fed high and low starch diets. *J. Dairy Sci.* 97:2319–2328. doi:10.3168/jds.2013-7095.

Nuñez, A. J. C., Caetano, M., Berndt, A., Demarchi, J. J. A. D. A., Leme, P. R., & Lanna, D. P. D. (2013). Combined use of ionophore and virginiamycin for finishing Nellore steers fed high concentrate diets. *Scientia Agricola*, 70, 229-236.

Okeke, G. C., J. G. Buchanan-Smith, and W. L. Grovum. 1983. Effects of buffers on ruminal rate of passage and degradation of soybean meal in steers. *J. Anim. Sci.* 56:1393–1399.

Oliveira, A. P., R. A. Reis, L. M. A. Bertipaglia, G. M. P. Melo, T. T. Berchielli, J. A. Oliveira, D. R. Casagrande, and M. A. A. Balsalobre. 2013. Substituição de monensina sódica por bicarbonato de sódio em dietas de novilhas confinadas. *Arq. Bras. Med. Vet. e Zootec.* 65:1149–1157. doi:10.1590/S0102-09352013000400030.

Oliveira, C. A., and D. D. Millen. 2014. Survey of the nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil. *Anim. Feed Sci. Technol.* 197:64–75. doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.08.010.

Oliveira, L. G., R. N. Ferreira, J. T. Padua, C. J. Ulhoa, C. Dos Santos Settimi Cysneiros, and E. Arnhold. 2015. Desempenho de bovinos não castrados confinados e alimentados com dietas contendo complexo enzimático. *Acta Sci. - Anim. Sci.* 37:181–186. doi:10.4025/actascianimsci.v37i2.26446.

Ornaghi, M. G., R. A. C. Passetti, J. A. Torrecilhas, C. Mottin, A. C. P. Vital, A. Guerrero, C. Sañudo, M. del Mar Campo, and I. N. Prado. 2017. Essential oils in the diet of young bulls: Effect on animal performance, digestibility, temperament, feeding behaviour and carcass characteristics. *Anim. Feed Sci. Technol.* 234:274–283. doi:10.1016/j.anifeedsci.2017.10.008.

Paton, L. J., K. A. Beauchemin, D. M. Veira, and M. A. G. Von Keyserlingk. 2006. Use of sodium bicarbonate, offered free choice or blended into the ration, to reduce the risk of ruminal acidosis in cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 86:429–437. doi:10.4141/A06-014.

Patra, A. K., and J. Saxena. 2010. A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*. 71:1198–1222. doi:10.1016/j.phytochem.2010.05.010.

Peirce, S. B., L. D. Muller, and H. W. Harpster. 1983. Influence of sodium bicarbonate and magnesium oxide on digestion and metabolism in yearling beef steers abruptly changed from high forage to high energy diets. *J. Anim. Sci.* 57:1561–1567. doi:10.2527/jas1983.5761561x.

Peng, Q. hui, L. Cheng, K. Kang, G. Tian, M. Al-Mamun, B. Xue, L. zhi Wang, H. wei Zou, M. G. Gicheha, and Z. sheng Wang. 2020. Effects of yeast and yeast cell wall polysaccharides supplementation on beef cattle growth performance, rumen microbial populations and lipopolysaccharides production. *J. Integr. Agric.* 19:810–819. doi:10.1016/S2095-3119(19)62708-5.

Phesatcha, K., B. Phesatcha, M. Wanapat, and A. Cherdthong. 2020. Roughage to concentrate ratio and saccharomyces cerevisiae inclusion could modulate feed digestion and in vitro ruminal fermentation. *Vet. Sci*. 7:1–13. doi:10.3390/vetsci7040151.

Pinto, A. C. J., and D. D. Millen. 2019. Nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists: The 2016 Brazilian survey. *Can. J. Anim. Sci.* 99:392–407. doi:10.1139/cjas-2018-0031.

Polizel, D. M., M. J. P. T. Barbosa, B. I. Cappellozza, C. N. Lopes, M. V. C. F. Junior, L. G. M. Gobato, J. R. S. Gonçalves, and A. V. Pires. 2017. The addition of narasin into a mineral mixture improves performance of grazing Nellore steers. *J. Anim. Sci.* 95:267–267. doi:10.2527/asasann.2017.545.

Polizel, D. M., B. I. Cappellozza, F. Hoe, C. N. Lopes, J. P. Barroso, A. Miszura, G. B. Oliveira, L. Gobato, and A. V Pires. 2020. Effects of narasin supplementation on dry matter intake and rumen fermentation characteristics of Bos indicus steers fed a high-forage diet. *Transl. Anim. Sci.* 4:118–128. doi:10.1093/tas/txz164.

Prado, O. P. P., L. M. Zeoula, L. P. P. de Moura, S. L. Franco, I. N. do Prado, and H. C. C. Gomes. 2010. Digestibilidade e parâmetros ruminais de dietas à base de forragem com adição de própolis e monensina sódica para bovinos. *Rev. Bras. Zootec.* 39:1336–1345. doi:10.1590/s1516-35982010000600024.

Purevjav, T., M. P. Hoffman, A. Ishdorj, A. J. Conover, M. E. Jedlicka, K. Prusa, J. Torrent, and G. M. Pusillo. 2013. Effects of functional oils and monensin on cattle finishing programs. *Prof. Anim. Sci.* 29:426–434. doi:10.15232/S1080-7446(15)30256-4.

Putnam, D. E., C. G. Schwab, M. T. Socha, N. L. Whitehouse, N. A. Kierstead, and B. D. Garthwaite. 1997. Effect of Yeast Culture in the Diets of Early Lactation Dairy Cows on Ruminal Fermentation and Passage of Nitrogen Fractions and Amino Acids to the Small Intestine. *J. Dairy Sci.* 80:374–384. doi:10.3168/jds.S0022-0302(97)75947-2.

Rabello, R. F., R. R. Bonelli, B. A. Penna, J. P. Albuquerque, R. M. Souza, and A. M. F. Cerqueira. 2020. Antimicrobial resistance in farm animals in Brazil: An update overview. *Animals*. 10:1–43. doi:10.3390/ani10040552.

Raun, A. P., C. O. Cooley, E. L. Potter, R. P. Rathmacher, and L. F. Richardson. 1976. Effect of monensin on feed efficiency of feedlot cattle. *J. Anim. Sci*. 43:670–677. doi:10.2527/jas1976.433670x.

Rigueiro, A. L. N., M. C. S. Pereira, M. M. Squizatti, M. M. Ferreira, S. C. Dondé, F. P. Luiz, A. M. Silvestre, L. R. Muller, C. P. Garcia, A. P. D. Bueno, L. V. Toledo, D. D. Estevam, C. L. Martins, M. D. B. Arrigoni, and D. D. Millen. 2020. Different combinations of sodium monensin and virginiamycin during feedlot finishing of Nellore cattle. *Anim. Prod. Sci.* 60:1061–1072. doi:10.1071/AN18657.

Rogers, J. A., M. E. Branine, C. R. Miller, M. I. Wray, S. J. Bartle, R. L. Preston, D. R. Gill, R. H. Pritchard, R. P. Stilborn, and D. T. Bechtol. 1995. Effects of dietary virginiamycin on performance and liver abscess incidence in feedlot cattle. *J. Anim. Sci*. 73:9–20. doi:10.2527/1995.7319.

Rogers, J. A., and C. L. Davis. 1982. Rumen Volatile Fatty Acid Production and Nutrient Utilization in Steers Fed a Diet Supplemented with Sodium Bicarbonate and Monensin. *J. Dairy Sci.* 65:944–952. doi:10.3168/jds.S0022-0302(82)82295-9.

Romero-Perez, A., Okine, E. K., McGinn, S. M., Guan, L. L., Oba, M., Duval, S. M., ... & Beauchemin, K. A. (2014). The potential of 3-nitrooxypropanol to lower enteric methane emissions from beef cattle. *J. Anim. Sci.*92(10), 4682-4693. doi: 10.2527/jas.2014-7573.

Russel, J. B., and H. J. Strobel. 1989. Effect of lonophores on ruminal fermentation. *Appl. Environ. Microbiol.* 55:1–6. doi:10.1128/aem.55.1.1-6.1989.

Russell, J. B., and J. M. Chow. 1993. Another Theory for the Action of Ruminal Buffer Salts: Decreased Starch Fermentation and Propionate Production. *J. Dairy Sci*. 76:826–830. doi:10.3168/jds.S0022-0302(93)77407-X.

Russell, J. R., A. W. Young, and N. A. Jorgensen. 1980. Effect of Sodium Bicarbonate and Limestone Additions to High Grain Diets on Feedlot Performance and Ruminal and Fecal Parameters in Finishing Steers. *J. Anim. Sci.* 51:996–1002. doi:10.2527/jas1980.514996x.

Salehi, B., M. Gültekin-Özgüven, C. Kirkin, B. Özçelik, M. F. B. Morais-Braga, J. N. P. Carneiro, C. F. Bezerra, T. G. da Silva, H. D. M. Coutinho, B. Amina, L. Armstrong, Z. Selamoglu, M. Sevindik, Z. Yousaf, J. Sharifi-Rad, A. M. Muddathir, H. P. Devkota, M. Martorell, A. K. Jugran, W. C. Cho, and N. Martins. 2020. Antioxidant, Antimicrobial, and Anticancer Effects of Anacardium Plants: An Ethnopharmacological Perspective. *Front. Endocrinol.* (Lausanne). 11:1–16. doi:10.3389/fendo.2020.00295.

Salem, A. Z. M., H. M. Gado, D. Colombatto, and M. M. Y. Elghandour. 2013. Effects of exogenous enzymes on nutrient digestibility, ruminal fermentation and growth performance in beef steers. *Livest. Sci.* 154:69–73. doi:10.1016/j.livsci.2013.02.014.

Sartori, E. D., M. E. A. Canozzi, D. Zago, Ê. R. Prates, J. P. Velho, and J. O. J. Barcellos. 2017. The Effect of Live Yeast Supplementation on Beef Cattle Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Agric. Sci.* 9:21. doi:10.5539/jas.v9n4p21.

Schaefer, D. M., L. J. Wheeler, C. H. Noller, R. B. Keyser, and J. L. White. 1982. Neutralization of Acid in the Rumen by Magnesium Oxide and Magnesium Carbonate. *J. Dairy Sci.* 65:732–739. doi:10.3168/jds.S0022-0302(82)82260-1.

Silva, A. P. S., C. A. Zotti, R. F. Carvalho, R. R. Corte, N. R. B. Cônsolo, S. da L. e Silva, and P. R. Leme. 2019. Effect of replacing antibiotics with functional oils following an abrupt transition to high-concentrate diets on performance and carcass traits of Nellore cattle. *Anim. Feed Sci. Technol*. 247:53–62. doi:10.1016/j.anifeedsci.2018.10.015.

Silva, B. de C., M. V. C. Pacheco, L. A. Godoi, G. A. P. de Souza, N. V. Trópia, P. Pucetti, F. A. de Sales Silva, A. C. B. Menezes, L. N. Rennó, M. F. Paulino, J. P. Schoonmaker, and S. de Campos Valadares Filho. 2021. Feed intake, nutrient digestibility, and selected rumen parameters in feedlot bulls fed diets with different feed additives. *PLoS One*. 16:1–16. doi:10.1371/journal.pone.0259414.

Silva, R. G. da. 2016. *Efeito da adição de narasina na mistura mineral sobre o desempenho de novilhas Nelore*. Universidade de São Paulo.

Silvestre, A. M., and D. D. Millen. 2021. The 2019 Brazilian Survey On Nutritional Practices Provided By Feedlot Cattle Consulting Nutritionists. *Rev. Bras. Zootec.* 50:1–25. doi:10.37496/RBZ5020200189.

Souza, K. A. de, J. de O. Monteschio, C. Mottin, T. R. Ramos, L. A. de M. Pinto, C. E. Eiras, A. Guerrero, and I. N. do Prado. 2019. Effects of diet supplementation with clove and rosemary essential oils and protected oils (eugenol, thymol and vanillin) on animal performance, carcass characteristics, digestibility, and ingestive behavior activities for Nellore heifers finished in feedl. *Livest. Sci*. 220:190–195. doi:10.1016/j.livsci.2018.12.026.

Stroud, T. E., J. E. Williams, D. R. Ledoux, and J. A. Paterson. 1985. The Influence of Sodium Bicarbonate and Dehydrated Alfalfa as Buffers on Steer Performance and Ruminal Characteristics. *J. Anim. Sci*. 60:551–559.

Tedeschi, L. O., D. G. Fox, and T. P. Tylutki. 2003. Potential Environmental Benefits of Ionophores in Ruminant Diets. *J. Environ. Qual.* 32:1591–1602. doi:10.2134/jeq2003.1591.

Tedeschi, L. O., and M. A. Gorocica-Buenfil. 2018. An assessment of the effectiveness of virginiamycin on liver abscess incidence and growth performance in feedlot cattle: A comprehensive statistical analysis. *J. Anim. Sci.* 96:2474–2489. doi:10.1093/jas/sky121.

Teh, T. H., R. W. Hemken, and R. J. Harmon. 1985. Dietary Magnesium Oxide Interactions with Sodium Bicarbonate on Cows in Early Lactation. *J. Dairy Sci*. 68:881–890. doi:10.3168/jds.S0022-0302(85)80905-X.

Thiel, A., Rümbeli, R., Mair, P., Yeman, H., Beilstein, P. 3-NOP: ADME studies in rats and ruminating animals. *Food Chem*. Toxicol. 2019, 125, 528–539.

Thomas, E. E., and M. W. Hall. 1984. Effect of Sodium Bicarbonate and Tetrasodium Pyrophosphate upon Utilization of Concentrate- and Roughage-Based Cattle Diets: Cattle Studies2. *J. Anim. Sci.* 59:1309–1319. doi:10.2527/jas1984.5951309x.

Thomas, J. W., and R. S. Emery. 1969a. Effects of Sodium Bicarbonate, Magnesium Oxide, and Calcium Hydroxide on Milk Fat Secretion. *J. Dairy Sci*. 52:60–63. doi:10.3168/jds.S0022-0302(69)86501-X.

Thomas, J. W., and R. S. Emery. 1969b. Additive Nature of Sodium Bicarbonate and Magnesium Oxide on Milk Fat Concentrations of Milking Cows Fed Restricted-Roughage Rations. *J. Dairy Sci.* 52:1762–1769. doi:10.3168/jds.S0022-0302(69)86838-4.

Tirado-González, D. N., L. A. Miranda-Romero, A. Ruíz-Flores, S. E. Medina-Cuéllar, R. Ramírez-Valverde, and G. Tirado-Estrada. 2018. Meta-analysis: Effects of exogenous fibrolytic enzymes in ruminant diets. *J. Appl. Anim. Res.* 46:771–783. doi:10.1080/09712119.2017.1399135.

Tomkins, N. W., S. E. Denman, R. Pilajun, M. Wanapat, C. S. McSweeney, and R. Elliott. 2015. Manipulating rumen fermentation and methanogenesis using an essential oil and monensin in beef cattle fed a tropical grass hay. *Anim. Feed Sci. Technol*. 200:25–34. doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.11.013.

Toroglu, S. 2007. In vitro antimicrobial activity and antagonistic effect of essential oils from plant species. *J. Environ. Biol.* 28:551–559.

Torres, R. N. S., J. R. Paschoaloto, J. M. B. Ezequiel, D. A. V. da Silva, and M. T. C. Almeida. 2021. Meta-analysis of the effects of essential oil as an alternative to monensin in diets for beef cattle. *Vet. J.* 272:105659. doi:10.1016/j.tvjl.2021.105659.

Toseti, L. B., R. S. Goulart, V. N. Gouvêa, T. S. Acedo, G. S. F. M. Vasconcellos, A. V. Pires, P. R. Leme, A. Saran, and S. L. Silva. 2020. Effects of a blend of essential oils and exogenous α-amylase in diets containing different roughage sources for finishing beef cattle. *Anim. Feed Sci. Technol*. 269. doi:10.1016/j.anifeedsci.2020.114643.

Tricarico, J. M., Abney, M. D., Galyean, M. L., Rivera, J. D., Hanson, K. C., McLeod, K. R., & Harmon, D. L. (2007). Effects of a dietary Aspergillus oryzae extract containing α-amylase activity on performance and carcass characteristics of finishing beef cattle. *Journal of Animal Science*, *85*(3), 802-811.

Valero, M. V., R. M. do Prado, F. Zawadzki, C. E. Eiras, G. S. Madrona, and I. N. do Prado. 2014. Propolis e óleos essenciais na dieta melhoraram o desempenho animal e eficiência alimentar de bovinos não castrados terminados em confinamento. *Acta Sci. - Anim. Sci.* 36:419–426. doi:10.4025/actascianimsci.v36i4.23856.

Vera, J. M., A. H. Smith, D. R. ZoBell, A. J. Young, and J.-S. Eun. 2012. Effects of an exogenous proteolytic enzyme on growth performance of beef steers and in vitro ruminal fermentation in continuous cultures1. *Prof. Anim. Sci*. 28:452–463. doi:10.15232/s1080-7446(15)30385-5.

Vyas, D., S. McGinn, S. Duval, M. Kindermann, and K. Beauchemin. 2016. Effects of sustained reduction of enteric methane emissions with dietary supplementation of 3-nitrooxypropanol on growth performance of growing and finishing beef cattle. *J. Anim. Sci*. 94:2024-2034.

Vyas, D., Alemu, A. W., McGinn, S. M., Duval, S. M., Kindermann, M., & Beauchemin, K. A. (2018). The combined effects of supplementing monensin and 3-nitrooxypropanol on methane emissions, growth rate, and feed conversion efficiency in beef cattle fed high-forage and high-grain diets. *J. Anim. Sci.* 96(7), 2923-2938. doi: 10.1093/jas/sky174.

Wagner, D. 1984. lonophore Comparisons for Feedlot Cattle. *Bov. Pract*. 151–154.

Wallace, R. J., and C. J. Newbold. 1992. Probiotics for ruminants. In: Probiotics: The Scientific Basis. *Springer Netherlands, Dordrecht.* p. 317–353.

Wang, L. M., I. B. Mandell, and B. M. Bohrer. 2020. Effects of feeding essential oils and benzoic acid to replace antibiotics on finishing beef cattle growth, carcass characteristics, and sensory attributes. *Appl. Anim. Sci*. 36:145–156. doi:10.15232/aas.2019-01908.

Watanabe, Y., R. Suzuki, S. Koike, K. Nagashima, M. Mochizuki, R. J. Forster, and Y. Kobayashi. 2010. In vitro evaluation of cashew nut shell liquid as a methane-inhibiting and propionate-enhancing agent for ruminants. *J. Dairy Sci*. 93:5258–5267. doi:10.3168/jds.2009-2754.

Wilson, H. C., F. H. Hilscher, L. J. McPhillips, B. M. Boyd, A. K. Watson, G. E. Erickson, and J. C. MacDonald. 2020. Impact of a fumaric acid and palm oil additive on beef cattle performance and carcass characteristics in diets containing increasing concentrations of corn silage. *Transl. Anim. Sci*. 4:910–921. doi:10.1093/TAS/TXAA043.

Wise, M. B., T. N. Blumer, H. B. Craig, and E. R. Barrick. 1965. Influence of Rumen Buffering Agents and Hay on Performance and Carcass Characteristics of Steers Fed All-Concentrate Rations. *J. Anim. Sci*. 24:83–88.

Worley, R. R., J. A. Paterson, K. P. Coffey, D. K. Bowman, and J. E. Williams. 1986. The effects of corn silage dry matter content and sodium bicarbonate addition on nutrient digestion and growth by lambs and calves. *J. Anim. Sci.* 63:1728–1736. doi:10.2527/jas1986.6361728x.

Yang, W. Z., C. Benchaar, B. N. Ametaj, and K. A. Beauchemin. 2010. Dose response to eugenol supplementation in growing beef cattle: Ruminal fermentation and intestinal digestion. *Anim. Feed Sci. Technol*. 158:57–64. doi:10.1016/j.anifeedsci.2010.03.019.

Zawadzki, F., I. N. Prado, J. A. Marques, L. M. Zeoula, P. P. Rotta, B. B. Sestari, M. V. Valero, and D. C. Rivaroli. 2011. Sodium monensin or propolis extract in the diets of feedlot-finished bulls: Effects on animal performance and carcass characteristics. *J. Anim. Feed Sci*. 20:16–25. doi:10.22358/jafs/66153/2011.

Zinn, R. A. 1986a. Effect of Salinomycin Supplementation on Characteristics of Digestion and Feedlot Performance of Cattle. *J. Anim. Sci.* 63:1996–2004. doi:10.2527/jas1986.6361996x.

Zinn, R. A. 1986b. Influence of forage level on response of feedlot steers to salinomycin supplementation. *J. Anim. Sci.* 63:2005–2012. doi:10.2527/jas1986.6362005x.

Zinn, R. A. 1991. Comparative feeding value of steam-flaked corn and sorghum in finishing diets supplemented with or without sodium bicarbonate. *J. Anim. Sci*. 69:905–916. doi:10.2527/1991.693905x.

Zinn, R. A., and J. L. Borques. 1993. Influence of sodium bicarbonate and monensin on utilization of a fat-supplemented, high-energy growing-finishing diet by feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 71:18–25. doi:10.2527/1993.71118x.

ZoBell, D. R., R. D. Wiedmeier, K. C. Olson, and R. Treacher. 2000. The effect of an exogenous enzyme treatment on production and carcass characteristics of growing and finishing steers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 87:279–285. doi:10.1016/S0377-8401(00)00202-9.

APÊNDICE 16.1

Lista dos trabalhos utilizados no estudo metanalítico sobre os efeitos da monensina e óleos funcionais no desempenho produtivo e parâmetros ruminais de bovinos criados em condições brasileiras:

Almeida, M. T. C., J. R. Paschoaloto, H. L. Perez, V. B. Carvalho, A. C. Homem Junior, V. R. Favaro, H. T. Blair, and J. M. B. Ezequiel. 2019. Effect of adding crude glycerine to diets with feed additives on the feed intake, ruminal degradability, volatile fatty acid concentrations and in vitro gas production of feedlot Nellore cattle. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr*. (Berl). 103:988–996. doi:10.1111/jpn.13105.

Benatti, J. M. B., J. A. Alves Neto, I. M. de Oliveira, F. D. de Resende, and G. R. Siqueira. 2017. Effect of increasing monensin sodium levels in diets with virginiamycin on the finishing of Nellore cattle. *Anim. Sci. J.* 88:1709–1714. doi:10.1111/asj.12831.

Chagas, L. J. 2015. *Desempenho , metabolismo e emissão de metano de bovinos Nelore em terminação recebendo óleos funcionais em substituição ou combinação com monensina sódica na dieta.*

Figueira, D. N. 2018. *Estratégias de retirada da monensina na dieta de bovinos em terminação como modulador de consumo de matéria seca. Universidade Estadual Paulista.*

Da Fonseca, M. P., A. L. Da Costa Cruz Borges, R. Reise Silva, H. F. Lage, A. L. Ferreira, F. C. F. Lopes, C. G. Pancoti, and J. A. S. Rodrigues. 2016. Intake, apparent digestibility, and methane emission in bulls receiving a feed supplement of monensin, virginiamycin, or a combination. *Anim. Prod. Sci*. 56:1041–1045. doi:10.1071/AN14742.

Fugita, C. A., R. M. Do Prado, M. V. Valero, E. G. Bonafé, C. B. Carvalho, A. Guerrero, C. Sañudo, and I. N. Do Prado. 2018. Effect of the inclusion of natural additives on animal performance and meat quality of crossbred bulls (Angus × Nellore) finished in feedlot. *Anim. Prod. Sci*. 50:2076–2083. doi:10.1071/AN16242.

Gomes, R. C., M. T. Antunes, S. L. Silva, and P. R. Leme. 2010. Desempenho e digestibilidade de novilhos zebuínos confinados recebendo leveduras vivas e monensina. *Arch. Zootec.* 60:1077–1086. doi:10.21071/az.v60i232.3992.

Junior, F. P., E. C. O. Cassiano, M. F. Martins, L. A. Romero, D. C. V. Zapata, L. A. Pinedo, C. T. Marino, and P. H. M. Rodrigues. 2017. Effect of tannins-rich extract from Acacia mearnsii or monensin as feed additives on ruminal fermentation efficiency in cattle. *Livest. Sci.* 203:21–29. doi:10.1016/j.livsci.2017.06.009.

Martinele, I., E. D. C. Eifert, R. D. P. Lana, P. B. Arcuri, and M. D'Agosto. 2008. Effect of monensin and soybean oil on rumen ciliate protozoa and correlation between protozoa with ruminal fermentation and digestive parameters. *Rev. Bras. Zootec*. 37:1129–1136. doi:10.1590/s1516-35982008000600025.

Maturana Filho, M., M. G. Oliveira, G. Del Claro, Ribeiro, H. P. Q. Oliveira, A. Netto Saran, M. A. F. Correia, Lísia Bertonha Porcionato, and Zanetti Marcus Antonio. 2010. Parâmetros sanguíneos e desempenho de bovinos de corte em confinamento, submetidos. *J. Chem. Inf. Model.* 11:772–782.

Melo, A. C. B., M. C. S. Pereira, A. L. N. Rigueiro, D. D. Estevam, A. F. Toledo, A. H. P. M. Assumpção, J. V. T. Dellaqua, A. L. J. Lelis, and D. D. Millen. 2020. Impacts of adding functional oils or sodium monensin in high-concentrate diets on performance, feeding behaviour and rumen morphometrics of finishing Nellore cattle. *J. Agric. Sci.* 158:136–142. doi:10.1017/S002185962000026X.

Mogentale. 2010. Effects of Flavomycin on Ruminal Fermentation, In Situ Degradability and In Vivo Digestibility in Bovine Fed Sugarcane Diets. Am. *J. Anim. Vet. Sci*. 5:76–85. doi:10.3844/ajavsp.2010.76.85.

Pereira, M. C. S. 2014. *Efeitos Da Dosagem De Monensina Sódica Sobre O Desempenho Produtivo, Comportamento Ingestivo, Saúde Ruminal E Características De Carcaça Em Bovinos Nelore Confinados*. 69.

Prado, O. P. P., L. M. Zeoula, L. P. P. de Moura, S. L. Franco, I. N. do Prado, and H. C. C. Gomes. 2010. Digestibilidade e parâmetros ruminais de dietas à base de forragem com adição de própolis e monensina sódica para bovinos. *Rev. Bras. Zootec*. 39:1336–1345. doi:10.1590/s1516-35982010000600024.

Ribeiro, F. G. 2014. *Simbióticos e ionóforo em dietas para bovinos mestiços angus: desempenho, características de carcaça e qualidade de carne.* Universidade Estadual Paulista - Campus Botucatu.

Segabinazzi, L. R. 2008. *Aditivo a base de extratos vegetais como alternativa à monensina sódica na dieta de vacas de corte terminadas em confinamento.* Universidade Federal de Santa Maria.

Sitta, C. 2011. *Aditivos (ionóforos , antibióticos não ionóforos e probióticos) em dietas com altos teores de concentrado para tourinhos da raça Nelore em terminação*. Universidade de São Paulo.

Souza, K. A. 2018. *Compostos naturais sobre o desempenho, comportamento, resposta imune e características de carcaça de bovinos.* Universidade Estadual de Maringá.

Zawadzki, F., I. N. Prado, J. A. Marques, L. M. Zeoula, P. P. Rotta, B. B. Sestari, M. V. Valero, and D. C. Rivaroli. 2011. Sodium monensin or propolis extract in the diets of feedlot-finished bulls: Effects on animal performance and carcass characteristics. *J. Anim. Feed Sci.* 20:16–25. doi:10.22358/jafs/66153/2011.

Zotti, C. A. 2014. *Uso de monensina e óleos funcionais de mamona e líquido da casca de caju em dietas com elevada proporção de concentrado fornecidas de forma abrupta para bovinos Nelore confinados*. Universidade de São Paulo.

APPÊNDICE 16.2

Benatti, J. M. B. 2014. *Uso da levedura Yea-Sacc, monensina sódica e sua associação em dietas para tourinhos Nelore, alimentados com elevada proporção de concentrado.* Universidade Estadual Paulista - Campus Jaboticabal.

Chagas, L. J. 2015. *Desempenho , metabolismo e emissão de metano de bovinos Nelore em terminação recebendo óleos funcionais em substituição ou combinação com monensina sódica na dieta.*

Cortada Neto, I. M. 2014. *Promotores De Crescimento Para Bovinos De Corte Estabulados Recebendo Suplemento Concentrado*. Univresidade Federal do Mato Grosso do Sul.

Ferreira, S. F., J. J. De Resende Fernandes, J. T. Padua, U. O. Bilego, M. D. De Freitas Neto, and R. G. Furtado. 2019. Use of virginiamycin and salinomycin in the diet of beef cattle reared under grazing during the rainy season: Performance and ruminal metabolism. *Cienc. Anim. Bras.* 20:1–10. doi:10.1590/1809-6891v20e-26867.

Fonseca, M. P., A. L. Da Costa Cruz Borges, R. Reise Silva, H. F. Lage, A. L. Ferreira, F. C. F. Lopes, C. G. Pancoti, and J. A. S. Rodrigues. 2016. Intake, apparent digestibility, and methane emission in bulls receiving a feed supplement of monensin, virginiamycin, or a combination. *Anim. Prod. Sci.* 56:1041–1045. doi:10.1071/AN14742.

Fugita, C. A., R. M. Do Prado, M. V. Valero, E. G. Bonafé, C. B. Carvalho, A. Guerrero, C. Sañudo, and I. N. Do Prado. 2018. Effect of the inclusion of natural additives on animal performance and meat quality of crossbred bulls (Angus × Nellore) finished in feedlot. *Anim. Prod. Sci.* 50:2076–2083. doi:10.1071/AN16242.

Gobato, L. G. M., R. G. Silva, A. A. Miszura, D. M. Polizel, M. V. C. F. Junior, G. B. Oliveira, A. V. Bertoloni, J. P. R. Barroso, and A. V. Pires. 2017. Effect of narasin addition in mineral mixture on gain and intake of feedlot Nellore heifers. *J. Anim. Sci*. 95:266–266. doi:10.2527/asasann.2017.544. Available from: https://academic.oup.com/jas/article/95/suppl_4/266/4765502

Gomes, R. C., M. T. Antunes, S. L. Silva, and P. R. Leme. 2010. Desempenho e digestibilidade de novilhos zebuínos confinados recebendo leveduras vivas e monensina. *Arch. Zootec.* 60:1077–1086. doi:10.21071/az.v60i232.3992.

Gonçalves, P. H. 2018. *Avaliação do processamento do milho e da lasalocida na temrinação de bovinos Nelore em sistema de alta suplementação na seca*. Universidade Estadual Paulista - Campus Jaboticabal.

Guimarães, K. de L. 2017. *Leveduras vivas e Virginiamicina na dirta de bovinos de corte semiconfinados.* Universidade Estadual de Maringá.

Maturana Filho, M., M. G. Oliveira, G. Del Claro, Ribeiro, H. P. Q. Oliveira, A. Netto Saran, M. A. F. Correia, Lísia Bertonha Porcionato, and Zanetti Marcus Antonio. 2010. Parâmetros sanguíneos e desempenho de bovinos de corte em confinamento, submetidos. *J. Chem. Inf. Model.* 11:772–782.

Melo, A. C. B., M. C. S. Pereira, A. L. N. Rigueiro, D. D. Estevam, A. F. Toledo, A. H. P. M. Assumpção, J. V. T. Dellaqua, A. L. J. Lelis, and D. D. Millen. 2020. Impacts of adding functional oils or sodium monensin in high-concentrate diets on performance, feeding behaviour and rumen morphometrics of finishing Nellore cattle. *J. Agric. Sci.* 158:136–142. doi:10.1017/S002185962000026X.

Sitta, C. 2011. *Aditivos (ionóforos , antibióticos não ionóforos e probióticos) em dietas com altos teores de concentrado para tourinhos da raça Nelore em terminação. Universidade de São Paulo.*

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-192-0.2023.C017.p.431-480

17

Tabelas de exigências nutricionais de bovinos de corte

Pedro Del Bianco Benedeti, Flávia Adriane de Sales Silva, Douglas Teixeira Saraiva, Sidnei Antônio Lopes, Luiz Fernando Costa e Silva, Diego Zanetti, Sebastião de Campos Valadares Filho

INTRODUÇÃO

Aqui serão apresentados exemplos de aplicação das equações propostas ao longo dos capítulos da atual edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2023). Assim, serão disponibilizadas Tabelas com as estimativas das exigências nutricionais em função de diferentes categorias (Animais em crescimento e terminação, vacas lactantes e bezerros lactentes), sistemas de produção (Confinamento e pasto), grupos genéticos (Zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite) e classes sexuais (machos não castrados, machos castrados e fêmeas).

Para facilitar a visualização e interpretação dos dados, para cada exemplo são mostradas três planilhas diferentes: a primeira apresenta as exigências gerais de energia e proteína, bem como os consumos de matéria seca (CMS) e água; a segunda as exigências de minerais; e a terceira mostra as exigências de aminoácidos para ganho de peso.

Nas Tabelas 17.1 e 17.2 estão apresentados os sumários com a numeração das mesmas de cada categoria, bem como as páginas onde poderão ser encontradas.

Tabela 17.1 - Sumário das Tabelas com as exigências nutricionais de bovinos de corte em crescimento e terminação, divididos por sistema produtivo, grupo genético e sexo

Sistema	Grupo Genético	Sexo	Tabelas			Páginas
			Gerais	Minerais	Aminoácidos	
Confinamento	Zebuíno	Macho não castrado	17.3a	17.3b	17.3c	441 – 443
		Macho castrado	17.4a	17.4b	17.4c	444 – 446
		Fêmea	17.5a	17.5b	17.5c	447 -449
	Cruzado de Corte	Macho não castrado	17.6a	17.6b	17.6c	450 – 452
		Macho castrado	17.7a	17.7b	17.7c	453 – 455
		Fêmea	17.8a	17.8b	17.8c	456 – 458
	Cruzado de Leite	Macho não castrado	17.9a	17.9b	17.9c	459 – 461
		Macho castrado	17.10a	17.10b	17.10c	462 – 464
		Fêmea	17.11a	17.11b	17.11c	465 – 467
Pasto	Zebuíno	Macho não castrado	17.12a	17.12b	17.12c	468 - 470

Tabela 17.2 - Sumário das Tabelas com as estimativas das exigências nutricionais de vacas de corte lactantes e bezerros lactentes

Categoria	Tabelas		Páginas
	Gerais	Minerais	
Vaca Primípara	17.13a	17.13b	473 – 474
Vaca Multípara	17.14a	17.14b	475 – 476
Bezerros - 100 e 150 kg PC	17.15a	17.15b	477 – 478
Bezerros - 200 e 250 kg PC	17.16a	17.16b	479 - 480

*PC = peso corporal;

Além das Tabelas de exigências nutricionais disponíveis nesse capítulo, uma planilha do Excel® também foi desenvolvida para estimar as exigências nutricionais de bovinos de corte, a qual encontra-se disponível para download gratuito no seguinte endereço: https://www.brcorte.com.br. Essa planilha permite que o usuário insira as informações específicas do animal para o qual se deseja formular uma dieta (grupo genético, classe sexual, sistema produtivo, etc.), por exemplo um animal cruzado de corte, terminado em confinamento, com 438kg de PC e 1,67kg de GMD, localizado em uma região com 32,8°C de temperatura máxima e 72,4% de umidade.

É recomendado que, durante o processo de formulação das dietas, os usuários utilizem preferencialmente as informações reais de composição dos alimentos disponíveis, sejam elas obtidas via análises laboratoriais convencionais ou via tecnologias aplicadas na própria fazenda (NIR, por exemplo). Apesar de proporcionar maior precisão quanto ao atendimento das exigências nutricionais dos animais, a determinação da composição dos alimentos muitas vezes não é viável, seja pela demora na obtenção dos resultados ou pelo elevado custo. Uma alternativa é o uso de valores tabelados de composição dos alimentos, que normalmente são médias de várias observações obtidas em estudos de nutrição animal. Nesse contexto, a composição média de diversos alimentos utilizados na alimentação de ruminantes em condições brasileiras está disponível nas Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Ruminantes (CQBAL 4.0), as quais podem ser acessadas no seguinte endereço: https://www.cqbal.com.br.

Vale ressaltar que a dieta formulada dificilmente vai corresponder exatamente ao que está sendo misturado e/ou oferecido e efetivamente consumido pelos animais, devido a necessidade de se fazer pressuposições no momento da formulação (características dos animais e composição dos alimentos, por exemplo) e a variação em diversos outros fatores que afetam o CMS e ambiente ruminal (condições ambientais, manejo da alimentação, etc.). Assim, a formulação da dieta é apenas um ponto do processo de alimentação dos animais, a qual precisa ser constantemente monitorada e possivelmente ajustada nos sistemas produtivos.

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DAS RECOMENDAÇÕES DO BR-CORTE (2023)

A seguir serão descritos três exemplos de cálculos das exigências nutricionais de bovinos de corte: o primeiro para animais em crescimento e terminação; o segundo para vacas de corte lactantes; e o terceiro para bezerros de corte lactentes.

Bovinos de corte em crescimento e terminação

Para o cálculo das exigências nutricionais de bovinos em crescimento e terminação, será considerado um Zebuíno, macho não castrado, com peso corporal médio de 520 kg e ganho médio diário de 1,4 kg/dia, criado em confinamento em uma região com 25,7°C de temperatura máxima e 65,0% de umidade.

a) Estimativa do consumo de matéria seca

$$CMS = -2{,}1948 + 0{,}08338 \times PC^{0{,}75} + 3{,}9328 \times GMD - 0{,}9030 \times GMD^2$$
$$CMS = -2{,}1948 + 0{,}08338 \times 520^{0{,}75} + 3{,}9328 \times 1{,}4 - 0{,}9030 \times 1{,}4^2$$
$$CMS = 10{,}62 \text{ kg/dia}$$

b) Estimativa das exigências de energia

Passo 1: Cálculo do GPCVZ

$$GPCVZ = 0{,}963 \times GMD^{1{,}0151} \rightarrow 0{,}963 \times 1{,}4^{1{,}0151} \rightarrow 1{,}355 \text{ kg/dia}$$

Passo 2: Cálculo do PCVZeq

$$PCJ = 0{,}8915 \times PC^{1{,}0151} \rightarrow 0{,}8915 \times 520^{1{,}0151} \rightarrow 509{,}5 \text{ kg}$$
$$PCVZ = 0{,}8126 \times PCJ^{1{,}0134} \rightarrow 0{,}8126 \times 509{,}5^{1{,}0134} \rightarrow 450{,}1 \text{ kg}$$
$$PCVZeq = (PCVZ / 517) \times 517 \rightarrow (450{,}1 / 517) \times 517 \rightarrow 450{,}1 \text{ kg}$$

Passo 3: Cálculo da EMg

$$ELg = 0{,}061 \times PCVZeq^{0{,}75} \times GPCVZ^{1{,}035} \rightarrow 0{,}061 \times 450{,}1^{0{,}75} \times 1{,}355^{1{,}035} \rightarrow 8{,}16 \text{ Mcal/dia}$$

ERprot = 1,140 × (ELg / GPCVZ)$^{-1,137}$ → 1,140 × (8,16 / 1,355)$^{-1,137}$ → 0,148
kg = 0,327 / (0,539 + ERprot) → 0,327 / [0,539 + 0,148] → 0,476
EMg = ELg / *kg* → 8,16 / 0,476 →17,15 Mcal/dia

Passo 4: Cálculo da EMm
ELm = 0,075 × PCVZ^{0,75} → 0,075 × 450,1^{0,75} → 7,33 Mcal/dia
km = (0,513 + 0,173 × *kg* + 0,100 × GPCVZ) × 1 → [(0,513 + 0,173 × 0,476 + 0,100 × 1,355) × 1] → 0,73
EMm = ELm / *km* → 7,33 / 0,73 → 10,03 Mcal/dia

Passo 5: Cálculo da EMtotal e ED
EMtotal = EMg + EMm → 17,15 + 10,03 → 27,18 Mcal/dia
ED = [((EMtotal / CMS) + 0,3032) / 0,9455] × CMS → [((27,18 / 10,62) + 0,3032) / 0,9455] × 10,62 → 32,15 Mcal/dia

Passo 6: Cálculo do NDT
NDT = ED / 4,4 → 32,15 / 4,4 → 7,31 kg/dia

Passo 7: Cálculo do percentual de NDT
NDT (%) = NDT × 100/CMS = 7,31× 100/ 10,62 = 68,8%

c) Estimativa das exigências de proteína

Passo 1: Cálculo da PMm
PMm = 3,6 × PCJ^{0,75} = 3,6 × 509,5 = 386,1 g/dia

Passo 2: Cálculo da PMg
PLg = 176,01 × GPCVZ – 0,381 × PCVZeq^{0,75} × GPCVZ^{1,035}
PLg = 176,01 × 1,355 – 0,381 × 450,1^{0,75} × 1,355^{1,035}
PLg = 187,5
k = 47,4%
PMg = PLg/*k* = 187,5/0,474 = 395,6 g/dia

Passo 3: Cálculo da PMtotal
PM total = PMm + PMg = 386,1 + 395,6 = 781,7 g/dia

Passo 4: Cálculo da PDR
PBmic = - 53,07 + 304,9 × CPB + 90,8 × CNDT – 3,13 × CNDT^2
PBmic = - 53,07 + 304,9 × 1,135 + 90,8 × 7,31 – 3,13 × 7,31^2 = 789,3 g/dia
PDR = PBmic = 789,3 g/dia

Passo 5: Cálculo da PNDR
PNDR = [PM – (PBmic × 0,64)]/0,80
PNDR = [781,7 – (789,3 × 0,64)]/0,80 = 345,6 g/dia

Passo 6: Cálculo da PB
PB = PDR + PNDR = 789,3 + 345,6 = 1135 g/dia

d) Estimativa das exigências de cálcio

Mantença: 11,7 × PC = 11,7 × 520 = 6084 mg = 6,08 g/dia
Ganho: GPCVZ × (147 × PCVZ$^{-0,50}$) = 1,355 × (147 × 450,1$^{-0,50}$) = 9,39 g/dia
Exigências líquidas totais: Mantença + Ganho = 6,08 + 9,38 = 15,47 g/dia
Exigências dietéticas: Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 15,46/0,568 = 27,24 g/dia

e) Estimativa das exigências de fósforo

Mantença: 13,5 × PC = 13,5 × 520 = 7020 mg = 7,02 g/dia
Ganho: = 0,0 g/dia
Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 7,02 + 0 = 7,02 g/dia
Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 7,02/0,678 = 10,35 g/dia
Relação Ca/P =27,24/10,35 = 2,63

f) Estimativa das exigências de magnésio

Mantença: 5,9 × PC = 5,9 × 520 = 3068 mg = 3,07 g/dia
Ganho: GPCVZ × (0,3466 × PCVZ^{0,0113}) = 1,355 × (0,3466 × 450,1^{0,0113}) = 0,50 g/dia

Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 3,07 + 0,50 = 3,57 g/dia
Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 3,57/0,355 = 10,06 g/dia

g) Estimativa das exigências de sódio
Mantença: 6,3 × PC = 6,3 × 520 = 3276 mg = 3,28 g/dia
Ganho: GPCVZ × (5,594 × $PCVZ^{-0,2998}$) = 1,355 × (5,594 × $450,1^{-0,2998}$) = 1,21 g/dia
Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 3,28 + 1,21 = 4,49 g/dia
Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 4,49/0,371 = 12,10 g/dia

h) Estimativa das exigências de potássio
Mantença: 23,5 × PC = 23,5 × 520 = 12220 mg = 12,2 g/dia
Ganho: GPCVZ × (0,9463 × $PCVZ^{0,1216}$) = 1,355 × (0,9463 × $450,1^{0,1216}$) = 2,70 g/dia
Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 12,2 + 2,70 = 14,92 g/dia
Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 14,92/0,484 = 30,82 g/dia

i) Estimativa das exigências de enxofre
Mantença: 10,4 × PC = 10,4 × 520 = 5408 mg = 5,41 g/dia
Ganho: GPCVZ × (0,03 × $PCVZ^{0,89}$) = 1,355 × (0,03 × $450,1^{0,89}$) = 9,34 g/dia
Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 5,41 + 9,34 = 14,75 g/dia
Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 14,75/0,773 = 19,08 g/dia

j) Estimativa das exigências de cobre
Mantença: 95,6 × PC = 95,6 × 520 = 49712 μg = 49,71 mg/dia
Ganho: GPCVZ × (1,25 × $PCVZ^{0,33}$) = 1,355 × (1,25 × $450,1^{0,33}$) = 12,72 mg/dia
Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 49,71 + 12,72 = 62,43 mg/dia
Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 62,43/0,735 = 84,94 mg/dia

k) Estimativa das exigências de ferro
Mantença: 2942 × PC = 2942 × 520 = 1529840 μg = 1530 mg/dia
Ganho: GPCVZ × (10,4 × $PCVZ^{0,24}$) = 1,355 × (10,4 × $450,1^{0,24}$) = 61,1 mg/dia
Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 1530 + 61,1 = 1591 mg/dia
Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 1591/0,734 = 2167 mg/dia

l) Estimativa das exigências de manganês
Mantença: 184,9 × PC = 184,9 × 520 = 96148 μg = 96,15 mg/dia
Ganho: GPCVZ × (0,07 × $PCVZ^{0,80}$) = 1,355 × (0,07 × $450,1^{0,80}$) = 12,58 mg/dia
Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 96,15 + 12,58 = 108,73 mg/dia
Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 108.73/0,439 = 247,67 mg/dia

m) Estimativa das exigências de selênio
Mantença: 3,72 × PC = 3,72 × 520 = 1934 μg = 1,93 mg/dia
Ganho: GPCVZ × (1,07 × $PCVZ^{-0,07}$) = 1,355 × (1,07 × $450,1^{-0,07}$) = 0,95 mg/dia
Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 1,93 + 0,95 = 2,88 mg/dia
Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 2,88/0,487 = 5,91mg/dia

n) Estimativa das exigências de zinco
Mantença: 334,4 × PC = 334,4 × 520 = 173888 μg =173,89 mg/dia
Ganho: GPCVZ × (1,16 × $PCVZ^{0,86}$) = 1,355 × (1,16 × $450,1^{0,86}$) = 300,78 mg/dia
Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 173,89 + 300,78 = 474,67 mg/dia
Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 474,58/0,668 = 710,58 mg/dia

o) Estimativa das exigências de cobalto
Mantença: 13,5 × PC = 13,5 × 520 = 7020 μg = 7,02 mg/dia
Ganho: GPCVZ × (0,045 × $PCVZ^{-0,023}$) = 1,355 × (0,045 × $450,1^{-0,023}$) = 0,05 mg/dia

Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 7,02 + 0,05= 7,07 mg/dia
Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 7,07/0,868 = 8,15 mg/dia

p) Estimativa das exigências de cromo

Mantença: 22,9 × PC = 22,9 × 520 = 11908 μg =11,91 mg/dia
Ganho: GPCVZ × (0,23 × $PCVZ^{0,61}$) = 1,355 × (0,23 × $450,1^{0,61}$) = 12,95 mg/dia
Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 11,91 + 12,95 = 24,86 mg/dia
Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = 24,86/0,784 = 31,71 mg/dia

q) Estimativa das exigências de molibdênio

Mantença: 3,27 × PC = 3,27 × 520 = 1700 μg = 1,70 mg/dia
Ganho: GPCVZ × (0,0035 × $PCVZ^{0,4063}$) = 1,355 × (0,0035 × $450,1^{0,41}$) = 0,06 mg/dia
Exigências líquidas totais = Mantença + Ganho = 1,70 + 0,06 = 1,76 mg/dia
Exigências dietéticas = Exigências líquidas totais/coef. de retenção = 1,76/0,497 = 3,54 mg/dia

r) Estimativa do consumo de água

Para a estimativa do consumo de água serão consideradas a temperatura máxima (T_{MAX}) e a umidade relativa do ar (UR) iguais a igual a 25,7 ºC a 65,0%, respectivamente.

- $C_{ÁGUA}$ = 9,449 + 0,190 × $PC^{0,75}$ + 0,271 × T_{MAX} – 0,259 × UR + 0,489 × CMS
- $C_{ÁGUA}$ = 9,449 + 0,190 × $520^{0,75}$ + 0,271 × 25,7 – 0,259 × 65,0 + 0,489 × 10,62
- $C_{ÁGUA}$ = 25,5 L/dia

s) Estimativa das exigências de aminoácidos essenciais

Exigências de arginina metabolizável para ganho = ((30,8 × $PCVZ^{-0,1631}$)/*k)* × GPCVZ → ((30,8 × $450,1^{-0,1631}$)/0,56) × 1,355 → 27,52 g/dia
Exigências de histidina metabolizáveis para ganho: ((3,69 × $PCVZ^{0,0556}$)/*k)* × GPCVZ → ((3,69 × $450,1^{0,0556}$)/0,62) × 1,355 → 11,33 g/dia
Exigências de isoleucina metabolizável para ganho: ((9,56 × $PCVZ^{-0,0631}$)/*k)* × GPCVZ → ((9,56 × $450,1^{-0,0631}$)/0,30) × 1,355 → 29,37 g/dia
Exigências de leucina metabolizável para ganho: ((21,5 × $PCVZ^{-0,0997}$)/*k)* × GPCVZ → ((21,5 × $450,1^{0,0997}$)/0,30) × 1,355 → 52,81 g/dia
Exigências de lisina metabolizável para ganho: ((15,9 × $PCVZ^{-0,0464}$)/*k)* × GPCVZ → ((15,9 × $450,1^{-0,0464}$)/0,37) × 1,355 → 43,86 g/dia
Exigências de metionina metabolizável para ganho: ((5,43 × $PCVZ^{-0,0803}$)/*k)* × GPCVZ → ((5,43 × $450,1^{-0,0803}$)/0,58) × 1,355 → 7,77 g/dia
Exigências de fenilalanina metabolizável para ganho: ((8,98 × $PCVZ^{-0,0630}$)/*k)* × GPCVZ → ((8,98 × $450,1^{-0,0630}$)/0,31) × 1,355 → 26,71 g/dia
Exigências de treonina metabolizável para ganho: ((9,54 × $PCVZ^{-0,0651}$)/*k)* × GPCVZ → ((9,54 × $450,1^{-0,0651}$)/0,34) × 1,355 →25,54 g/dia
Exigências de triptofano metabolizável para ganho: ((1,57 × $PCVZ^{-0,0302}$)/*k)* × GPCVZ → ((1,57 × $450,1^{-0,0302}$)/0,39) × 1,355 → 4,54 g/dia
Exigências de valina metabolizável para ganho: ((9,61 × $PCVZ^{-0,0249}$)/*k)* × GPCVZ → ((9,61 × $450,1^{-0,0249}$)/0,40) × 1,355 → 27,96 g/dia

t) Estimativa das exigências de aminoácidos não essenciais

Exigências de alanina metabolizável para ganho: ((34,2 × $PCVZ^{-0,1885}$)/*k)* × GPCVZ → ((34,2 × $450,1^{-0,1885}$)/0,35) × 1,355 → 41,86 g/dia
Exigências de ácido aspártico metabolizável para ganho: ((23,4 × $PCVZ^{-0,1249}$)/*k)* × GPCVZ → ((23,4 × $450,1^{-0,1249}$)/0,26) × 1,355 → 56,86 g/dia
Exigências de cistina metabolizável para ganho: ((1,64 × $PCVZ^{0,0111}$)/*k)* × GPCVZ → ((1,64 × $450,1^{0,0111}$)/0,18) × 1,355 → 13,21 g/dia
Exigências de ácido glutâmico metabolizável para ganho: ((37,7 × $PCVZ^{-0,0942}$)/*k)* × GPCVZ → ((37,7 × $450,1^{-0,0942}$)/0,67) × 1,355 → 42,88 g/dia

Exigências de glicina metabolizável para ganho: $((82,7 \times PCVZ^{-0,2709})/k) \times GPCVZ \rightarrow ((82,7 \times 450,1^{-0,2709})/0,63) \times 1,355 \rightarrow 33,99$ g/dia
Exigências de prolina metabolizável para ganho: $((47,7 \times PCVZ^{-0,2450})/k) \times GPCVZ \rightarrow ((47,7 \times 450,1^{-0,2450})/0,43) \times 1,355 \rightarrow 33,65$ g/dia
Exigências de serina metabolizável para ganho: $((16,0 \times PCVZ^{-0,1509})/k) \times GPCVZ \rightarrow ((16,0 \times 450,1^{-0,1509})/0,31) \times 1,355 \rightarrow 27,82$ g/dia
Exigências de tirosina metabolizável para ganho: $((6,53 \times PCVZ^{-0,0526})/k) \times GPCVZ \rightarrow ((6,53 \times 450,1^{-0,0526})/0,26) \times 1,355 \rightarrow 24,68$ g/dia

Vacas de corte lactantes

As seguintes informações serão consideradas para o cálculo das exigências de vacas de corte lactantes: vaca de corte multípara, de 450 kg de peso corporal, na 10ª semana de lactação, com ganho médio diário de 0,2 kg/dia

a) Estimativa da produção de leite

$PL = 7,996 - 0,101 \times SL - 7,996 \times \exp^{(-1,447 \times SL)}$
$PL = 7,996 - 0,101 \times 10 - 7,996 \times \exp^{(-1,447 \times 10)}$
PL = 6,99 kg/dia

b) Estimativa do consumo de matéria seca

$CMS = (6,535 – 7,558 \times \exp^{(-0,578 \times SL)} + 0,323 \times SL + 1,66 \times PL) * PC / 1000$
$CMS = (6,535 – 7,558 \times \exp^{(-0,578 \times 10)} + 0,323 \times 10 + 1,66 \times 6,99) * 450 / 1000$
CMS = 9,60 kg/dia

c) Estimativa das exigências de energia

Passo 1: Cálculo do GPCVZ
$GPCVZ = 0,963 \times GMD^{1,0151} \rightarrow 0,963 \times 0,2^{1,0151} \rightarrow 0,188$ kg/dia
Passo 2: Cálculo do PCVZ
$PCJ = 0,8915 \times PC^{1,0151} \rightarrow 0,8915 \times 450^{1,0151} \rightarrow 439,9$ kg
$PCVZ = 0,8507 \times PCJ^{1,0002} \rightarrow 0,8507 \times 439,9^{1,0002} \rightarrow 374,7$ kg
Passo 3: Cálculo da ELm
$ELm = 97,8 \times PCVZ^{0,75} \rightarrow 97,8 \times 374,7^{0,75} \rightarrow 8329,4$ kcal/dia → 8,33 Mcal/dia
Passo 4: Cálculo da EMm
$EMm = 135,0 \times PCVZ^{0,75} \rightarrow 135,0 \times 374,7^{0,75} \rightarrow 11497$ kcal/dia → 11,5 Mcal/dia
Passo 5: Cálculo da ELg
$ELg = 1,0076 \times PCVZ^{0,2389} \times GPCVZ \rightarrow 1,0076 \times 374,7^{0,2389} \times 0,188 \rightarrow 0,78$ Mcal/dia
Passo 6: Cálculo da EMg
$EMg = ELg/kg \rightarrow 0,78/0,44 \rightarrow 1,77$ Mcal/dia
Passo 7: Cálculo da EL_l
EL_l = 0,82 Mcal/kg de leite → 0,82 × 6,99 → 5,73 Mcal/dia
Passo 8: Cálculo da EM_l
$EM_l = EL_l/k_l \rightarrow 5,73/0,72 \rightarrow 7,96$ Mcal/dia
Passo 9: Cálculo da EMt
$EMt = EMm + EMg + EM_l \rightarrow 11,5 + 1,77 + 7,96 \rightarrow 21,23$ Mcal/dia
Passo 10: Cálculo da ED
$ED = (((EMt/CMS) + 0,3032)/0,9455) \times CMS \rightarrow (((21,23/9,6) + 0,3032)/0,9455) \times 9,6 \rightarrow$ 25,53 Mcal/dia
Passo 11: Cálculo do NDT
$NDT = ED/4,4 \rightarrow 25,53/4,4 = 5,80$ kg/dia
Passo 12: Cálculo do percentual de NDT
$NDT (\%) = NDT \times 100/CMS \rightarrow 5,80 \times 100/9,6 \rightarrow 60,4\%$

d) Estimativa das exigências de proteína

Passo 1: Cálculo da PMm
PMm = $3,9 \times PCJ^{0,75} \rightarrow 3,9 \times 439,9^{0,75} \rightarrow 374,6$ g/dia
Passo 2: Cálculo da PMg
PLg = $0,3764 \times PCVZ^{-0,1839} \times GPCVZ \rightarrow 0,3764 \times 374,7^{-0,1839} \times 0,188 \rightarrow 0,0238$ kg/dia → 23,8 g/dia
PMg = PLg/*k* → 23,8/0,474 → 50,2 g/dia
Passo 3: Cálculo da PM_l
PM_l = 50,5 g/kg leite → 50,5 × 6,99 → 353 g/dia
Passo 4: Cálculo da PM total
PMt = PMm + PMg + PM_l → 374,6 + 50,2 + 353 → 778,8 g/dia
Passo 5: Cálculo da PDR
PBmic = $-53,07 + 304,89 \times CPB + 90,79 \times CNDT - 3,13 \times CNDT^2 \rightarrow -53,07 + 304,89 \times 1,115 + 90,79 \times 5,8 - 3,13 \times 5,8^2 \rightarrow 708,2$ g/dia
PDR = PBmic = 708,2 g/dia
Passo 6: Cálculo da PNDR
PNDR = (PMt – (PBmic × 0,64))/0,80 → (778,8 – (708,2 × 0,64))/0,80 → 406,9 g/dia
Passo 7: Cálculo da PB
PB = PDR + PNDR → 708,2 + 406,9 → 1115 g/dia
Passo 8: Cálculo do percentual de PB
PB (%) = PB × 100/CMS → 1,115/9,6 × 100 → 11,6%

e) Estimativa das exigências de cálcio
Mantença = 11,7 × 450/1000 = 5,27 g/dia
Ganho = GPCVZ × ($147 \times PCVZ^{-0,50}$) = $0,188 \times (147 \times 374,7^{-0,50})$ = 1,42 g/dia
Lactação = 1,1 g/kg leite = 1,1 × 6,99 = 7,68 g/dia
Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (5,27 + 1,42 + 7,68) / 0,568 = 25,3 g/dia

f) Estimativa das exigências de fósforo
Mantença = 13,5 × 450/1000 = 6,08 g/dia
Ganho = GPCVZ × ($54,4 \times PCVZ^{-0,4484}$) = $0,188 \times (54,4 \times 374,7^{-0,4484})$ = 0,71 g/dia
Lactação = 0,77 g/kg leite = 0,77 × 6,99 = 5,38 g/dia
Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (6,08 + 0,72 + 5,38) / 0,678 = 17,95 g/dia
Relação Ca:P = 25,3/17,96 = 1,41

g) Estimativa das exigências de Magnésio
Mantença = 5,9 × 450/1000 = 2,66 g/dia
Ganho = GPCVZ × ($1,4 \times PCVZ^{-0,3227}$) = $0,188 \times (1,4 \times 374,7^{-0,3227})$ = 0,039 g/dia
Lactação = 0,07 g/kg leite = 0,07 × 6,99 = 0,49 g/dia
Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (2,66 + 0,039 + 0,49) / 0,355 = 8,97 g/dia

h) Estimativa das exigências de Sódio
Mantença = 6,3 × 450/1000 = 2,84 g/dia
Ganho = GPCVZ × ($1,4 \times PCVZ^{-0,0575}$) = $0,188 \times (1,4 \times 374,7^{-0,0575})$ = 0,186 g/dia
Lactação = 0,2 g/kg leite = 0,2 × 6,99 = 1,39 g/dia
Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (2,84 + 0,186 + 1,39) / 0,371 = 11,9 g/dia

i) Estimativa das exigências de Potássio
Mantença = 23,5 × 450/1000 = 10,58 g/dia
Ganho = GPCVZ × ($3,1 \times PCVZ^{-0,2142}$) = $0,188 \times (3,1 \times 374,7^{-0,2142})$ = 0,164 g/dia
Lactação = 0,7 g/kg leite = 0,7 × 6,99 = 4,89 g/dia

Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (10,58 + 0,164 + 4,89) / 0,484 = 32,3 g/dia

j) Estimativa das exigências de Enxofre

Mantença = 10,4 × 450/1000 = 4,68 g/dia
Ganho = GPCVZ × (0,03 × $PCVZ^{0,89}$) = 0,188 × (0,03 × $374,7^{0,89}$) = 1,10 g/dia
Lactação = 0,3 g/kg leite = 0,3 × 6,99 = 2,10 g/dia
Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (4,68 + 1,11 + 2,09) / 0,773 = 10,2 g/dia

k) Estimativa das exigências de Cobalto

Mantença = 13,5 × 450/1000 = 6,08 mg/dia
Ganho = GPCVZ × (0,045 × $PCVZ^{-0,023}$) = 0,188 × (0,045 × $374,7^{-0,023}$) = 0,007 mg/dia
Lactação = 0,23 mg/kg leite = 0,23 × 6,99 = 1,608 mg/dia
Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (6,08 + 0,007 + 1,608) / 0,868 = 8,86 mg/dia

l) Estimativa das exigências de Cobre

Mantença = 95,6 × 450/1000 = 43,02 mg/dia
Ganho = GPCVZ × (1,25 × $PCVZ^{0,33}$) = 0,188 × (1,25 × $374,7^{0,33}$) = 1,66 mg/dia
Lactação = 1,99 mg/kg leite = 1,99 × 6,99 = 13,9 mg/dia
Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (43,02 + 1,66 + 13,9) / 0,735 = 79,7 mg/dia

m) Estimativa das exigências de Cromo

Mantença = 22,9 × 450/1000 = 10,31 mg/dia
Ganho = GPCVZ × (0,23 × $PCVZ^{0,61}$) = 0,188 × (0,23 × $374,7^{0,61}$) = 1,61 mg/dia
Lactação = 3,2 mg/kg leite = 3,2 × 6,99 = 22,37 mg/dia
Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (10,31 + 1,61 + 22,37) / 0,784 = 43,7 mg/dia

n) Estimativa das exigências de Ferro

Mantença = 2942 × 450/1000 = 1324 mg/dia
Ganho = GPCVZ × (10,4 × $PCVZ^{0,24}$) = 0,188 × (10,4 × $374,7^{0,24}$) = 8,1 mg/dia
Lactação = 29,9 mg/kg leite = 29,9 × 6,99 = 208,9 mg/dia
Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (1324 + 8,1 + 208,9) / 0,734 = 2099 mg/dia

o) Estimativa das exigências de Manganês

Mantença = 184,9 × 450/1000 = 83,21 mg/dia
Ganho = GPCVZ × (0,07 × $PCVZ^{0,80}$) = 0,188 × (0,07 × $374,7^{0,80}$) = 1,50 mg/dia
Lactação = 1,41 mg/kg leite = 1,41 × 6,99 = 9,85 mg/dia
Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (83,21 + 1,50 + 9,85) / 0,439 = 215,4 mg/dia

p) Estimativa das exigências de Zinco

Mantença = 334,4 × 450/1000 = 150,5 mg/dia
Ganho = GPCVZ × (1,16 × $PCVZ^{0,86}$) = 0,188 × (1,16 × $374,7^{0,86}$) = 35,64 mg/dia
Lactação = 35,4 mg/kg leite = 35,4 × 6,99 = 247,44 mg/dia
Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho + lactação) / coeficiente de retenção = (150,5 + 35,64 + 247,44) / 0,668 = 649 mg/dia

Bezerros de corte lactentes

Foram consideradas abaixo as informações para o cálculo das exigências de bezerros lactentes de 150 kg de peso corporal na 10ª semana de vida, com ganho médio diário de 0,8 kg/dia.

a) Estimativa do consumo

CMS leite = PL × % MS leite = 6,99 × 0,139 = 0,97 kg/dia
CMS solidos = 0,353 – 0,532 × CMS leite + 0,01065 × PC + 0,3497 × GMD
CMS solidos = 0,353 – 0,532 × 0,97 + 0,01065 × 150 + 0,3497 × 0,80 = 1,71 kg/dia
CMS total = CMS sólido + CMS leite = 1,71 + 0,97 = 2,68 kg/dia
CMS leite% = (CMS leite / CMS total) × 100 = (0,97 / 2,68) × 100 = 36,19%
CMS solidos% = (CMS solidos / CMS total) × 100 = (1,71 / 2,68) × 100 = 63,81%
PCJ = PC
PCVZ = 0,962 × PCJ = 0,962 × 150 = 144,3 kg
GPCVZ = 0,958 × GMD = 0,958 × 0,80 = 0,77 kg/dia

b) Estimativa das exigências de energia

ELm = $70,3 \times PCVZ^{0,75} = 70,3 \times 144,3^{0,75} = 2,93$ Mcal/dia
EMm = $118,6 \times PCVZ^{0,75} = 118,6 \times 144,3^{0,75} = 4,94$ Mcal/dia
ELg = $0,0932 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,9157} = 0,0932 \times 144,3^{0,75} \times 0,77^{0,9157} = 3,04$ Mcal/dia
kg = (CMS leite% × 0.69 + CMS solidos% × 0.57)/100 = 36,19 × 0,69 + 63,81 × 0,57 = 0,613
EMg = ELg/*kg* = 3,04/0,613 = 4,96 Mcal/dia
EMt = EMm + EMg = 4,94 + 4,96 = 9,90 Mcal/dia
ED = EMt/0,96 = 9,90/0,96 = 10,31 Mcal/dia
NDT = ED/4,4 = 10,31/4,4 = 2,34 kg/dia
NDT % = (NDT / CMStotal) × 100 = (2,34 / 2,68) × 100 = 87,26%

c) Estimativa das exigências de proteína

PMm = $3,9 \times PCJ^{0,75} = 3,9 \times 150^{0,75} = 167,2$ g/dia
PLg = $0,1397 \times PCVZ^{0,0351} \times GPCVZ = 0,1397 \times 144,3^{0,0351} \times 0,77 = 0,1275$ kg/dia= 127,5 g/dia
k = 84,665 – 0,1179 × PCVZeq = 84,665 – 0,1179 × 144,3 = 67,7%
PMg = PLg/*k* = 127,5/0,677 = 188,4 g/dia
PMt = PMm + PMg = 167,2 + 188,4 = 355,6 g/dia
CPB leite = PL × 0,0356 = 6,99 × 0,0356 = 0,249 kg
CNDT leite = PL × 0,18 = 6,99 × 0,18 = 1,258 kg
PBmic = -53,07 + 304,9 × (CPB – CPB leite) + 90,8 × (CNDT – CNDT leite) – 3,13 × (CNDT – CNDT leite)^2
PBmic = -53,07 + 304,9 × (0,466 – 0,249) + 90,8 × (2,34 – 1,258) – 3,13 × (2,34 – 1,258)^2 = 107,7 g/dia
PDR = PBmic = 107,7 g/dia
PNDR = (PMt – (PBmic × 0,64)) / 0,80 = (355,6 – (107,7 × 0,64))/0,80 = 358,3 g/dia
PB = PDR + PNDR = 107,7 + 358,3 = 466 g/dia
PB % = (PB / CMStotal) × 100 = (0,466 / 2,68) × 100 = 17,38%

d) Estimativa das exigências de minerais

Cálcio

Exigências líquidas para mantença: 11,7 × 150/1000 = 1,76 g/dia
Exigências líquidas para ganho = GPCVZ × (54,8 × $PCVZ^{-0,3981}$) = 0,77 × (54,8 × $144^{-0,3981}$) = 5,83 g/dia
Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho) / coeficiente de retenção = (1,76 + 5,83) / 0,568 = 13,4 g/dia

Fósforo
- Exigências líquidas para mantença: 13,5 × 150/1000 = 2,03 g/dia
- Exigências líquidas para ganho = GPCVZ × (8,6 × $PCVZ^{-0,0371}$) = 0,77 × (8,6 × $144^{-0,0371}$) = 5,51 g/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho) / coeficiente de retenção = (2,03 + 5,51) / 0,678 = 11,1 g/dia
- Relação Ca:P = 13,4/11,1 = 1,20

Magnésio
- Exigências líquidas para mantença: 5,9 × 150/1000 = 0,89 g/dia
- Exigências líquidas para ganho = GPCVZ × (0,4 × $PCVZ^{-0,0173}$) = 0,77 × (0,4 × $144^{-0,0173}$) = 0,24 g/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho) / coeficiente de retenção = (0,89 + 0,24) / 0,355 = 3,18 g/dia

Sódio
- Exigências líquidas para mantença: 6,3 × 150/1000 = 0,95 g/dia
- Exigências líquidas para ganho = GPCVZ × (1,2 × $PCVZ^{-0,0209}$) = 0,77 × (1,2 × $144^{-0,0209}$) = 0,83 g/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho) / coeficiente de retenção = (0,95 + 0,83) / 0,371 = 4,79 g/dia

Potássio
- Exigências líquidas para mantença: 23,5 × 150/1000 = 3,53 g/dia
- Exigências líquidas para ganho = GPCVZ × (1,5 × $PCVZ^{-0,0636}$) = 0,77 × (1,5 × $144^{-0,0636}$) = 0,84 g/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para mantença + ganho) / coeficiente de retenção = (3,53 + 0,84) / 0,484 = 9,03 g/dia

TABELAS PARA BOVINOS DE CORTE EM CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO

As Tabelas 17.3 a 17. 12 apresentam as exigências nutricionais diárias para bovinos de corte em crescimento e terminação. Os valores utilizados para geração dos dados dessas Tabelas incluíram peso corporal médio de 210 a 630 kg e ganho médio diário de 0,3 a 1,8 kg/dia. Os valores de exigências nutricionais podem ser diretamente utilizados para formulação de dietas de acordo com os níveis de desempenho apresentados.

É importante ressaltar que os valores de exigências de aminoácidos para ganho de peso de animais leves, com pesos de 210 e 270 kg de peso corporal, não estão apresentados nas Tabelas. Isso ocorre devido ao fato de que o banco de dados utilizado para gerar as equações não incluiu esses pesos específicos. Portanto, não deve ser recomendado a utilização dos modelos baseados nessas Tabelas para animais leves.

Além disso, é fundamental salientar que as exigências de aminoácidos metabolizáveis para mantença não estão contempladas nas Tabelas de exigências de aminoácidos. As exigências de aminoácidos para mantença serão um dos focos para as atualizações nas próximas edições do BR-CORTE.

Ressalta-se que existe uma tese (Silva et al.,2002. Exigências líquidas de aminoácidos para ganho de peso de machos não castrados Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31, 765-775.) publicada com dados de exigências de aminoácidos essenciais metabolizáveis para mantença obtidos com bovinos Nelore.

No entanto, apresentamos na Tabela 17.12d, as exigências líquidas de aminoácidos calculadas, utilizando os valores de composição de aminoácidos da proteína endógena (NRC, 2021: p.79) multiplicados pelas exigências líquidas de proteína para mantença (BR-CORTE, 2023). Considerando a dificuldade em obter dados sobre a eficiência de utilização de aminoácidos metabolizáveis para a mantença, o BR-CORTE (2023) não calculou as exigências de aminoácidos metabolizáveis para mantença.

Por conseguinte, o comitê decidiu aguardar novas informações sobre zebuínos para fazer a sua recomendação sobre as exigências nutricionais de aminoácidos metabolizáveis para mantença.

Tabela 17.3a - Exigências nutricionais de bovinos de corte, **MACHOS NÃO CASTRADOS**, **ZEBUÍNOS** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	CMS	Cons. Água[1], L		Energia			Proteína					
kg	kg	kg	Verão	Inverno	EM, Mcal	NDT, kg	NDT, %	PDR, g	PNDR, g	PB, g	PB, %	PDR, % PB	PNDR, % PB
210	0,3	3,5	9,0	10,8	8,2	2,2	63,5	249	130	380	10,8	65,6	34,4
	0,8	5,0	9,8	11,5	11,6	3,1	63,3	370	183	553	11,1	66,9	33,1
	1,3	6,0	10,3	12,0	15,1	4,1	68,0	486	240	727	12,1	66,9	33,1
	1,8	6,6	10,5	12,3	18,8	5,0	76,1	596	303	900	13,7	66,3	33,7
270	0,3	4,5	11,7	13,4	9,7	2,7	59,5	303	146	449	10,1	67,4	32,6
	0,8	5,9	12,4	14,1	13,5	3,7	61,9	431	204	635	10,7	67,9	32,1
	1,3	6,9	12,9	14,6	17,4	4,7	67,6	555	267	822	11,8	67,5	32,5
	1,8	7,5	13,2	14,9	21,5	5,7	76,1	671	337	1008	13,4	66,6	33,4
330	0,3	5,4	14,2	15,9	11,1	3,1	57,0	353	163	516	9,6	68,3	31,7
	0,8	6,8	14,9	16,6	15,2	4,2	60,9	490	230	719	10,5	68,1	31,9
	1,3	7,8	15,4	17,1	19,6	5,3	67,3	620	302	922	11,8	67,3	32,7
	1,8	8,4	15,7	17,4	24,1	6,4	76,1	743	382	1125	13,4	66,1	33,9
390	0,3	6,2	16,6	18,3	12,4	3,4	55,4	399	179	578	9,3	69,0	31,0
	0,8	7,7	17,3	19,0	17,0	4,6	60,3	542	250	793	10,3	68,4	31,6
	1,3	8,7	17,8	19,5	21,7	5,9	67,2	678	329	1007	11,6	67,3	32,7
	1,8	9,3	18,1	19,8	26,6	7,1	76,2	804	416	1220	13,2	65,9	34,1
450	0,3	7,1	18,9	20,6	13,7	3,8	54,2	439	189	628	8,9	70,0	30,0
	0,8	8,5	19,6	21,3	18,6	5,1	59,8	584	255	839	9,8	69,6	30,4
	1,3	9,5	20,1	21,8	23,7	6,4	67,1	719	329	1048	11,0	68,6	31,4
	1,8	10,1	20,4	22,1	29,0	7,7	76,4	844	412	1256	12,4	67,2	32,8
510	0,3	7,9	21,1	22,8	15,0	4,2	53,2	478	198	677	8,6	70,7	29,3
	0,8	9,3	21,8	23,5	20,2	5,5	59,4	623	260	883	9,5	70,6	29,4
	1,3	10,3	22,3	24,0	25,7	6,9	67,1	758	330	1088	10,5	69,6	30,4
	1,8	10,9	22,6	24,3	31,4	8,3	76,5	880	411	1291	11,8	68,2	31,8
570	0,3	8,6	23,2	25,0	16,2	4,5	52,5	515	209	724	8,4	71,1	28,9
	0,8	10,1	24,0	25,7	21,8	6,0	59,1	660	266	926	9,2	71,3	28,7
	1,3	11,1	24,4	26,2	27,6	7,5	67,1	793	333	1126	10,1	70,4	29,6
	1,8	11,7	24,7	26,5	33,7	9,0	76,6	913	411	1324	11,3	68,9	31,1
630	0,3	9,4	25,3	27,1	17,4	4,9	51,9	550	219	769	8,2	71,5	28,5
	0,8	10,9	26,0	27,8	23,3	6,4	58,9	695	273	967	8,9	71,8	28,2
	1,3	11,9	26,5	28,3	29,5	8,0	67,1	826	337	1163	9,8	71,0	29,0
	1,8	12,4	26,8	28,6	36,0	9,6	76,8	942	414	1356	10,9	69,5	30,5

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; CMS = consumo de matéria seca; EM = energia metabolizável; NDT = nutrientes digestíveis totais; PB = proteína bruta; PDR = proteína degradável no rúmen; PNDR = proteína não degradável no rúmen. [1]Inverno = 22°C de temperatura máxima e 65% de umidade relativa do ar; Verão = 29°C de temperatura máxima e 79% de umidade relativa do ar.

Tabela 17.3b - Exigências de minerais para bovinos de corte, **MACHOS NÃO CASTRADOS**, **ZEBUÍNOS** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	Macrominerais, g							Microminerais, mg							
kg	kg	Ca	P	Ca/P	Mg	Na	K	S	Cu	Co	Cr	Fe	Mn	Mo	Se	Zn
210	0,3	9,84	6,69	1,47	3,78	4,47	11,24	3,93	29,98	3,28	8,09	855,64	91,29	1,40	2,04	147,39
	0,8	19,26	10,96	1,76	4,28	6,02	13,01	5,81	34,52	3,30	11,43	879,40	96,15	1,43	2,78	219,52
	1,3	28,77	15,28	1,88	4,79	7,58	14,81	7,71	39,11	3,32	14,81	903,40	101,05	1,46	3,53	292,38
	1,8	38,34	19,63	1,95	5,30	9,15	16,61	9,63	43,73	3,35	18,20	927,55	105,99	1,48	4,28	365,67
270	0,3	10,41	7,66	1,36	4,78	5,42	14,18	5,02	38,02	4,21	10,18	1097,02	117,22	1,80	2,49	187,95
	0,8	18,68	11,55	1,62	5,28	6,85	16,02	7,39	42,97	4,23	14,09	1122,30	123,19	1,83	3,22	278,03
	1,3	27,04	15,49	1,75	5,79	8,30	17,87	9,79	47,97	4,26	18,04	1147,84	129,22	1,86	3,95	369,04
	1,8	35,45	19,45	1,82	6,30	9,75	19,73	12,19	53,00	4,28	22,01	1173,54	135,29	1,89	4,69	460,58
330	0,3	11,17	8,69	1,29	5,78	6,39	17,12	6,11	46,03	5,15	12,24	1338,27	143,12	2,19	2,94	228,24
	0,8	18,63	12,31	1,51	6,28	7,74	19,00	8,96	51,33	5,17	16,67	1364,83	150,16	2,23	3,66	335,82
	1,3	26,17	15,96	1,64	6,79	9,10	20,90	11,83	56,68	5,19	21,15	1391,67	157,27	2,26	4,38	444,51
	1,8	33,75	19,63	1,72	7,30	10,46	22,81	14,73	62,06	5,21	25,66	1418,66	164,43	2,30	5,11	553,84
390	0,3	12,05	9,76	1,23	6,78	7,37	20,06	7,19	54,01	6,08	14,28	1579,41	169,00	2,59	3,39	268,32
	0,8	18,89	13,16	1,44	7,28	8,65	21,98	10,51	59,62	6,10	19,20	1607,09	177,08	2,62	4,10	393,04
	1,3	25,81	16,59	1,56	7,79	9,94	23,92	13,86	65,28	6,12	24,18	1635,06	185,24	2,66	4,82	519,03
	1,8	32,77	20,05	1,63	8,31	11,24	25,87	17,23	70,98	6,14	29,19	1663,20	193,45	2,70	5,54	645,77
450	0,3	13,00	10,85	1,20	7,78	8,36	22,99	8,27	61,98	7,01	16,30	1820,48	194,86	2,98	3,85	308,22
	0,8	19,36	14,07	1,38	8,28	9,58	24,95	12,05	67,87	7,03	21,69	1849,16	203,95	3,02	4,55	449,77
	1,3	25,79	17,33	1,49	8,79	10,82	26,92	15,88	73,81	7,06	27,13	1878,14	213,13	3,06	5,26	592,76
	1,8	32,25	20,61	1,57	9,31	12,06	28,91	19,72	79,79	7,08	32,61	1907,28	222,37	3,10	5,97	736,61
510	0,3	14,00	11,96	1,17	8,77	9,35	25,93	9,35	69,93	7,94	18,31	2061,50	220,71	3,38	4,30	347,97
	0,8	19,97	15,04	1,33	9,28	10,53	27,91	13,59	76,08	7,97	24,14	2091,08	230,78	3,42	5,00	506,09
	1,3	25,99	18,15	1,43	9,79	11,71	29,92	17,88	82,28	7,99	30,03	2120,96	240,96	3,46	5,70	665,83
	1,8	32,05	21,27	1,51	10,31	12,91	31,93	22,19	88,52	8,01	35,95	2151,02	251,20	3,51	6,40	826,52
570	0,3	11,74	11,35	1,03	9,77	10,35	28,86	10,42	77,88	8,88	20,31	2302,48	246,55	3,78	4,76	387,58
	0,8	11,74	11,35	1,03	10,28	11,48	30,87	15,12	84,25	8,90	26,56	2332,88	257,59	3,82	5,45	562,06
	1,3	11,74	11,35	1,03	10,79	12,63	32,90	19,86	90,70	8,92	32,88	2363,59	268,74	3,86	6,14	738,32
	1,8	11,74	11,35	1,03	11,30	13,78	34,95	24,64	97,18	8,94	39,23	2394,49	279,96	3,91	6,84	915,63
630	0,3	12,98	12,54	1,03	10,77	11,34	31,78	11,49	85,81	9,81	22,30	2543,41	272,37	4,17	5,21	427,09
	0,8	12,98	12,54	1,03	11,28	12,45	33,82	16,64	92,41	9,83	28,96	2574,58	284,36	4,22	5,90	617,71
	1,3	12,98	12,54	1,03	11,79	13,56	35,88	21,84	99,07	9,85	35,68	2606,06	296,47	4,26	6,59	810,29
	1,8	12,98	12,54	1,03	12,30	14,68	37,95	27,07	105,78	9,88	42,44	2637,73	308,66	4,31	7,28	1004,01

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Ca = cálcio; P = fósforo; Ca/P = relação cálcio/ fósforo; Mg = magnésio; Na = sódio; K = potássio; S = enxofre; Cu = cobre; Co = cobalto; Cr = cromo; Fe = ferro; Mn = manganês; Mo = molibdênio; Se = selênio; Zn = zinco.

Tabela 17.3c - Exigências de aminoácidos metabolizáveis para ganho de peso em bovinos de corte, **MACHOS NÃO CASTRADOS**, **ZEBUÍNOS** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio kg	GMD kg	Essenciais, g										Não essenciais, g							
		Arg	Hist	Isol	Leu	Lis	Met	Fen	Treo	Trip	Vali	Alan	Asp	Cist	Glut	Glic	Proli	Seri	Tiro
330	0,3	6,22	2,31	6,33	11,58	9,38	1,69	5,76	5,51	0,96	5,92	9,57	12,62	8,08	9,38	8,08	7,90	6,25	5,30
	0,8	16,83	6,25	17,14	31,35	25,40	4,57	15,59	14,92	2,61	16,03	25,90	34,16	21,86	25,39	21,86	21,38	16,92	14,33
	1,3	27,54	10,24	28,06	51,33	41,57	7,48	25,52	24,43	4,27	26,24	42,40	55,91	35,79	41,57	35,79	35,00	27,69	23,46
	1,8	38,33	14,24	39,04	71,42	57,84	10,41	35,51	33,99	5,94	36,51	59,00	77,80	49,79	57,84	49,79	48,70	38,53	32,64
390	0,3	6,05	2,33	6,26	11,39	9,31	1,67	5,70	5,45	0,96	5,90	9,27	12,35	7,71	9,23	7,71	7,57	6,09	5,25
	0,8	16,36	6,31	16,95	30,82	25,19	4,51	15,42	14,76	2,59	15,96	25,08	33,43	20,87	24,99	20,87	20,50	16,48	14,20
	1,3	26,78	10,33	27,75	50,45	41,24	7,38	25,24	24,15	4,24	26,13	41,05	54,73	34,16	40,90	34,16	33,56	26,98	23,25
	1,8	37,27	14,38	38,62	70,20	57,39	10,27	35,12	33,61	5,91	36,35	57,12	76,15	47,53	56,91	47,53	46,69	37,54	32,35
450	0,3	5,90	2,35	6,21	11,22	9,25	1,65	5,65	5,40	0,95	5,88	9,01	12,13	7,41	9,10	7,41	7,31	5,96	5,21
	0,8	15,97	6,37	16,80	30,37	25,02	4,45	15,28	14,61	2,58	15,90	24,39	32,82	20,05	24,64	20,05	19,77	16,12	14,09
	1,3	26,15	10,42	27,50	49,72	40,96	7,29	25,01	23,92	4,23	26,03	39,93	53,73	32,82	40,34	32,82	32,37	26,39	23,07
	1,8	36,38	14,50	38,26	69,18	56,99	10,15	34,80	33,29	5,88	36,22	55,56	74,76	45,67	56,13	45,67	45,04	36,72	32,10
510	0,3	5,78	2,37	6,16	11,08	9,19	1,63	5,60	5,35	0,95	5,86	8,80	11,93	7,15	8,99	7,15	7,08	5,84	5,17
	0,8	15,64	6,41	16,66	29,98	24,87	4,41	15,16	14,49	2,57	15,85	23,81	32,30	19,36	24,34	19,36	19,16	15,81	14,00
	1,3	25,60	10,49	27,27	49,08	40,72	7,22	24,81	23,72	4,21	25,95	38,97	52,87	31,70	39,85	31,70	31,36	25,88	22,92
	1,8	35,63	14,60	37,95	68,30	56,66	10,04	34,52	33,01	5,86	36,10	54,23	73,57	44,11	55,45	44,11	43,64	36,01	31,89
570	0,3	5,67	2,38	6,11	10,95	9,14	1,61	5,56	5,32	0,95	5,84	8,61	11,76	6,94	8,90	6,94	6,88	5,74	5,14
	0,8	15,35	6,45	16,54	29,64	24,74	4,37	15,05	14,39	2,56	15,81	23,30	31,84	18,77	24,08	18,77	18,63	15,54	13,91
	1,3	25,13	10,56	27,08	48,53	40,50	7,15	24,63	23,55	4,20	25,87	38,14	52,12	30,73	39,42	30,73	30,50	25,44	22,78
	1,8	34,97	14,70	37,68	67,52	56,36	9,95	34,27	32,77	5,84	36,00	53,07	72,52	42,76	54,86	42,76	42,43	35,39	31,69
630	0,3	5,58	2,40	6,07	10,84	9,10	1,60	5,52	5,28	0,94	5,83	8,44	11,61	6,75	8,81	6,75	6,71	5,65	5,11
	0,8	15,10	6,49	16,43	29,34	24,62	4,33	14,95	14,29	2,55	15,77	22,85	31,43	18,26	23,85	18,26	18,17	15,30	13,84
	1,3	24,71	10,62	26,90	48,03	40,31	7,09	24,47	23,39	4,18	25,81	37,41	51,46	29,89	39,04	29,89	29,74	25,05	22,65
	1,8	34,39	14,78	37,43	66,83	56,09	9,87	34,05	32,55	5,82	35,91	52,05	71,60	41,58	54,33	41,58	41,38	34,85	31,52

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Arg = Arginina; Hist = histidina; Isol = isoleucina; Leu = leucina; Lis = lisina; Met = metionina; Fen = fenilalanina; Treo = treonina; Trip = triptofano; Vali = valina; Alan = alanina; Asp = ácido aspártico; Cist = cistina; Glut = ácido glutâmico; Glic = glicina; Proli = prolina; Seri = serina; Tiro = tirosina.

Tabela 17.4a - Exigências nutricionais de bovinos de corte, **MACHOS CASTRADOS**, **ZEBUÍNOS** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	CMS	Cons. Água[1], L		Energia			Proteína					
kg	kg	kg	Verão	Inverno	EM, Mcal	NDT, kg	NDT, %	PDR, g	PNDR, g	PB, g	PB, %	PDR, % PB	PNDR, % PB
210	0,3	3,5	9,0	10,8	8,3	2,2	64,0	252	132	385	11,0	65,6	34,4
	0,8	5,0	9,8	11,5	12,0	3,2	65,1	381	186	566	11,4	67,2	32,8
	1,3	6,0	10,3	12,0	15,8	4,2	70,7	503	245	748	12,5	67,3	32,7
	1,8	6,6	10,5	12,3	19,8	5,2	79,8	619	310	929	14,2	66,7	33,3
270	0,3	4,5	11,7	13,4	9,9	2,7	60,4	308	149	457	10,3	67,4	32,6
	0,8	5,9	12,4	14,1	14,0	3,8	64,2	448	211	658	11,1	68,0	32,0
	1,3	6,9	12,9	14,6	18,4	4,9	70,9	580	279	859	12,4	67,5	32,5
	1,8	7,5	13,2	14,9	22,9	6,0	80,5	704	355	1059	14,1	66,5	33,5
330	0,3	5,4	14,2	15,9	11,4	3,1	58,3	362	169	531	9,9	68,2	31,8
	0,8	6,8	14,9	16,6	16,0	4,3	63,6	514	245	759	11,1	67,7	32,3
	1,3	7,8	15,4	17,1	20,9	5,6	71,2	657	329	986	12,6	66,7	33,3
	1,8	8,4	15,7	17,4	25,9	6,8	81,2	791	421	1212	14,4	65,3	34,7
390	0,3	6,2	16,6	18,3	12,8	3,5	56,9	405	171	576	9,3	70,3	29,7
	0,8	7,7	17,3	19,0	17,9	4,9	63,3	554	231	786	10,2	70,6	29,4
	1,3	8,7	17,8	19,5	23,3	6,2	71,5	694	300	995	11,4	69,8	30,2
	1,8	9,3	18,1	19,8	28,8	7,6	81,9	822	379	1202	13,0	68,4	31,6
450	0,3	7,1	18,9	20,6	14,3	3,9	55,9	447	179	626	8,9	71,4	28,6
	0,8	8,5	19,6	21,3	19,8	5,4	63,1	598	233	831	9,7	72,0	28,0
	1,3	9,5	20,1	21,8	25,6	6,9	71,8	737	296	1034	10,8	71,3	28,7
	1,8	10,1	20,4	22,1	31,6	8,3	82,5	863	372	1234	12,2	69,9	30,1
510	0,3	7,9	21,1	22,8	15,6	4,3	55,2	487	187	674	8,6	72,3	27,7
	0,8	9,3	21,8	23,5	21,6	5,9	63,0	639	235	874	9,4	73,1	26,9
	1,3	10,3	22,3	24,0	27,9	7,5	72,2	777	294	1071	10,4	72,5	27,5
	1,8	10,9	22,6	24,3	34,4	9,1	83,1	898	367	1265	11,6	71,0	29,0
570	0,3	8,6	23,2	25,0	17,0	4,7	54,6	525	195	721	8,4	72,9	27,1
	0,8	10,1	24,0	25,7	23,4	6,4	63,0	677	238	915	9,1	74,0	26,0
	1,3	11,1	24,4	26,2	30,1	8,1	72,5	813	294	1107	10,0	73,4	26,6
	1,8	11,7	24,7	26,5	37,1	9,8	83,6	930	365	1295	11,1	71,8	28,2
630	0,3	9,4	25,3	27,1	18,3	5,1	54,2	562	205	766	8,2	73,3	26,7
	0,8	10,9	26,0	27,8	25,2	6,8	63,0	713	243	955	8,8	74,6	25,4
	1,3	11,9	26,5	28,3	32,3	8,6	72,7	846	296	1141	9,6	74,1	25,9
	1,8	12,4	26,8	28,6	39,8	10,5	84,1	958	365	1323	10,6	72,4	27,6

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; CMS = consumo de matéria seca; EM = energia metabolizável; NDT = nutrientes digestíveis totais; PB = proteína bruta; PDR = proteína degradável no rúmen; PNDR = proteína não degradável no rúmen. [1]Inverno = 22°C de temperatura máxima e 65% de umidade relativa do ar; Verão = 29°C de temperatura máxima e 79% de umidade relativa do ar.

Tabela 17.4b - Exigências de minerais para bovinos de corte, **MACHOS CASTRADOS**, **ZEBUÍNOS** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	Macrominerais, g							Microminerais, mg							
kg	kg	Ca	P	Ca/P	Mg	Na	K	S	Cu	Co	Cr	Fe	Mn	Mo	Se	Zn
210	0,3	9,88	6,70	1,47	3,78	4,48	11,24	3,92	29,97	3,28	8,08	855,60	91,27	1,40	2,04	146,95
	0,8	19,35	10,99	1,76	4,28	6,03	13,01	5,78	34,49	3,30	11,39	879,29	96,07	1,43	2,78	218,33
	1,3	28,92	15,33	1,89	4,79	7,60	14,80	7,66	39,07	3,32	14,74	903,23	100,93	1,46	3,53	290,44
	1,8	38,54	19,69	1,96	5,30	9,17	16,60	9,55	43,67	3,35	18,11	927,30	105,82	1,48	4,28	362,98
270	0,3	10,41	7,66	1,36	4,78	5,42	14,18	5,02	38,02	4,21	10,18	1097,02	117,22	1,80	2,49	187,95
	0,8	18,68	11,55	1,62	5,28	6,85	16,02	7,39	42,97	4,23	14,09	1122,30	123,19	1,83	3,22	278,03
	1,3	27,04	15,49	1,75	5,79	8,30	17,87	9,79	47,97	4,26	18,04	1147,84	129,22	1,86	3,95	369,04
	1,8	35,45	19,45	1,82	6,30	9,75	19,73	12,19	53,00	4,28	22,01	1173,54	135,29	1,89	4,69	460,58
330	0,3	11,15	8,68	1,28	5,78	6,39	17,13	6,12	46,04	5,15	12,25	1338,30	143,15	2,19	2,94	228,77
	0,8	18,58	12,29	1,51	6,28	7,73	19,01	9,00	51,35	5,17	16,72	1364,93	150,25	2,23	3,66	337,25
	1,3	26,08	15,93	1,64	6,79	9,09	20,91	11,90	56,72	5,19	21,22	1391,83	157,41	2,26	4,38	446,84
	1,8	33,62	19,59	1,72	7,30	10,45	22,82	14,82	62,12	5,21	25,76	1418,89	164,63	2,30	5,11	557,08
390	0,3	12,01	9,74	1,23	6,78	7,37	20,06	7,22	54,03	6,08	14,31	1579,48	169,06	2,59	3,39	269,44
	0,8	18,80	13,12	1,43	7,28	8,64	21,99	10,59	59,67	6,10	19,29	1607,28	177,26	2,63	4,10	396,07
	1,3	25,65	16,53	1,55	7,79	9,92	23,93	14,00	65,37	6,12	24,32	1635,37	185,54	2,66	4,82	523,99
	1,8	32,55	19,97	1,63	8,31	11,21	25,88	17,43	71,10	6,14	29,38	1663,62	193,87	2,70	5,53	652,68
450	0,3	12,95	10,83	1,20	7,78	8,35	23,00	8,32	62,01	7,01	16,35	1820,58	194,97	2,98	3,85	309,99
	0,8	19,24	14,03	1,37	8,28	9,57	24,96	12,19	67,94	7,03	21,82	1849,43	204,24	3,02	4,55	454,56
	1,3	25,58	17,26	1,48	8,79	10,79	26,94	16,09	73,94	7,06	27,35	1878,58	213,60	3,06	5,25	600,61
	1,8	31,97	20,50	1,56	9,31	12,02	28,93	20,02	79,97	7,08	32,90	1907,90	223,02	3,10	5,96	747,54
510	0,3	13,95	10,15	1,37	8,77	9,34	25,93	9,42	69,97	7,94	18,38	2061,63	220,85	3,38	4,30	350,44
	0,8	19,82	10,15	1,95	9,28	10,51	27,92	13,78	76,17	7,97	24,32	2091,43	231,18	3,42	4,99	512,78
	1,3	25,76	10,15	2,54	9,79	11,69	29,93	18,18	82,44	7,99	30,31	2121,53	241,61	3,46	5,69	676,78
	1,8	31,73	10,15	3,12	10,31	12,87	31,96	22,61	88,75	8,01	36,35	2151,81	252,10	3,51	6,40	841,76
570	0,3	11,74	11,35	1,03	9,77	10,34	28,86	10,51	77,92	8,88	20,39	2302,63	246,73	3,78	4,76	390,80
	0,8	11,74	11,35	1,03	10,28	11,46	30,88	15,36	84,38	8,90	26,78	2333,30	258,10	3,82	5,44	570,75
	1,3	11,74	11,35	1,03	10,79	12,60	32,92	20,26	90,90	8,92	33,24	2364,28	269,58	3,86	6,14	752,54
	1,8	11,74	11,35	1,03	11,31	13,74	34,98	25,19	97,45	8,94	39,73	2395,44	281,13	3,91	6,84	935,42
630	0,3	12,98	12,54	1,03	10,77	11,34	31,79	11,60	85,86	9,81	22,40	2543,59	272,61	4,17	5,21	431,07
	0,8	12,98	12,54	1,03	11,28	12,42	33,84	16,94	92,55	9,83	29,22	2575,06	284,99	4,22	5,89	628,50
	1,3	12,98	12,54	1,03	11,79	13,52	35,91	22,33	99,31	9,85	36,12	2606,85	297,51	4,26	6,58	827,95
	1,8	12,98	12,54	1,03	12,30	14,63	37,99	27,76	106,10	9,88	43,05	2638,84	310,09	4,31	7,28	1028,59

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Ca = cálcio; P = fósforo; Ca/P = relação cálcio/ fósforo; Mg = magnésio; Na = sódio; K = potássio; S = enxofre; Cu = cobre; Co = cobalto; Cr = cromo; Fe = ferro; Mn = manganês; Mo = molibdênio; Se = selênio; Zn = zinco.

Tabela 17.4c - Exigências de aminoácidos metabolizáveis para ganho de peso em bovinos de corte, **MACHOS CASTRADOS**, **ZEBUÍNOS** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	Essenciais, g										Não essenciais, g							
kg	kg	Arg	Hist	Isol	Leu	Lis	Met	Fen	Treo	Trip	Vali	Alan	Asp	Cist	Glut	Glic	Proli	Seri	Tiro
330	0,3	6,21	2,31	6,33	11,57	9,38	1,69	5,76	5,51	0,96	5,92	9,55	12,61	8,06	9,37	8,06	7,88	6,24	5,29
	0,8	16,80	6,26	17,13	31,32	25,38	4,57	15,58	14,91	2,61	16,03	25,86	34,12	21,80	25,37	21,80	21,33	16,89	14,33
	1,3	27,50	10,24	28,04	51,28	41,55	7,47	25,50	24,41	4,27	26,23	42,33	55,85	35,69	41,53	35,69	34,92	27,65	23,45
	1,8	38,27	14,25	39,01	71,35	57,82	10,40	35,49	33,97	5,94	36,50	58,89	77,71	49,66	57,79	49,66	48,58	38,47	32,63
390	0,3	6,03	2,34	6,26	11,37	9,30	1,66	5,69	5,45	0,96	5,89	9,24	12,33	7,67	9,22	7,67	7,54	6,07	5,24
	0,8	16,31	6,32	16,94	30,77	25,17	4,50	15,40	14,74	2,59	15,95	24,99	33,36	20,77	24,94	20,77	20,41	16,44	14,19
	1,3	26,71	10,34	27,72	50,36	41,21	7,37	25,22	24,13	4,24	26,12	40,91	54,60	33,99	40,83	33,99	33,41	26,91	23,23
	1,8	37,16	14,39	38,57	70,08	57,34	10,25	35,09	33,57	5,90	36,34	56,93	75,98	47,30	56,82	47,30	46,49	37,44	32,32
450	0,3	5,88	2,36	6,20	11,19	9,23	1,64	5,64	5,39	0,95	5,87	8,97	12,09	7,36	9,08	7,36	7,26	5,93	5,20
	0,8	15,91	6,37	16,77	30,30	24,99	4,45	15,25	14,59	2,58	15,89	24,28	32,72	19,92	24,58	19,92	19,65	16,06	14,08
	1,3	26,04	10,43	27,45	49,60	40,91	7,28	24,97	23,89	4,22	26,02	39,74	53,56	32,61	40,24	32,61	32,17	26,29	23,04
	1,8	36,24	14,52	38,20	69,01	56,93	10,13	34,75	33,24	5,88	36,20	55,30	74,53	45,37	56,00	45,37	44,77	36,58	32,06
510	0,3	5,75	2,37	6,14	11,05	9,18	1,62	5,59	5,34	0,95	5,85	8,75	11,89	7,10	8,97	7,10	7,03	5,81	5,16
	0,8	15,56	6,42	16,63	29,89	24,84	4,40	15,13	14,46	2,57	15,84	23,67	32,18	19,20	24,27	19,20	19,02	15,74	13,98
	1,3	25,48	10,51	27,22	48,93	40,66	7,20	24,76	23,68	4,21	25,93	38,75	52,67	31,44	39,74	31,44	31,13	25,76	22,88
	1,8	35,45	14,63	37,88	68,09	56,57	10,02	34,45	32,95	5,85	36,08	53,91	73,29	43,74	55,29	43,74	43,31	35,85	31,83
570	0,3	5,64	2,39	6,10	10,91	9,13	1,61	5,55	5,30	0,95	5,83	8,55	11,71	6,87	8,87	6,87	6,82	5,71	5,13
	0,8	15,26	6,46	16,50	29,54	24,70	4,36	15,01	14,35	2,56	15,79	23,14	31,70	18,59	24,00	18,59	18,47	15,46	13,89
	1,3	24,98	10,58	27,02	48,35	40,43	7,13	24,57	23,49	4,19	25,85	37,88	51,89	30,43	39,29	30,43	30,23	25,30	22,73
	1,8	34,76	14,73	37,59	67,28	56,26	9,92	34,19	32,69	5,83	35,97	52,71	72,20	42,34	54,67	42,34	42,06	35,20	31,63
630	0,3	5,54	2,40	6,06	10,80	9,08	1,60	5,51	5,27	0,94	5,82	8,38	11,56	6,67	8,78	6,67	6,65	5,62	5,10
	0,8	15,00	6,50	16,39	29,22	24,58	4,32	14,91	14,25	2,55	15,75	22,68	31,27	18,06	23,76	18,06	17,98	15,21	13,81
	1,3	24,55	10,65	26,83	47,84	40,23	7,07	24,41	23,33	4,18	25,78	37,12	51,19	29,56	38,89	29,56	29,44	24,89	22,61
	1,8	34,16	14,81	37,34	66,56	55,98	9,83	33,96	32,46	5,81	35,87	51,65	71,23	41,13	54,12	41,13	40,96	34,64	31,45

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Arg = Arginina; Hist = histidina; Isol = isoleucina; Leu = leucina; Lis = lisina; Met = metionina; Fen = fenilalanina; Treo = treonina; Trip = triptofano; Vali = valina; Alan = alanina; Asp = ácido aspártico; Cist = cistina; Glut = ácido glutâmico; Glic = glicina; Proli = prolina; Seri = serina; Tiro = tirosina.

Tabela 17.5a - Exigências nutricionais de bovinos de corte, **FÊMEAS**, **ZEBUÍNAS** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	CMS	Cons. Água[1], L		Energia			Proteína					
kg	kg	kg	Verão	Inverno	EM, Mcal	NDT, kg	NDT, %	PDR, g	PNDR, g	PB, g	PB, %	PDR, % PB	PNDR, % PB
210	0,3	3,5	9,0	10,8	8,4	2,3	64,9	255	133	388	11,1	65,8	34,2
	0,8	5,0	9,8	11,5	12,2	3,3	66,5	388	187	575	11,6	67,5	32,5
	1,3	6,0	10,3	12,0	16,3	4,3	72,5	515	247	762	12,7	67,6	32,4
	1,8	6,6	10,5	12,3	20,4	5,4	82,1	634	314	948	14,5	66,9	33,1
270	0,3	4,5	11,7	13,4	10,0	2,7	61,3	313	150	463	10,4	67,6	32,4
	0,8	5,9	12,4	14,1	14,4	3,9	65,6	458	215	673	11,4	68,0	32,0
	1,3	6,9	12,9	14,6	19,0	5,1	72,9	596	288	883	12,7	67,4	32,6
	1,8	7,5	13,2	14,9	23,7	6,2	83,1	725	368	1092	14,5	66,3	33,7
330	0,3	5,4	14,2	15,9	11,6	3,2	59,2	368	172	541	10,1	68,1	31,9
	0,8	6,8	14,9	16,6	16,5	4,5	65,2	528	256	785	11,5	67,3	32,7
	1,3	7,8	15,4	17,1	21,6	5,8	73,4	679	349	1028	13,1	66,1	33,9
	1,8	8,4	15,7	17,4	26,8	7,1	84,0	819	450	1270	15,1	64,5	35,5
390	0,3	6,2	16,6	18,3	13,1	3,6	57,8	408	166	575	9,2	71,0	29,0
	0,8	7,7	17,3	19,0	18,5	5,0	65,0	561	221	782	10,2	71,7	28,3
	1,3	8,7	17,8	19,5	24,1	6,4	73,8	703	286	988	11,3	71,1	28,9
	1,8	9,3	18,1	19,8	29,9	7,9	84,8	831	361	1192	12,9	69,7	30,3
450	0,3	7,1	18,9	20,6	14,5	4,0	56,9	451	173	625	8,9	72,2	27,8
	0,8	8,5	19,6	21,3	20,4	5,5	64,8	605	222	827	9,7	73,2	26,8
	1,3	9,5	20,1	21,8	26,6	7,1	74,2	746	281	1026	10,8	72,7	27,3
	1,8	10,1	20,4	22,1	32,9	8,7	85,6	871	352	1223	12,1	71,2	28,8
510	0,3	7,9	21,1	22,8	16,0	4,4	56,2	492	181	673	8,6	73,1	26,9
	0,8	9,3	21,8	23,5	22,3	6,0	64,8	646	223	869	9,3	74,3	25,7
	1,3	10,3	22,3	24,0	29,0	7,7	74,6	785	278	1063	10,3	73,9	26,1
	1,8	10,9	22,6	24,3	35,9	9,4	86,3	906	347	1253	11,5	72,3	27,7
570	0,3	8,6	23,2	25,0	17,4	4,8	55,6	530	189	719	8,3	73,7	26,3
	0,8	10,1	24,0	25,7	24,2	6,5	64,8	685	226	910	9,0	75,2	24,8
	1,3	11,1	24,4	26,2	31,3	8,3	75,0	821	276	1097	9,9	74,8	25,2
	1,8	11,7	24,7	26,5	38,7	10,2	87,0	937	344	1281	11,0	73,1	26,9
630	0,3	9,4	25,3	27,1	18,7	5,2	55,2	567	198	765	8,1	74,1	25,9
	0,8	10,9	26,0	27,8	26,0	7,0	64,8	721	229	950	8,7	75,9	24,1
	1,3	11,9	26,5	28,3	33,6	9,0	75,4	854	277	1131	9,5	75,5	24,5
	1,8	12,4	26,8	28,6	41,6	10,9	87,6	963	344	1307	10,5	73,7	26,3

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; CMS = consumo de matéria seca; EM = energia metabolizável; NDT = nutrientes digestíveis totais; PB = proteína bruta; PDR = proteína degradável no rúmen; PNDR = proteína não degradável no rúmen. [1]Inverno = 22°C de temperatura máxima e 65% de umidade relativa do ar; Verão = 29°C de temperatura máxima e 79% de umidade relativa do ar.

Tabela 17.5b - Exigências de minerais para bovinos de corte, **FÊMEAS**, **ZEBUÍNAS** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	Macrominerais, g							Microminerais, mg							
kg	kg	Ca	P	Ca/P	Mg	Na	K	S	Cu	Co	Cr	Fe	Mn	Mo	Se	Zn
210	0,3	9,85	6,69	1,47	3,78	4,47	11,24	3,93	29,98	3,28	8,09	855,63	91,29	1,40	2,04	147,32
	0,8	19,27	10,97	1,76	4,28	6,02	13,01	5,81	34,52	3,30	11,43	879,38	96,14	1,43	2,78	219,32
	1,3	28,79	15,29	1,88	4,79	7,58	14,81	7,70	39,10	3,32	14,80	903,37	101,03	1,46	3,53	292,06
	1,8	38,37	19,64	1,95	5,30	9,16	16,61	9,61	43,72	3,35	18,19	927,51	105,96	1,48	4,28	365,24
270	0,3	10,38	7,65	1,36	4,78	5,42	14,19	5,04	38,03	4,21	10,19	1097,06	117,25	1,80	2,49	188,48
	0,8	18,61	11,53	1,61	5,28	6,85	16,02	7,43	43,00	4,23	14,13	1122,42	123,28	1,83	3,21	279,47
	1,3	26,92	15,45	1,74	5,79	8,29	17,88	9,85	48,02	4,26	18,11	1148,03	129,36	1,86	3,95	371,39
	1,8	35,28	19,39	1,82	6,30	9,74	19,74	12,28	53,07	4,28	22,11	1173,79	135,49	1,89	4,69	463,86
330	0,3	11,12	8,67	1,28	5,78	6,39	17,13	6,14	46,05	5,15	12,27	1338,35	143,19	2,19	2,94	229,47
	0,8	18,50	12,26	1,51	6,28	7,72	19,01	9,05	51,39	5,17	16,77	1365,06	150,36	2,23	3,66	339,16
	1,3	25,95	15,88	1,63	6,79	9,07	20,92	11,98	56,78	5,19	21,31	1392,04	157,61	2,26	4,38	449,96
	1,8	33,45	19,53	1,71	7,30	10,43	22,83	14,94	62,20	5,21	25,88	1419,18	164,89	2,30	5,11	561,43
390	0,3	11,98	9,74	1,23	6,78	7,36	20,06	7,25	54,05	6,08	14,33	1579,53	169,12	2,59	3,39	270,33
	0,8	18,72	13,10	1,43	7,28	8,63	21,99	10,66	59,71	6,10	19,36	1607,43	177,40	2,63	4,10	398,47
	1,3	25,53	16,49	1,55	7,79	9,91	23,94	14,11	65,44	6,12	24,43	1635,61	185,77	2,66	4,81	527,93
	1,8	32,38	19,91	1,63	8,31	11,19	25,90	17,58	71,19	6,14	29,53	1663,96	194,20	2,70	5,53	658,16
450	0,3	12,92	10,82	1,19	7,78	8,35	23,00	8,35	62,03	7,01	16,38	1820,64	195,03	2,98	3,85	311,07
	0,8	19,16	14,00	1,37	8,28	9,56	24,96	12,27	67,99	7,03	21,90	1849,60	204,41	3,02	4,55	457,48
	1,3	25,46	17,21	1,48	8,79	10,78	26,95	16,23	74,01	7,06	27,47	1878,84	213,88	3,06	5,25	605,39
	1,8	31,80	20,44	1,56	9,31	12,01	28,94	20,21	80,07	7,08	33,08	1908,26	223,42	3,10	5,96	754,18
510	0,3	13,92	10,15	1,37	8,77	9,34	25,93	9,45	69,99	7,94	18,41	2061,70	220,93	3,38	4,30	351,71
	0,8	19,75	10,15	1,94	9,28	10,50	27,93	13,87	76,22	7,97	24,40	2091,60	231,38	3,42	4,99	516,22
	1,3	25,64	10,15	2,52	9,79	11,67	29,94	18,34	82,52	7,99	30,46	2121,82	241,94	3,47	5,69	682,41
	1,8	31,56	10,15	3,11	10,31	12,85	31,97	22,83	88,86	8,01	36,55	2152,21	252,57	3,51	6,40	849,60
570	0,3	11,74	11,35	1,03	9,77	10,33	28,86	10,55	77,94	8,88	20,43	2302,70	246,82	3,78	4,76	392,27
	0,8	11,74	11,35	1,03	10,28	11,45	30,89	15,47	84,43	8,90	26,88	2333,49	258,33	3,82	5,44	574,73
	1,3	11,74	11,35	1,03	10,79	12,58	32,93	20,44	90,98	8,92	33,40	2364,59	269,96	3,87	6,14	759,06
	1,8	11,74	11,35	1,03	11,31	13,72	34,99	25,44	97,58	8,94	39,96	2395,87	281,66	3,91	6,83	944,49
630	0,3	12,98	12,54	1,03	10,77	11,33	31,79	11,65	85,88	9,81	22,44	2543,67	272,70	4,17	5,21	432,75
	0,8	12,98	12,54	1,03	11,28	12,42	33,84	17,07	92,61	9,83	29,33	2575,26	285,26	4,22	5,89	633,03
	1,3	12,98	12,54	1,03	11,79	13,51	35,92	22,54	99,40	9,85	36,30	2607,18	297,94	4,27	6,58	835,37
	1,8	12,98	12,54	1,03	12,31	14,61	38,00	28,05	106,24	9,88	43,30	2639,29	310,70	4,31	7,27	1038,91

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Ca = cálcio; P = fósforo; Ca/P = relação cálcio/ fósforo; Mg = magnésio; Na = sódio; K = potássio; S = enxofre; Cu = cobre; Co = cobalto; Cr = cromo; Fe = ferro; Mn = manganês; Mo = molibdênio; Se = selênio; Zn = zinco.

Tabela 17.5c - Exigências de aminoácidos metabolizáveis para ganho de peso em bovinos de corte, **FÊMEAS**, **ZEBUÍNAS** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	Essenciais, g										Não essenciais, g							
kg	kg	Arg	Hist	Isol	Leu	Lis	Met	Fen	Treo	Trip	Vali	Alan	Asp	Cist	Glut	Glic	Proli	Seri	Tiro
330	0,3	6,19	2,31	6,32	11,56	9,37	1,69	5,75	5,51	0,96	5,92	9,53	12,58	8,03	9,36	8,03	7,86	6,23	5,29
	0,8	16,77	6,26	17,11	31,28	25,37	4,56	15,57	14,90	2,60	16,02	25,79	34,06	21,73	25,34	21,73	21,26	16,86	14,32
	1,3	27,44	10,25	28,02	51,21	41,53	7,47	25,48	24,39	4,26	26,22	42,22	55,76	35,57	41,48	35,57	34,81	27,60	23,43
	1,8	38,19	14,26	38,98	71,26	57,78	10,39	35,46	33,94	5,93	36,49	58,75	77,58	49,49	57,72	49,49	48,43	38,40	32,61
390	0,3	6,01	2,34	6,25	11,35	9,30	1,66	5,69	5,44	0,96	5,89	9,21	12,30	7,64	9,20	7,64	7,52	6,06	5,24
	0,8	16,28	6,32	16,92	30,72	25,16	4,50	15,39	14,73	2,59	15,95	24,93	33,30	20,69	24,91	20,69	20,34	16,40	14,18
	1,3	26,65	10,35	27,70	50,29	41,18	7,36	25,19	24,10	4,24	26,11	40,81	54,51	33,87	40,78	33,87	33,30	26,85	23,21
	1,8	37,08	14,41	38,54	69,98	57,30	10,24	35,05	33,54	5,90	36,33	56,78	75,85	47,12	56,74	47,12	46,33	37,36	32,30
450	0,3	5,86	2,36	6,19	11,18	9,23	1,64	5,63	5,39	0,95	5,87	8,95	12,07	7,33	9,07	7,33	7,24	5,92	5,20
	0,8	15,87	6,38	16,76	30,25	24,98	4,44	15,24	14,58	2,58	15,89	24,21	32,66	19,84	24,55	19,84	19,58	16,03	14,06
	1,3	25,98	10,44	27,43	49,52	40,89	7,27	24,95	23,86	4,22	26,01	39,63	53,47	32,48	40,19	32,48	32,06	26,23	23,02
	1,8	36,15	14,53	38,17	68,91	56,89	10,11	34,71	33,20	5,87	36,19	55,15	74,39	45,19	55,92	45,19	44,61	36,50	32,04
510	0,3	5,74	2,37	6,14	11,03	9,17	1,62	5,58	5,34	0,95	5,85	8,72	11,87	7,07	8,96	7,07	7,00	5,80	5,16
	0,8	15,52	6,43	16,61	29,85	24,82	4,39	15,11	14,45	2,57	15,83	23,60	32,11	19,12	24,24	19,12	18,94	15,70	13,96
	1,3	25,41	10,52	27,20	48,86	40,63	7,19	24,74	23,65	4,20	25,92	38,63	52,57	31,30	39,68	31,30	31,01	25,70	22,86
	1,8	35,36	14,64	37,84	67,98	56,53	10,00	34,42	32,91	5,85	36,06	53,76	73,15	43,56	55,21	43,56	43,15	35,76	31,81
570	0,3	5,62	2,39	6,09	10,90	9,12	1,61	5,54	5,30	0,95	5,83	8,52	11,69	6,84	8,85	6,84	6,80	5,70	5,13
	0,8	15,22	6,47	16,49	29,49	24,68	4,35	15,00	14,34	2,56	15,79	23,07	31,63	18,51	23,97	18,51	18,39	15,42	13,88
	1,3	24,92	10,59	26,99	48,28	40,40	7,12	24,55	23,47	4,19	25,84	37,77	51,78	30,30	39,23	30,30	30,11	25,24	22,72
	1,8	34,67	14,74	37,55	67,17	56,22	9,91	34,16	32,66	5,83	35,96	52,55	72,05	42,16	54,59	42,16	41,89	35,12	31,61
630	0,3	5,53	2,41	6,05	10,78	9,07	1,59	5,50	5,26	0,94	5,82	8,35	11,53	6,64	8,76	6,64	6,62	5,60	5,10
	0,8	14,96	6,51	16,38	29,17	24,56	4,31	14,89	14,24	2,55	15,74	22,60	31,21	17,97	23,72	17,97	17,91	15,17	13,80
	1,3	24,48	10,66	26,81	47,76	40,20	7,06	24,38	23,30	4,17	25,77	37,00	51,09	29,42	38,83	29,42	29,32	24,83	22,59
	1,8	34,07	14,83	37,30	66,45	55,94	9,82	33,93	32,43	5,81	35,86	51,49	71,08	40,94	54,03	40,94	40,80	34,55	31,43

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Arg = Arginina; Hist = histidina; Isol = isoleucina; Leu = leucina; Lis = lisina; Met = metionina; Fen = fenilalanina; Treo = treonina; Trip = triptofano; Vali = valina; Alan = alanina; Asp = ácido aspártico; Cist = cistina; Glut = ácido glutâmico; Glic = glicina; Proli = prolina; Seri = serina; Tiro = tirosina.

Tabela 17.6a - Exigências nutricionais de bovinos de corte, **MACHOS NÃO CASTRADOS**, **CRUZADOS DE CORTE** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	CMS	Cons. Água[1], L		Energia			Proteína					
kg	kg	kg	Verão	Inverno	EM, Mcal	NDT, kg	NDT, %	PDR, g	PNDR, g	PB, g	PB, %	PDR, % PB	PNDR, % PB
210	0,3	4,0	9,3	11,0	8,1	2,2	55,7	251	128	378	9,4	66,2	33,8
	0,8	5,6	10,1	11,8	11,5	3,2	56,2	370	178	548	9,7	67,5	32,5
	1,3	6,9	10,7	12,4	14,9	4,1	59,1	485	233	718	10,4	67,5	32,5
	1,8	7,9	11,2	12,9	18,5	5,0	63,4	594	293	888	11,2	66,9	33,1
270	0,3	4,8	11,8	13,6	9,6	2,7	55,7	302	143	446	9,3	67,8	32,2
	0,8	6,4	12,6	14,3	13,3	3,7	57,6	429	198	627	9,8	68,4	31,6
	1,3	7,7	13,3	15,0	17,2	4,7	61,2	551	258	808	10,5	68,1	31,9
	1,8	8,6	13,7	15,5	21,2	5,7	66,1	665	324	989	11,4	67,3	32,7
330	0,3	5,5	14,2	16,0	11,0	3,1	55,8	351	160	511	9,3	68,6	31,4
	0,8	7,1	15,0	16,7	15,1	4,2	58,7	485	221	707	10,0	68,7	31,3
	1,3	8,4	15,6	17,4	19,4	5,3	63,0	613	289	902	10,8	68,0	32,0
	1,8	9,3	16,1	17,9	23,7	6,4	68,3	733	363	1096	11,7	66,9	33,1
390	0,3	6,1	16,5	18,3	12,4	3,4	55,8	398	181	579	9,4	68,7	31,3
	0,8	7,7	17,3	19,0	16,8	4,6	59,6	542	254	796	10,3	68,1	31,9
	1,3	9,0	17,9	19,7	21,5	5,8	64,5	678	335	1013	11,2	66,9	33,1
	1,8	10,0	18,4	20,1	26,2	7,0	70,3	806	424	1229	12,3	65,5	34,5
450	0,3	6,8	18,7	20,5	13,7	3,8	55,9	438	191	629	9,3	69,6	30,4
	0,8	8,4	19,5	21,2	18,5	5,1	60,4	583	259	843	10,1	69,2	30,8
	1,3	9,7	20,1	21,9	23,5	6,4	65,7	719	336	1055	10,9	68,2	31,8
	1,8	10,7	20,6	22,4	28,7	7,7	71,9	845	421	1266	11,9	66,7	33,3
510	0,3	7,4	20,9	22,6	15,0	4,1	56,0	476	201	678	9,2	70,3	29,7
	0,8	9,0	21,6	23,4	20,1	5,5	61,1	622	265	887	9,9	70,1	29,9
	1,3	10,3	22,3	24,0	25,5	6,9	66,9	757	338	1095	10,6	69,2	30,8
	1,8	11,3	22,8	24,5	31,0	8,3	73,4	881	420	1301	11,5	67,7	32,3
570	0,3	8,0	22,9	24,7	16,3	4,5	56,1	513	212	725	9,1	70,7	29,3
	0,8	9,6	23,7	25,4	21,7	5,9	61,7	658	272	930	9,7	70,8	29,2
	1,3	10,9	24,3	26,1	27,4	7,4	67,8	793	341	1134	10,4	69,9	30,1
	1,8	11,9	24,8	26,5	33,3	8,9	74,7	913	422	1335	11,2	68,4	31,6
630	0,3	8,6	24,9	26,7	17,5	4,8	56,2	547	223	770	9,0	71,0	29,0
	0,8	10,2	25,7	27,5	23,3	6,3	62,2	693	279	972	9,5	71,3	28,7
	1,3	11,5	26,4	28,1	29,3	7,9	68,7	825	346	1171	10,2	70,5	29,5
	1,8	12,5	26,8	28,6	35,6	9,5	75,9	943	425	1367	11,0	68,9	31,1

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; CMS = consumo de matéria seca; EM = energia metabolizável; NDT = nutrientes digestíveis totais; PB = proteína bruta; PDR = proteína degradável no rúmen; PNDR = proteína não degradável no rúmen. [1]Inverno = 22°C de temperatura máxima e 65% de umidade relativa do ar; Verão = 29°C de temperatura máxima e 79% de umidade relativa do ar.

Tabela 17.6b - Exigências de minerais para bovinos de corte, **MACHOS NÃO CASTRADOS**, **CRUZADOS DE CORTE** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	Macrominerais, g							Microminerais, mg							
kg	kg	Ca	P	Ca/P	Mg	Na	K	S	Cu	Co	Cr	Fe	Mn	Mo	Se	Zn
210	0,3	10,65	7,11	1,50	3,74	4,69	11,24	3,91	29,96	3,28	8,07	855,58	91,25	1,40	2,04	146,72
	0,8	21,45	12,10	1,77	4,16	6,60	13,02	5,76	34,48	3,30	11,37	879,23	96,03	1,43	2,78	217,69
	1,3	32,36	17,15	1,89	4,59	8,53	14,82	7,63	39,04	3,32	14,71	903,13	100,86	1,46	3,53	289,39
	1,8	43,33	22,23	1,95	5,01	10,48	16,63	9,51	43,63	3,35	18,06	927,17	105,72	1,48	4,28	361,52
270	0,3	11,38	8,12	1,40	4,72	5,69	14,24	5,00	38,01	4,21	10,16	1096,97	117,18	1,79	2,49	187,31
	0,8	21,30	12,79	1,67	5,12	7,57	16,18	7,34	42,93	4,23	14,04	1122,17	123,08	1,83	3,22	276,31
	1,3	31,33	17,52	1,79	5,52	9,48	18,14	9,71	47,91	4,26	17,95	1147,62	129,04	1,86	3,95	366,21
	1,8	41,42	22,27	1,86	5,92	11,39	20,11	12,09	52,91	4,28	21,89	1173,23	135,04	1,89	4,69	456,66
330	0,3	12,24	9,17	1,33	5,71	6,69	17,24	6,09	46,02	5,15	12,22	1338,23	143,08	2,19	2,94	227,68
	0,8	21,52	13,61	1,58	6,08	8,56	19,31	8,91	51,30	5,17	16,63	1364,72	150,07	2,23	3,66	334,30
	1,3	30,89	18,09	1,71	6,46	10,44	21,40	11,76	56,63	5,19	21,08	1391,49	157,12	2,26	4,38	442,01
	1,8	40,32	22,60	1,78	6,85	12,33	23,51	14,63	62,00	5,21	25,56	1418,42	164,22	2,30	5,11	550,36
390	0,3	13,18	10,25	1,28	6,69	7,70	20,22	7,18	54,00	6,08	14,27	1579,38	168,97	2,59	3,39	267,86
	0,8	21,95	14,50	1,51	7,06	9,54	22,41	10,48	59,60	6,10	19,17	1607,02	177,00	2,62	4,10	391,78
	1,3	30,82	18,79	1,64	7,42	11,41	24,63	13,81	65,25	6,12	24,12	1634,93	185,11	2,66	4,82	516,97
	1,8	39,73	23,11	1,72	7,79	13,28	26,85	17,16	70,93	6,15	29,11	1663,02	193,28	2,70	5,54	642,91
450	0,3	14,17	11,36	1,25	7,68	8,71	23,20	8,26	61,97	7,01	16,29	1820,47	194,84	2,98	3,85	307,88
	0,8	22,54	15,45	1,46	8,03	10,54	25,50	12,03	67,85	7,03	21,67	1849,11	203,89	3,02	4,55	448,85
	1,3	30,98	19,58	1,58	8,38	12,38	27,82	15,83	73,79	7,06	27,09	1878,05	213,04	3,06	5,26	591,25
	1,8	39,48	23,74	1,66	8,74	14,24	30,16	19,66	79,76	7,08	32,55	1907,16	222,24	3,10	5,97	734,51
510	0,3	15,21	12,48	1,22	8,67	9,72	26,17	9,34	69,93	7,94	18,31	2061,49	220,70	3,38	4,30	347,77
	0,8	23,23	16,44	1,41	9,01	11,53	28,57	13,57	76,07	7,97	24,13	2091,05	230,75	3,42	5,00	505,55
	1,3	31,33	20,44	1,53	9,35	13,37	30,99	17,85	82,27	7,99	30,01	2120,92	240,91	3,46	5,70	664,95
	1,8	39,48	24,46	1,61	9,70	15,21	33,42	22,15	88,50	8,01	35,92	2150,96	251,13	3,50	6,41	825,30
570	0,3	11,74	11,35	1,03	9,67	10,73	29,13	10,42	77,88	8,88	20,31	2302,47	246,54	3,78	4,76	387,54
	0,8	11,74	11,35	1,03	9,99	12,53	31,62	15,12	84,25	8,90	26,56	2332,87	257,58	3,82	5,45	561,95
	1,3	11,74	11,35	1,03	10,33	14,35	34,14	19,86	90,70	8,92	32,87	2363,58	268,73	3,86	6,14	738,13
	1,8	11,74	11,35	1,03	10,66	16,18	36,67	24,63	97,18	8,94	39,22	2394,48	279,95	3,91	6,84	915,37
630	0,3	12,98	12,54	1,03	10,66	11,75	32,10	11,50	85,81	9,81	22,31	2543,42	272,38	4,17	5,21	427,22
	0,8	12,98	12,54	1,03	10,98	13,54	34,67	16,65	92,41	9,83	28,97	2574,59	284,38	4,22	5,90	618,07
	1,3	12,98	12,54	1,03	11,30	15,34	37,27	21,86	99,08	9,85	35,69	2606,08	296,51	4,26	6,59	810,87
	1,8	12,98	12,54	1,03	11,63	17,16	39,89	27,09	105,79	9,88	42,46	2637,77	308,70	4,31	7,28	1004,82

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Ca = cálcio; P = fósforo; Ca/P = relação cálcio/ fósforo; Mg = magnésio; Na = sódio; K = potássio; S = enxofre; Cu = cobre; Co = cobalto; Cr = cromo; Fe = ferro; Mn = manganês; Mo = molibdênio; Se = selênio; Zn = zinco.

Tabela 17.6c - Exigências de aminoácidos metabolizáveis para ganho de peso em bovinos de corte, **MACHOS NÃO CASTRADOS**, **CRUZADOS DE CORTE** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio kg	GMD kg	Essenciais, g										Não essenciais, g							
		Arg	Hist	Isol	Leu	Lis	Met	Fen	Treo	Trip	Vali	Alan	Asp	Cist	Glut	Glic	Proli	Seri	Tiro
330	0,3	6,23	2,31	6,34	11,60	9,39	1,69	5,76	5,52	0,96	5,92	9,59	12,64	8,10	9,39	8,10	7,92	6,26	5,30
	0,8	16,86	6,25	17,15	31,39	25,41	4,57	15,60	14,93	2,61	16,03	25,95	34,20	21,92	25,42	21,92	21,44	16,94	14,34
	1,3	27,59	10,23	28,07	51,38	41,59	7,49	25,53	24,44	4,27	26,25	42,49	55,99	35,89	41,61	35,89	35,09	27,73	23,47
	1,8	38,39	14,24	39,06	71,49	57,87	10,42	35,53	34,01	5,94	36,52	59,12	77,90	49,94	57,90	49,94	48,82	38,59	32,66
390	0,3	6,05	2,33	6,27	11,40	9,31	1,67	5,70	5,45	0,96	5,90	9,28	12,36	7,73	9,24	7,73	7,59	6,10	5,25
	0,8	16,38	6,31	16,96	30,84	25,20	4,51	15,43	14,76	2,59	15,96	25,11	33,46	20,91	25,00	20,91	20,54	16,50	14,21
	1,3	26,82	10,33	27,77	50,49	41,26	7,38	25,25	24,17	4,25	26,13	41,11	54,78	34,23	40,93	34,23	33,62	27,01	23,26
	1,8	37,31	14,37	38,63	70,25	57,40	10,27	35,14	33,63	5,91	36,36	57,20	76,22	47,62	56,95	47,62	46,78	37,58	32,36
450	0,3	5,91	2,35	6,21	11,23	9,25	1,65	5,65	5,40	0,95	5,88	9,02	12,13	7,42	9,11	7,42	7,31	5,96	5,21
	0,8	15,99	6,36	16,80	30,39	25,03	4,46	15,28	14,62	2,58	15,90	24,41	32,84	20,08	24,65	20,08	19,80	16,13	14,10
	1,3	26,17	10,42	27,50	49,74	40,97	7,29	25,02	23,93	4,23	26,03	39,96	53,76	32,87	40,35	32,87	32,41	26,41	23,08
	1,8	36,41	14,49	38,27	69,21	57,01	10,15	34,81	33,30	5,88	36,23	55,61	74,80	45,73	56,15	45,73	45,09	36,74	32,11
510	0,3	5,78	2,37	6,16	11,08	9,19	1,63	5,60	5,36	0,95	5,86	8,80	11,94	7,16	9,00	7,16	7,08	5,84	5,17
	0,8	15,65	6,41	16,66	29,99	24,88	4,41	15,16	14,50	2,57	15,85	23,82	32,31	19,38	24,35	19,38	19,17	15,82	14,00
	1,3	25,61	10,49	27,28	49,10	40,72	7,22	24,81	23,73	4,21	25,95	38,99	52,89	31,72	39,86	31,72	31,38	25,89	22,92
	1,8	35,64	14,60	37,96	68,31	56,66	10,04	34,52	33,02	5,86	36,11	54,25	73,59	44,14	55,46	44,14	43,67	36,02	31,89
570	0,3	5,67	2,38	6,11	10,95	9,14	1,61	5,56	5,32	0,95	5,84	8,61	11,77	6,94	8,90	6,94	6,88	5,74	5,14
	0,8	15,35	6,45	16,54	29,65	24,74	4,37	15,05	14,39	2,56	15,81	23,30	31,84	18,78	24,08	18,78	18,63	15,54	13,91
	1,3	25,13	10,56	27,08	48,53	40,50	7,15	24,63	23,55	4,20	25,87	38,14	52,12	30,73	39,43	30,73	30,50	25,44	22,78
	1,8	34,97	14,70	37,68	67,53	56,36	9,95	34,27	32,77	5,84	36,00	53,07	72,53	42,76	54,86	42,76	42,44	35,40	31,69
630	0,3	5,58	2,40	6,07	10,84	9,10	1,60	5,52	5,28	0,94	5,83	8,44	11,61	6,74	8,81	6,74	6,71	5,65	5,11
	0,8	15,09	6,49	16,43	29,34	24,62	4,33	14,95	14,29	2,55	15,77	22,85	31,43	18,25	23,85	18,25	18,16	15,30	13,84
	1,3	24,71	10,62	26,90	48,03	40,31	7,09	24,47	23,39	4,18	25,81	37,40	51,45	29,87	39,04	29,87	29,73	25,04	22,65
	1,8	34,38	14,78	37,43	66,82	56,08	9,87	34,05	32,54	5,82	35,91	52,03	71,58	41,57	54,32	41,57	41,36	34,84	31,52

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Arg = Arginina; Hist = histidina; Isol = isoleucina; Leu = leucina; Lis = lisina; Met = metionina; Fen = fenilalanina; Treo = treonina; Trip = triptofano; Vali = valina; Alan = alanina; Asp = ácido aspártico; Cist = cistina; Glut = ácido glutâmico; Glic = glicina; Proli = prolina; Seri = serina; Tiro = tirosina.

Tabela 17.7a - Exigências nutricionais de bovinos de corte, **MACHOS CASTRADOS**, **CRUZADOS DE CORTE** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	CMS	Cons. Água[1], L		Energia			Proteína					
kg	kg	kg	Verão	Inverno	EM, Mcal	NDT, kg	NDT, %	PDR, g	PNDR, g	PB, g	PB, %	PDR, % PB	PNDR, % PB
210	0,3	4,0	9,3	11,0	8,2	2,3	56,3	254	128	382	9,5	66,4	33,6
	0,8	5,6	10,1	11,8	11,8	3,3	57,7	379	179	558	9,9	68,0	32,0
	1,3	6,9	10,7	12,4	15,6	4,2	61,2	500	235	735	10,6	68,0	32,0
	1,8	7,9	11,2	12,9	19,4	5,2	66,1	614	297	911	11,5	67,4	32,6
270	0,3	4,8	11,8	13,6	9,8	2,7	56,6	307	145	452	9,5	68,0	32,0
	0,8	6,4	12,6	14,3	13,8	3,8	59,4	442	202	644	10,1	68,7	31,3
	1,3	7,7	13,3	15,0	18,0	4,9	63,8	571	265	835	10,9	68,3	31,7
	1,8	8,6	13,7	15,5	22,3	6,0	69,3	692	335	1026	11,9	67,4	32,6
330	0,3	5,5	14,2	16,0	11,3	3,1	56,8	358	163	521	9,5	68,7	31,3
	0,8	7,1	15,0	16,7	15,7	4,3	60,8	503	230	733	10,4	68,6	31,4
	1,3	8,4	15,6	17,4	20,4	5,5	65,9	640	304	944	11,3	67,8	32,2
	1,8	9,3	16,1	17,9	25,2	6,7	72,0	768	386	1155	12,4	66,5	33,5
390	0,3	6,1	16,5	18,3	12,7	3,5	57,0	403	175	577	9,4	69,7	30,3
	0,8	7,7	17,3	19,0	17,6	4,8	61,9	551	240	791	10,2	69,7	30,3
	1,3	9,0	17,9	19,7	22,7	6,1	67,7	691	313	1004	11,1	68,8	31,2
	1,8	10,0	18,4	20,1	27,9	7,4	74,3	820	395	1215	12,1	67,5	32,5
450	0,3	6,8	18,7	20,5	14,1	3,9	57,2	444	184	627	9,2	70,7	29,3
	0,8	8,4	19,5	21,2	19,4	5,3	62,9	594	243	836	10,0	71,0	29,0
	1,3	9,7	20,1	21,9	24,9	6,7	69,3	733	311	1044	10,8	70,2	29,8
	1,8	10,7	20,6	22,4	30,6	8,1	76,4	859	390	1249	11,7	68,8	31,2
510	0,3	7,4	20,9	22,6	15,4	4,3	57,4	482	193	676	9,1	71,4	28,6
	0,8	9,0	21,6	23,4	21,2	5,7	63,8	633	247	880	9,8	72,0	28,0
	1,3	10,3	22,3	24,0	27,1	7,3	70,6	771	311	1082	10,5	71,3	28,7
	1,8	11,3	22,8	24,5	33,2	8,8	78,2	895	387	1282	11,4	69,8	30,2
570	0,3	8,0	22,9	24,7	16,8	4,6	57,6	519	203	722	9,0	71,9	28,1
	0,8	9,6	23,7	25,4	22,9	6,2	64,5	671	252	922	9,6	72,7	27,3
	1,3	10,9	24,3	26,1	29,3	7,8	71,8	807	312	1119	10,3	72,1	27,9
	1,8	11,9	24,8	26,5	35,8	9,5	79,8	927	387	1313	11,1	70,6	29,4
630	0,3	8,6	24,9	26,7	18,1	5,0	57,8	555	213	768	8,9	72,2	27,8
	0,8	10,2	25,7	27,5	24,6	6,6	65,2	706	257	963	9,4	73,3	26,7
	1,3	11,5	26,4	28,1	31,3	8,4	72,9	840	315	1155	10,1	72,7	27,3
	1,8	12,5	26,8	28,6	38,3	10,1	81,2	955	388	1343	10,8	71,1	28,9

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; CMS = consumo de matéria seca; EM = energia metabolizável; NDT = nutrientes digestíveis totais; PB = proteína bruta; PDR = proteína degradável no rúmen; PNDR = proteína não degradável no rúmen. [1]Inverno = 22°C de temperatura máxima e 65% de umidade relativa do ar; Verão = 29°C de temperatura máxima e 79% de umidade relativa do ar.

Tabela 17.7b - Exigências de minerais para bovinos de corte, **MACHOS CASTRADOS**, **CRUZADOS DE CORTE** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	Macrominerais, g							Microminerais, mg							
kg	kg	Ca	P	Ca/P	Mg	Na	K	S	Cu	Co	Cr	Fe	Mn	Mo	Se	Zn
210	0,3	10,65	7,11	1,50	3,74	4,69	11,24	3,91	29,96	3,28	8,07	855,59	91,26	1,40	2,04	146,81
	0,8	21,44	12,10	1,77	4,16	6,60	13,02	5,77	34,48	3,30	11,38	879,25	96,05	1,43	2,78	217,93
	1,3	32,34	17,14	1,89	4,59	8,53	14,82	7,64	39,05	3,32	14,72	903,16	100,89	1,46	3,53	289,79
	1,8	43,30	22,21	1,95	5,01	10,47	16,64	9,53	43,64	3,35	18,08	927,22	105,76	1,48	4,28	362,07
270	0,3	11,36	8,11	1,40	4,72	5,69	14,25	5,01	38,01	4,21	10,17	1097,00	117,20	1,79	2,49	187,64
	0,8	21,27	12,78	1,66	5,11	7,57	16,19	7,37	42,95	4,23	14,06	1122,24	123,14	1,83	3,22	277,19
	1,3	31,27	17,50	1,79	5,51	9,47	18,15	9,75	47,94	4,26	18,00	1147,73	129,13	1,86	3,95	367,66
	1,8	41,33	22,24	1,86	5,92	11,39	20,13	12,14	52,96	4,28	21,95	1173,38	135,17	1,89	4,69	458,66
330	0,3	12,22	9,16	1,33	5,70	6,69	17,24	6,11	46,03	5,15	12,24	1338,27	143,12	2,19	2,94	228,27
	0,8	21,46	13,59	1,58	6,08	8,55	19,32	8,96	51,33	5,17	16,68	1364,84	150,16	2,23	3,66	335,90
	1,3	30,81	18,06	1,71	6,46	10,43	21,42	11,84	56,68	5,19	21,16	1391,68	157,28	2,26	4,38	444,64
	1,8	40,20	22,56	1,78	6,84	12,32	23,54	14,73	62,06	5,21	25,67	1418,68	164,44	2,30	5,11	554,02
390	0,3	13,15	10,25	1,28	6,69	7,70	20,23	7,20	54,02	6,08	14,29	1579,44	169,02	2,59	3,39	268,74
	0,8	21,89	14,48	1,51	7,05	9,54	22,43	10,54	59,64	6,10	19,24	1607,17	177,15	2,62	4,10	394,19
	1,3	30,71	18,75	1,64	7,42	11,40	24,65	13,91	65,32	6,12	24,23	1635,18	185,35	2,66	4,82	520,91
	1,8	39,59	23,06	1,72	7,78	13,27	26,89	17,31	71,03	6,14	29,26	1663,36	193,61	2,70	5,54	648,39
450	0,3	14,14	11,35	1,25	7,68	8,71	23,20	8,30	61,99	7,01	16,33	1820,53	194,91	2,98	3,85	309,08
	0,8	22,46	15,42	1,46	8,03	10,54	25,52	12,12	67,90	7,03	21,75	1849,30	204,09	3,02	4,55	452,10
	1,3	30,87	19,54	1,58	8,38	12,38	27,85	15,98	73,87	7,06	27,24	1878,35	213,36	3,06	5,26	596,59
	1,8	39,32	23,68	1,66	8,73	14,23	30,20	19,87	79,88	7,08	32,75	1907,58	222,69	3,10	5,97	741,94
510	0,3	15,18	12,46	1,22	8,67	9,72	26,18	9,38	69,95	7,94	18,35	2061,57	220,79	3,38	4,30	349,31
	0,8	23,15	16,41	1,41	9,01	11,53	28,59	13,69	76,13	7,97	24,24	2091,27	231,00	3,42	5,00	509,71
	1,3	31,20	20,39	1,53	9,35	13,36	31,03	18,04	82,37	7,99	30,18	2121,27	241,31	3,46	5,70	671,76
	1,8	39,30	24,39	1,61	9,69	15,20	33,48	22,42	88,64	8,01	36,17	2151,45	251,69	3,51	6,40	834,78
570	0,3	11,74	11,35	1,03	9,67	10,73	29,14	10,47	77,90	8,88	20,36	2302,57	246,65	3,78	4,76	389,43
	0,8	11,74	11,35	1,03	9,99	12,53	31,65	15,26	84,32	8,90	26,69	2333,12	257,88	3,82	5,45	567,05
	1,3	11,74	11,35	1,03	10,32	14,35	34,18	20,09	90,81	8,92	33,08	2363,99	269,22	3,86	6,14	746,49
	1,8	11,74	11,35	1,03	10,66	16,17	36,73	24,95	97,34	8,94	39,52	2395,04	280,63	3,91	6,84	927,00
630	0,3	12,98	12,54	1,03	10,66	11,75	32,11	11,56	85,84	9,81	22,36	2543,52	272,51	4,17	5,21	429,47
	0,8	12,98	12,54	1,03	10,98	13,53	34,70	16,82	92,49	9,83	29,12	2574,87	284,74	4,22	5,90	624,15
	1,3	12,98	12,54	1,03	11,30	15,34	37,32	22,14	99,21	9,85	35,94	2606,54	297,09	4,26	6,59	820,83
	1,8	12,98	12,54	1,03	11,62	17,15	39,96	27,48	105,97	9,88	42,81	2638,39	309,52	4,31	7,28	1018,68

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Ca = cálcio; P = fósforo; Ca/P = relação cálcio/ fósforo; Mg = magnésio; Na = sódio; K = potássio; S = enxofre; Cu = cobre; Co = cobalto; Cr = cromo; Fe = ferro; Mn = manganês; Mo = molibdênio; Se = selênio; Zn = zinco.

Tabela 17.7c - Exigências de aminoácidos metabolizáveis para ganho de peso em bovinos de corte, **MACHOS CASTRADOS**, **CRUZADOS DE CORTE** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio kg	GMD kg	Essenciais, g										Não essenciais, g							
		Arg	Hist	Isol	Leu	Lis	Met	Fen	Treo	Trip	Vali	Alan	Asp	Cist	Glut	Glic	Proli	Seri	Tiro
330	0,3	6,22	2,31	6,33	11,58	9,38	1,69	5,76	5,51	0,96	5,92	9,57	12,62	8,08	9,38	8,08	7,90	6,25	5,30
	0,8	16,83	6,25	17,14	31,35	25,40	4,57	15,59	14,92	2,61	16,03	25,90	34,15	21,86	25,39	21,86	21,38	16,91	14,33
	1,3	27,54	10,24	28,05	51,32	41,57	7,48	25,52	24,43	4,27	26,24	42,40	55,91	35,78	41,57	35,78	34,99	27,69	23,46
	1,8	38,32	14,24	39,04	71,41	57,84	10,41	35,51	33,99	5,94	36,51	59,00	77,79	49,79	57,84	49,79	48,69	38,53	32,64
390	0,3	6,04	2,33	6,26	11,38	9,31	1,66	5,70	5,45	0,96	5,90	9,25	12,34	7,70	9,23	7,70	7,56	6,08	5,25
	0,8	16,34	6,32	16,95	30,80	25,19	4,50	15,41	14,75	2,59	15,96	25,05	33,40	20,83	24,97	20,83	20,47	16,47	14,20
	1,3	26,75	10,34	27,74	50,42	41,23	7,37	25,23	24,14	4,24	26,12	41,00	54,68	34,10	40,87	34,10	33,50	26,95	23,24
	1,8	37,23	14,39	38,60	70,16	57,37	10,26	35,11	33,59	5,91	36,35	57,05	76,08	47,44	56,87	47,44	46,61	37,50	32,34
450	0,3	5,89	2,35	6,20	11,21	9,24	1,64	5,64	5,40	0,95	5,87	8,99	12,11	7,38	9,09	7,38	7,28	5,95	5,20
	0,8	15,94	6,37	16,78	30,34	25,01	4,45	15,27	14,60	2,58	15,90	24,34	32,77	19,99	24,61	19,99	19,71	16,09	14,08
	1,3	26,10	10,43	27,48	49,66	40,94	7,28	24,99	23,91	4,22	26,02	39,84	53,65	32,72	40,29	32,72	32,27	26,34	23,06
	1,8	36,31	14,51	38,23	69,10	56,96	10,14	34,77	33,26	5,88	36,21	55,43	74,65	45,52	56,06	45,52	44,90	36,65	32,08
510	0,3	5,76	2,37	6,15	11,06	9,18	1,63	5,59	5,35	0,95	5,85	8,77	11,91	7,12	8,98	7,12	7,05	5,83	5,17
	0,8	15,60	6,42	16,64	29,94	24,85	4,40	15,14	14,48	2,57	15,84	23,73	32,23	19,28	24,31	19,28	19,08	15,77	13,99
	1,3	25,53	10,50	27,25	49,00	40,69	7,21	24,78	23,70	4,21	25,94	38,85	52,76	31,55	39,79	31,55	31,23	25,82	22,90
	1,8	35,53	14,62	37,91	68,18	56,61	10,03	34,48	32,98	5,85	36,09	54,06	73,41	43,91	55,36	43,91	43,46	35,92	31,86
570	0,3	5,65	2,39	6,10	10,93	9,13	1,61	5,55	5,31	0,95	5,84	8,57	11,73	6,90	8,88	6,90	6,85	5,72	5,14
	0,8	15,30	6,46	16,52	29,58	24,72	4,36	15,03	14,37	2,56	15,80	23,21	31,76	18,67	24,04	18,67	18,53	15,49	13,90
	1,3	25,05	10,57	27,04	48,43	40,46	7,14	24,60	23,52	4,19	25,86	37,99	51,99	30,56	39,35	30,56	30,34	25,36	22,75
	1,8	34,85	14,71	37,63	67,38	56,30	9,93	34,23	32,72	5,83	35,98	52,86	72,34	42,52	54,75	42,52	42,22	35,28	31,66
630	0,3	5,56	2,40	6,06	10,82	9,09	1,60	5,51	5,27	0,94	5,82	8,40	11,58	6,70	8,79	6,70	6,67	5,63	5,11
	0,8	15,04	6,50	16,41	29,27	24,60	4,32	14,93	14,27	2,55	15,76	22,75	31,34	18,14	23,80	18,14	18,06	15,24	13,82
	1,3	24,61	10,64	26,86	47,91	40,26	7,08	24,43	23,35	4,18	25,79	37,23	51,30	29,69	38,95	29,69	29,56	24,95	22,63
	1,8	34,25	14,80	37,38	66,67	56,02	9,85	34,00	32,50	5,81	35,89	51,81	71,38	41,31	54,20	41,31	41,13	34,72	31,48

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Arg = Arginina; Hist = histidina; Isol = isoleucina; Leu = leucina; Lis = lisina; Met = metionina; Fen = fenilalanina; Treo = treonina; Trip = triptofano; Vali = valina; Alan = alanina; Asp = ácido aspártico; Cist = cistina; Glut = ácido glutâmico; Glic = glicina; Proli = prolina; Seri = serina; Tiro = tirosina.

Tabela 17.8a - Exigências nutricionais de bovinos de corte, **FÊMEAS**, **CRUZADAS DE CORTE** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	CMS	Cons. Água[1], L		Energia			Proteína					
kg	kg	kg	Verão	Inverno	EM, Mcal	NDT, kg	NDT, %	PDR, g	PNDR, g	PB, g	PB, %	PDR, % PB	PNDR, % PB
210	0,3	4,0	9,3	11,0	8,4	2,3	57,4	259	129	387	9,6	66,8	33,2
	0,8	5,6	10,1	11,8	12,3	3,4	59,7	392	181	572	10,2	68,4	31,6
	1,3	6,9	10,7	12,4	16,3	4,4	63,9	518	239	757	10,9	68,5	31,5
	1,8	7,9	11,2	12,9	20,4	5,5	69,4	638	303	941	11,9	67,8	32,2
270	0,3	4,8	11,8	13,6	10,0	2,8	57,8	314	147	461	9,6	68,2	31,8
	0,8	6,4	12,6	14,3	14,4	3,9	61,7	459	208	667	10,5	68,8	31,2
	1,3	7,7	13,3	15,0	19,0	5,1	66,9	596	277	873	11,4	68,3	31,7
	1,8	8,6	13,7	15,5	23,7	6,3	73,1	725	353	1078	12,5	67,2	32,8
330	0,3	5,5	14,2	16,0	11,6	3,2	58,2	368	168	536	9,8	68,6	31,4
	0,8	7,1	15,0	16,7	16,5	4,5	63,4	526	246	773	10,9	68,1	31,9
	1,3	8,4	15,6	17,4	21,6	5,8	69,4	676	332	1008	12,1	67,0	33,0
	1,8	9,3	16,1	17,9	26,8	7,1	76,3	814	428	1242	13,3	65,5	34,5
390	0,3	6,1	16,5	18,3	13,1	3,6	58,5	408	167	575	9,4	70,9	29,1
	0,8	7,7	17,3	19,0	18,5	5,0	64,7	562	222	785	10,1	71,7	28,3
	1,3	9,0	17,9	19,7	24,1	6,5	71,5	705	288	993	11,0	71,0	29,0
	1,8	10,0	18,4	20,1	29,9	7,9	79,0	835	364	1198	12,0	69,7	30,3
450	0,3	6,8	18,7	20,5	14,5	4,0	58,8	450	175	625	9,2	72,0	28,0
	0,8	8,4	19,5	21,2	20,4	5,5	65,9	606	224	829	9,9	73,0	27,0
	1,3	9,7	20,1	21,9	26,6	7,1	73,3	748	284	1031	10,7	72,5	27,5
	1,8	10,7	20,6	22,4	32,9	8,7	81,4	874	356	1230	11,5	71,0	29,0
510	0,3	7,4	20,9	22,6	16,0	4,4	59,1	490	184	673	9,1	72,7	27,3
	0,8	9,0	21,6	23,4	22,3	6,0	66,9	646	226	872	9,7	74,1	25,9
	1,3	10,3	22,3	24,0	28,9	7,7	74,9	786	282	1068	10,4	73,6	26,4
	1,8	11,3	22,8	24,5	35,8	9,4	83,5	909	352	1260	11,2	72,1	27,9
570	0,3	8,0	22,9	24,7	17,3	4,8	59,3	527	193	720	9,0	73,2	26,8
	0,8	9,6	23,7	25,4	24,2	6,5	67,8	684	230	913	9,5	74,9	25,1
	1,3	10,9	24,3	26,1	31,3	8,3	76,3	822	281	1103	10,1	74,5	25,5
	1,8	11,9	24,8	26,5	38,6	10,1	85,4	939	350	1289	10,8	72,8	27,2
630	0,3	8,6	24,9	26,7	18,7	5,1	59,6	563	202	765	8,9	73,6	26,4
	0,8	10,2	25,7	27,5	26,0	7,0	68,5	719	234	953	9,4	75,4	24,6
	1,3	11,5	26,4	28,1	33,6	8,9	77,6	854	283	1137	9,9	75,1	24,9
	1,8	12,5	26,8	28,6	41,4	10,9	87,1	965	351	1316	10,6	73,3	26,7

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; CMS = consumo de matéria seca; EM = energia metabolizável; NDT = nutrientes digestíveis totais; PB = proteína bruta; PDR = proteína degradável no rúmen; PNDR = proteína não degradável no rúmen. [1]Inverno = 22°C de temperatura máxima e 65% de umidade relativa do ar; Verão = 29°C de temperatura máxima e 79% de umidade relativa do ar.

Tabela 17.8b - Exigências de minerais para bovinos de corte, **FÊMEAS**, **CRUZADAS DE CORTE** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	Macrominerais, g							Microminerais, mg							
kg	kg	Ca	P	Ca/P	Mg	Na	K	S	Cu	Co	Cr	Fe	Mn	Mo	Se	Zn
210	0,3	10,62	7,10	1,50	3,74	4,69	11,25	3,93	29,97	3,28	8,09	855,63	91,29	1,40	2,04	147,26
	0,8	21,37	12,07	1,77	4,16	6,60	13,03	5,80	34,51	3,30	11,42	879,37	96,13	1,43	2,78	219,16
	1,3	32,22	17,10	1,88	4,58	8,53	14,84	7,70	39,10	3,32	14,79	903,35	101,02	1,46	3,53	291,79
	1,8	43,14	22,16	1,95	5,01	10,47	16,66	9,60	43,71	3,35	18,17	927,48	105,93	1,48	4,28	364,86
270	0,3	11,34	8,10	1,40	4,72	5,69	14,25	5,03	38,03	4,21	10,19	1097,05	117,24	1,80	2,49	188,33
	0,8	21,19	12,75	1,66	5,11	7,57	16,20	7,42	42,99	4,23	14,12	1122,38	123,25	1,83	3,21	279,06
	1,3	31,15	17,45	1,78	5,51	9,47	18,18	9,83	48,00	4,26	18,09	1147,97	129,32	1,86	3,95	370,71
	1,8	41,16	22,18	1,86	5,91	11,38	20,16	12,26	53,05	4,28	22,09	1173,72	135,43	1,89	4,69	462,91
330	0,3	12,19	9,15	1,33	5,70	6,69	17,25	6,14	46,05	5,15	12,27	1338,33	143,18	2,19	2,94	229,22
	0,8	21,38	13,56	1,58	6,08	8,55	19,34	9,03	51,37	5,17	16,75	1365,01	150,32	2,23	3,66	338,46
	1,3	30,67	18,01	1,70	6,46	10,43	21,45	11,95	56,76	5,19	21,28	1391,96	157,54	2,26	4,38	448,82
	1,8	40,02	22,49	1,78	6,84	12,32	23,58	14,89	62,17	5,21	25,84	1419,08	164,79	2,30	5,11	559,84
390	0,3	13,12	10,23	1,28	6,69	7,70	20,23	7,24	54,04	6,08	14,32	1579,51	169,10	2,59	3,39	269,96
	0,8	21,80	14,45	1,51	7,05	9,54	22,45	10,63	59,70	6,10	19,33	1607,37	177,34	2,63	4,10	397,47
	1,3	30,57	18,70	1,63	7,41	11,40	24,69	14,06	65,41	6,12	24,38	1635,51	185,68	2,66	4,81	526,28
	1,8	39,40	22,98	1,71	7,78	13,26	26,94	17,51	71,16	6,14	29,47	1663,82	194,06	2,70	5,53	655,86
450	0,3	14,11	11,34	1,24	7,68	8,71	23,21	8,34	62,02	7,01	16,37	1820,62	195,00	2,98	3,85	310,57
	0,8	22,38	15,39	1,45	8,03	10,53	25,54	12,23	67,97	7,03	21,86	1849,52	204,33	3,02	4,55	456,14
	1,3	30,73	19,48	1,58	8,38	12,37	27,89	16,16	73,98	7,06	27,41	1878,72	213,75	3,06	5,25	603,20
	1,8	39,13	23,60	1,66	8,73	14,22	30,26	20,12	80,02	7,08	33,00	1908,10	223,23	3,10	5,96	751,13
510	0,3	10,51	12,45	0,84	8,67	9,72	26,19	9,43	69,98	7,94	18,39	2061,66	220,89	3,38	4,30	351,09
	0,8	10,51	16,37	0,64	9,01	11,53	28,62	13,82	76,20	7,97	24,36	2091,52	231,28	3,42	4,99	514,53
	1,3	10,51	20,33	0,52	9,35	13,35	31,07	18,26	82,48	7,99	30,39	2121,68	241,78	3,46	5,69	679,65
	1,8	10,51	24,31	24,3	9,69	15,19	33,54	22,72	88,81	8,01	36,45	2152,02	252,34	3,51	6,40	845,75
570	0,3	11,74	11,35	1,03	9,66	10,73	29,15	10,53	77,93	8,88	20,41	2302,66	246,78	3,78	4,76	391,51
	0,8	11,74	11,35	1,03	9,99	12,53	31,68	15,41	84,40	8,90	26,83	2333,39	258,21	3,82	5,44	572,68
	1,3	11,74	11,35	1,03	10,32	14,34	34,23	20,35	90,94	8,92	33,32	2364,43	269,76	3,86	6,14	755,70
	1,8	11,74	11,35	1,03	10,65	16,17	36,79	25,31	97,51	8,94	39,84	2395,65	281,38	3,91	6,84	939,81
630	0,3	12,98	12,54	1,03	10,66	11,74	32,12	11,63	85,87	9,81	22,42	2543,63	272,65	4,17	5,21	431,85
	0,8	12,98	12,54	1,03	10,97	13,53	34,73	17,00	92,58	9,83	29,27	2575,15	285,11	4,22	5,89	630,60
	1,3	12,98	12,54	1,03	11,29	15,33	37,37	22,43	99,35	9,85	36,20	2607,01	297,71	4,26	6,58	831,39
	1,8	12,98	12,54	1,03	11,62	17,14	40,03	27,89	106,16	9,88	43,17	2639,05	310,37	4,31	7,27	1033,37

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Ca = cálcio; P = fósforo; Ca/P = relação cálcio/ fósforo; Mg = magnésio; Na = sódio; K = potássio; S = enxofre; Cu = cobre; Co = cobalto; Cr = cromo; Fe = ferro; Mn = manganês; Mo = molibdênio; Se = selênio; Zn = zinco.

Tabela 17.8c - Exigências de aminoácidos metabolizáveis para ganho de peso em bovinos de corte, **FÊMEAS**, **CRUZADAS DE CORTE** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	Essenciais, g										Não essenciais, g							
kg	kg	Arg	Hist	Isol	Leu	Lis	Met	Fen	Treo	Trip	Vali	Alan	Asp	Cist	Glut	Glic	Proli	Seri	Tiro
330	0,3	6,20	2,31	6,33	11,56	9,38	1,69	5,75	5,51	0,96	5,92	9,54	12,59	8,04	9,37	8,04	7,87	6,23	5,29
	0,8	16,78	6,26	17,12	31,30	25,37	4,56	15,57	14,90	2,61	16,02	25,82	34,08	21,76	25,35	21,76	21,29	16,87	14,32
	1,3	27,46	10,25	28,02	51,23	41,54	7,47	25,49	24,40	4,26	26,23	42,26	55,79	35,61	41,50	35,61	34,85	27,62	23,44
	1,8	38,22	14,26	38,99	71,29	57,80	10,39	35,47	33,95	5,93	36,49	58,80	77,63	49,55	57,74	49,55	48,49	38,43	32,61
390	0,3	6,02	2,34	6,25	11,36	9,30	1,66	5,69	5,44	0,96	5,89	9,22	12,31	7,66	9,21	7,66	7,53	6,07	5,24
	0,8	16,29	6,32	16,93	30,74	25,16	4,50	15,40	14,73	2,59	15,95	24,96	33,32	20,72	24,92	20,72	20,37	16,42	14,18
	1,3	26,67	10,35	27,71	50,32	41,19	7,36	25,20	24,11	4,24	26,11	40,85	54,55	33,92	40,80	33,92	33,35	26,88	23,22
	1,8	37,11	14,40	38,55	70,02	57,32	10,24	35,07	33,55	5,90	36,33	56,84	75,90	47,20	56,77	47,20	46,40	37,40	32,31
450	0,3	5,87	2,36	6,19	11,19	9,23	1,64	5,63	5,39	0,95	5,87	8,96	12,08	7,34	9,08	7,34	7,25	5,93	5,20
	0,8	15,89	6,38	16,76	30,27	24,98	4,44	15,25	14,58	2,58	15,89	24,24	32,69	19,88	24,57	19,88	19,62	16,04	14,07
	1,3	26,01	10,44	27,44	49,56	40,90	7,27	24,96	23,87	4,22	26,01	39,68	53,51	32,53	40,21	32,53	32,11	26,26	23,03
	1,8	36,19	14,52	38,18	68,96	56,91	10,12	34,73	33,22	5,87	36,19	55,22	74,46	45,27	55,95	45,27	44,68	36,54	32,05
510	0,3	5,74	2,37	6,14	11,04	9,17	1,62	5,59	5,34	0,95	5,85	8,73	11,88	7,08	8,96	7,08	7,01	5,81	5,16
	0,8	15,54	6,42	16,62	29,87	24,83	4,39	15,12	14,46	2,57	15,84	23,63	32,14	19,16	24,26	19,16	18,98	15,72	13,97
	1,3	25,44	10,52	27,21	48,90	40,64	7,19	24,75	23,67	4,20	25,92	38,69	52,62	31,37	39,71	31,37	31,07	25,73	22,87
	1,8	35,40	14,63	37,86	68,04	56,55	10,01	34,44	32,93	5,85	36,07	53,83	73,21	43,65	55,25	43,65	43,23	35,80	31,82
570	0,3	5,63	2,39	6,10	10,91	9,12	1,61	5,54	5,30	0,95	5,83	8,54	11,70	6,85	8,86	6,85	6,81	5,70	5,13
	0,8	15,24	6,47	16,50	29,52	24,69	4,35	15,00	14,34	2,56	15,79	23,11	31,67	18,55	23,98	18,55	18,43	15,44	13,88
	1,3	24,95	10,59	27,00	48,32	40,42	7,12	24,56	23,48	4,19	25,85	37,83	51,84	30,37	39,26	30,37	30,17	25,27	22,73
	1,8	34,72	14,73	37,57	67,23	56,24	9,91	34,18	32,67	5,83	35,96	52,63	72,13	42,26	54,63	42,26	41,98	35,16	31,62
630	0,3	5,53	2,40	6,05	10,79	9,08	1,59	5,51	5,26	0,94	5,82	8,37	11,54	6,66	8,77	6,66	6,63	5,61	5,10
	0,8	14,98	6,51	16,38	29,20	24,57	4,32	14,90	14,24	2,55	15,75	22,64	31,24	18,02	23,74	18,02	17,95	15,19	13,80
	1,3	24,52	10,65	26,82	47,80	40,22	7,06	24,40	23,32	4,18	25,78	37,07	51,14	29,49	38,86	29,49	29,38	24,86	22,60
	1,8	34,11	14,82	37,32	66,51	55,96	9,83	33,95	32,44	5,81	35,87	51,57	71,16	41,04	54,08	41,04	40,89	34,59	31,44

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Arg = Arginina; Hist = histidina; Isol = isoleucina; Leu = leucina; Lis = lisina; Met = metionina; Fen = fenilalanina; Treo = treonina; Trip = triptofano; Vali = valina; Alan = alanina; Asp = ácido aspártico; Cist = cistina; Glut = ácido glutâmico; Glic = glicina; Proli = prolina; Seri = serina; Tiro = tirosina.

Tabela 17.9a - Exigências nutricionais de bovinos de corte, **MACHOS NÃO CASTRADOS**, **CRUZADOS DE LEITE** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	CMS	Cons. Água[1], L		Energia			Proteína					
kg	kg	kg	Verão	Inverno	EM, Mcal	NDT, kg	NDT, %	PDR, g	PNDR, g	PB, g	PB, %	PDR, % PB	PNDR, % PB
210	0,3	3,0	8,8	10,5	8,3	2,2	72,7	247	129	376	12,4	65,6	34,4
	0,8	4,8	9,7	11,4	11,8	3,2	66,6	369	175	544	11,4	67,9	32,1
	1,3	6,0	10,3	12,0	15,3	4,1	68,6	485	227	712	11,8	68,1	31,9
	1,8	6,8	10,6	12,4	19,0	5,0	74,5	593	285	878	13,0	67,5	32,5
270	0,3	4,0	11,5	13,2	9,8	2,6	66,0	300	143	442	11,1	67,7	32,3
	0,8	5,7	12,3	14,0	13,7	3,7	64,6	429	191	620	10,8	69,2	30,8
	1,3	7,0	12,9	14,6	17,6	4,7	68,1	551	247	797	11,4	69,0	31,0
	1,8	7,7	13,3	15,0	21,7	5,8	74,6	664	310	974	12,6	68,2	31,8
330	0,3	4,9	14,0	15,7	11,2	3,1	62,1	349	157	507	10,3	68,9	31,1
	0,8	6,6	14,8	16,5	15,5	4,2	63,3	485	211	696	10,5	69,7	30,3
	1,3	7,9	15,4	17,1	19,9	5,3	67,8	613	272	885	11,2	69,3	30,7
	1,8	8,7	15,8	17,5	24,3	6,5	74,8	730	342	1072	12,4	68,1	31,9
390	0,3	5,8	16,4	18,1	12,6	3,4	59,5	399	181	580	10,0	68,9	31,1
	0,8	7,5	17,2	18,9	17,2	4,7	62,4	548	253	801	10,7	68,4	31,6
	1,3	8,8	17,8	19,5	22,0	5,9	67,6	686	335	1021	11,7	67,2	32,8
	1,8	9,5	18,2	19,9	26,8	7,1	75,0	814	426	1239	13,0	65,7	34,3
450	0,3	6,6	18,7	20,4	13,9	3,8	57,7	440	190	630	9,5	69,9	30,1
	0,8	8,4	19,5	21,2	18,9	5,2	61,7	590	257	847	10,1	69,6	30,4
	1,3	9,6	20,1	21,8	24,1	6,5	67,5	728	335	1063	11,1	68,5	31,5
	1,8	10,4	20,5	22,2	29,3	7,8	75,2	854	423	1277	12,3	66,9	33,1
510	0,3	7,4	20,9	22,6	15,2	4,2	56,4	479	199	679	9,1	70,6	29,4
	0,8	9,2	21,7	23,4	20,5	5,6	61,2	630	262	892	9,7	70,6	29,4
	1,3	10,4	22,3	24,1	26,1	7,0	67,5	767	337	1104	10,6	69,5	30,5
	1,8	11,2	22,7	24,4	31,7	8,4	75,5	890	423	1313	11,8	67,8	32,2
570	0,3	8,2	23,0	24,8	16,4	4,5	55,3	516	209	725	8,8	71,2	28,8
	0,8	10,0	23,9	25,6	22,1	6,0	60,8	667	268	935	9,4	71,3	28,7
	1,3	11,2	24,5	26,2	28,0	7,6	67,5	803	340	1143	10,2	70,2	29,8
	1,8	12,0	24,9	26,6	34,0	9,1	75,7	923	425	1348	11,3	68,5	31,5
630	0,3	9,0	25,1	26,9	17,7	4,9	54,5	552	219	771	8,6	71,6	28,4
	0,8	10,7	26,0	27,7	23,7	6,5	60,5	702	275	977	9,1	71,8	28,2
	1,3	12,0	26,6	28,3	30,0	8,1	67,5	836	345	1181	9,9	70,8	29,2
	1,8	12,7	27,0	28,7	36,3	9,7	75,9	953	428	1381	10,8	69,0	31,0

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; CMS = consumo de matéria seca; EM = energia metabolizável; NDT = nutrientes digestíveis totais; PB = proteína bruta; PDR = proteína degradável no rúmen; PNDR = proteína não degradável no rúmen. [1]Inverno = 22°C de temperatura máxima e 65% de umidade relativa do ar; Verão = 29°C de temperatura máxima e 79% de umidade relativa do ar.

Tabela 17.9b - Exigências de minerais para bovinos de corte, **MACHOS NÃO CASTRADOS**, **CRUZADOS DE LEITE** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	Macrominerais, g							Microminerais, mg							
kg	kg	Ca	P	Ca/P	Mg	Na	K	S	Cu	Co	Cr	Fe	Mn	Mo	Se	Zn
210	0,3	10,65	7,11	1,50	3,74	4,69	11,24	3,91	29,96	3,28	8,07	855,58	91,25	1,40	2,04	146,76
	0,8	21,44	12,10	1,77	4,16	6,60	13,02	5,77	34,48	3,30	11,38	879,24	96,04	1,43	2,78	217,82
	1,3	32,35	17,15	1,89	4,59	8,53	14,82	7,64	39,05	3,32	14,71	903,15	100,88	1,46	3,53	289,60
	1,8	43,31	22,22	1,95	5,01	10,48	16,63	9,52	43,64	3,35	18,07	927,19	105,74	1,48	4,28	361,81
270	0,3	11,38	8,12	1,40	4,72	5,69	14,24	5,00	38,00	4,21	10,16	1096,97	117,18	1,79	2,49	187,30
	0,8	21,31	12,79	1,67	5,12	7,57	16,18	7,34	42,93	4,23	14,03	1122,16	123,08	1,83	3,22	276,26
	1,3	31,33	17,52	1,79	5,52	9,48	18,14	9,71	47,91	4,26	17,95	1147,61	129,04	1,86	3,95	366,14
	1,8	41,42	22,27	1,86	5,92	11,39	20,11	12,08	52,91	4,28	21,89	1173,22	135,04	1,89	4,69	456,55
330	0,3	12,24	9,17	1,33	5,71	6,69	17,24	6,09	46,01	5,15	12,22	1338,22	143,08	2,19	2,94	227,58
	0,8	21,52	13,61	1,58	6,08	8,56	19,31	8,91	51,29	5,17	16,62	1364,71	150,05	2,23	3,66	334,04
	1,3	30,90	18,10	1,71	6,46	10,44	21,40	11,75	56,62	5,19	21,07	1391,47	157,10	2,26	4,38	441,59
	1,8	40,34	22,61	1,78	6,85	12,33	23,50	14,62	61,98	5,21	25,54	1418,38	164,18	2,30	5,11	549,78
390	0,3	13,18	10,26	1,29	6,69	7,70	20,22	7,17	54,00	6,08	14,26	1579,37	168,96	2,59	3,39	267,67
	0,8	21,96	14,51	1,51	7,06	9,54	22,41	10,46	59,59	6,10	19,15	1606,99	176,97	2,62	4,10	391,29
	1,3	30,84	18,80	1,64	7,42	11,41	24,62	13,78	65,23	6,12	24,10	1634,88	185,07	2,66	4,82	516,17
	1,8	39,76	23,12	1,72	7,79	13,28	26,85	17,13	70,91	6,15	29,07	1662,95	193,21	2,70	5,54	641,80
450	0,3	14,18	11,36	1,25	7,68	8,71	23,19	8,25	61,97	7,01	16,29	1820,45	194,82	2,98	3,85	307,60
	0,8	22,55	15,46	1,46	8,03	10,54	25,49	12,01	67,84	7,03	21,65	1849,07	203,85	3,02	4,55	448,10
	1,3	31,01	19,59	1,58	8,39	12,38	27,81	15,80	73,77	7,06	27,06	1877,98	212,97	3,06	5,26	590,04
	1,8	39,52	23,76	1,66	8,74	14,24	30,14	19,62	79,73	7,08	32,51	1907,07	222,14	3,10	5,97	732,82
510	0,3	15,21	12,48	1,22	8,67	9,72	26,17	9,33	69,93	7,94	18,30	2061,47	220,67	3,38	4,30	347,39
	0,8	23,25	16,44	1,41	9,01	11,54	28,56	13,55	76,05	7,97	24,10	2091,00	230,69	3,42	5,00	504,54
	1,3	31,36	20,45	1,53	9,36	13,37	30,98	17,80	82,24	7,99	29,96	2120,83	240,81	3,46	5,70	663,29
	1,8	39,52	24,48	1,61	9,70	15,21	33,41	22,09	88,47	8,01	35,86	2150,84	250,99	3,50	6,41	822,99
570	0,3	11,74	11,35	1,03	9,67	10,73	29,13	10,41	77,87	8,88	20,30	2302,45	246,51	3,78	4,76	387,06
	0,8	11,74	11,35	1,03	10,00	12,54	31,62	15,08	84,23	8,90	26,53	2332,81	257,50	3,82	5,45	560,65
	1,3	11,74	11,35	1,03	10,33	14,35	34,13	19,80	90,67	8,92	32,82	2363,48	268,61	3,86	6,14	736,00
	1,8	11,74	11,35	1,03	10,66	16,18	36,65	24,55	97,13	8,94	39,15	2394,33	279,77	3,91	6,84	912,41
630	0,3	12,98	12,54	1,03	10,66	11,75	32,09	11,48	85,80	9,81	22,29	2543,39	272,35	4,17	5,21	426,63
	0,8	12,98	12,54	1,03	10,98	13,54	34,66	16,61	92,39	9,83	28,93	2574,52	284,29	4,22	5,90	616,47
	1,3	12,98	12,54	1,03	11,30	15,35	37,26	21,78	99,05	9,85	35,63	2605,96	296,35	4,26	6,59	808,25
	1,8	12,98	12,54	1,03	11,63	17,16	39,87	26,99	105,74	9,88	42,37	2637,60	308,49	4,31	7,28	1001,18

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Ca = cálcio; P = fósforo; Ca/P = relação cálcio/ fósforo; Mg = magnésio; Na = sódio; K = potássio; S = enxofre; Cu = cobre; Co = cobalto; Cr = cromo; Fe = ferro; Mn = manganês; Mo = molibdênio; Se = selênio; Zn = zinco.

Tabela 17.9c - Exigências de aminoácidos metabolizáveis para ganho de peso em bovinos de corte, **MACHOS NÃO CASTRADOS**, **CRUZADOS DE LEITE** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio kg	GMD kg	Essenciais, g										Não essenciais, g							
		Arg	Hist	Isol	Leu	Lis	Met	Fen	Treo	Trip	Vali	Alan	Asp	Cist	Glut	Glic	Proli	Seri	Tiro
330	0,3	6,23	2,31	6,34	11,60	9,39	1,69	5,76	5,52	0,96	5,92	9,59	12,64	8,10	9,39	8,10	7,92	6,26	5,30
	0,8	16,86	6,25	17,15	31,39	25,41	4,57	15,60	14,93	2,61	16,03	25,96	34,21	21,93	25,42	21,93	21,44	16,95	14,34
	1,3	27,60	10,23	28,08	51,39	41,60	7,49	25,54	24,45	4,27	26,25	42,50	56,00	35,90	41,62	35,90	35,10	27,74	23,48
	1,8	38,40	14,23	39,07	71,50	57,88	10,42	35,53	34,01	5,94	36,52	59,14	77,92	49,96	57,91	49,96	48,85	38,60	32,67
390	0,3	6,06	2,33	6,27	11,40	9,31	1,67	5,70	5,46	0,96	5,90	9,28	12,37	7,73	9,24	7,73	7,59	6,10	5,25
	0,8	16,39	6,31	16,97	30,85	25,21	4,51	15,43	14,77	2,59	15,96	25,13	33,47	20,93	25,01	20,93	20,55	16,51	14,21
	1,3	26,83	10,33	27,77	50,50	41,26	7,38	25,26	24,17	4,25	26,13	41,13	54,80	34,25	40,94	34,25	33,64	27,02	23,26
	1,8	37,33	14,37	38,64	70,27	57,41	10,27	35,15	33,63	5,91	36,36	57,23	76,25	47,66	56,97	47,66	46,81	37,60	32,37
450	0,3	5,91	2,35	6,21	11,23	9,25	1,65	5,65	5,40	0,95	5,88	9,03	12,14	7,43	9,11	7,43	7,32	5,96	5,21
	0,8	16,00	6,36	16,81	30,40	25,03	4,46	15,29	14,62	2,58	15,91	24,43	32,86	20,10	24,66	20,10	19,81	16,14	14,10
	1,3	26,18	10,41	27,51	49,76	40,98	7,30	25,02	23,94	4,23	26,04	39,99	53,79	32,90	40,37	32,90	32,44	26,42	23,08
	1,8	36,43	14,49	38,28	69,24	57,02	10,15	34,82	33,31	5,88	36,23	55,65	74,84	45,78	56,17	45,78	45,13	36,77	32,12
510	0,3	5,79	2,37	6,16	11,09	9,19	1,63	5,60	5,36	0,95	5,86	8,81	11,94	7,17	9,00	7,17	7,09	5,85	5,17
	0,8	15,66	6,41	16,67	30,01	24,88	4,41	15,16	14,50	2,57	15,85	23,84	32,33	19,40	24,36	19,40	19,19	15,83	14,00
	1,3	25,63	10,49	27,29	49,12	40,73	7,22	24,82	23,74	4,21	25,95	39,02	52,92	31,76	39,88	31,76	31,42	25,91	22,92
	1,8	35,67	14,60	37,97	68,35	56,67	10,05	34,53	33,03	5,86	36,11	54,30	73,63	44,19	55,49	44,19	43,72	36,05	31,90
570	0,3	5,68	2,38	6,11	10,96	9,14	1,61	5,56	5,32	0,95	5,84	8,62	11,77	6,95	8,90	6,95	6,89	5,75	5,14
	0,8	15,37	6,45	16,55	29,66	24,75	4,37	15,05	14,39	2,56	15,81	23,32	31,86	18,80	24,10	18,80	18,66	15,55	13,92
	1,3	25,16	10,56	27,09	48,56	40,51	7,15	24,64	23,56	4,20	25,88	38,18	52,16	30,78	39,45	30,78	30,54	25,46	22,78
	1,8	35,00	14,69	37,69	67,56	56,37	9,95	34,28	32,78	5,84	36,01	53,13	72,58	42,83	54,89	42,83	42,49	35,43	31,70
630	0,3	5,58	2,40	6,07	10,85	9,10	1,60	5,53	5,28	0,94	5,83	8,45	11,62	6,75	8,82	6,75	6,72	5,66	5,11
	0,8	15,11	6,49	16,44	29,36	24,63	4,33	14,95	14,29	2,56	15,77	22,87	31,45	18,28	23,86	18,28	18,19	15,31	13,84
	1,3	24,73	10,62	26,91	48,05	40,32	7,09	24,48	23,40	4,18	25,81	37,44	51,49	29,92	39,06	29,92	29,77	25,06	22,66
	1,8	34,41	14,78	37,44	66,86	56,10	9,87	34,06	32,56	5,82	35,91	52,10	71,64	41,64	54,35	41,64	41,42	34,87	31,53

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Arg = Arginina; Hist = histidina; Isol = isoleucina; Leu = leucina; Lis = lisina; Met = metionina; Fen = fenilalanina; Treo = treonina; Trip = triptofano; Vali = valina; Alan = alanina; Asp = ácido aspártico; Cist = cistina; Glut = ácido glutâmico; Glic = glicina; Proli = prolina; Seri = serina; Tiro = tirosina.

Tabela 17.10a - Exigências nutricionais de bovinos de corte, **MACHOS CASTRADOS**, **CRUZADOS DE LEITE** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio kg	GMD kg	CMS, kg	Cons. Água[1], L		Energia			Proteína					
			Verão	Inverno	EM, Mcal	NDT, kg	NDT, %	PDR, g	PNDR, g	PB, g	PB, %	PDR, % PB	PNDR, % PB
210	0,3	3,0	8,8	10,5	8,4	2,2	73,5	250	130	379	12,5	65,8	34,2
	0,8	4,8	9,7	11,4	12,1	3,2	68,2	377	175	553	11,6	68,3	31,7
	1,3	6,0	10,3	12,0	15,9	4,3	70,8	498	228	725	12,1	68,6	31,4
	1,8	6,8	10,6	12,4	19,7	5,2	77,3	610	287	897	13,2	68,0	32,0
270	0,3	4,0	11,5	13,2	9,9	2,7	66,9	304	144	448	11,2	67,9	32,1
	0,8	5,7	12,3	14,0	14,1	3,8	66,4	440	193	634	11,1	69,5	30,5
	1,3	7,0	12,9	14,6	18,4	4,9	70,6	568	251	819	11,7	69,3	30,7
	1,8	7,7	13,3	15,0	22,7	6,0	77,9	687	317	1004	13,0	68,4	31,6
330	0,3	4,9	14,0	15,7	11,4	3,1	63,1	355	159	515	10,5	69,1	30,9
	0,8	6,6	14,8	16,5	16,0	4,3	65,3	500	216	717	10,8	69,8	30,2
	1,3	7,9	15,4	17,1	20,8	5,6	70,6	635	283	918	11,6	69,2	30,8
	1,8	8,7	15,8	17,5	25,6	6,8	78,4	760	358	1118	12,9	67,9	32,1
390	0,3	5,8	16,4	18,1	12,9	3,5	60,7	403	175	578	10,0	69,8	30,2
	0,8	7,5	17,2	18,9	17,9	4,9	64,5	556	239	796	10,6	69,9	30,1
	1,3	8,8	17,8	19,5	23,1	6,2	70,7	698	314	1012	11,6	68,9	31,1
	1,8	9,5	18,2	19,9	28,4	7,5	78,9	826	400	1226	12,9	67,4	32,6
450	0,3	6,6	18,7	20,4	14,2	3,9	58,9	445	183	628	9,5	70,9	29,1
	0,8	8,4	19,5	21,2	19,7	5,3	64,0	599	242	842	10,1	71,2	28,8
	1,3	9,6	20,1	21,8	25,3	6,8	70,8	740	313	1053	11,0	70,3	29,7
	1,8	10,4	20,5	22,2	31,1	8,2	79,4	867	395	1262	12,2	68,7	31,3
510	0,3	7,4	20,9	22,6	15,6	4,3	57,7	485	192	677	9,1	71,7	28,3
	0,8	9,2	21,7	23,4	21,5	5,8	63,6	640	246	886	9,7	72,3	27,7
	1,3	10,4	22,3	24,1	27,5	7,4	70,9	779	313	1092	10,5	71,4	28,6
	1,8	11,2	22,7	24,4	33,7	8,9	79,8	903	393	1296	11,6	69,7	30,3
570	0,3	8,2	23,0	24,8	16,9	4,7	56,7	523	201	723	8,8	72,3	27,7
	0,8	10,0	23,9	25,6	23,2	6,3	63,3	678	250	928	9,3	73,0	27,0
	1,3	11,2	24,5	26,2	29,7	8,0	71,0	815	314	1130	10,1	72,2	27,8
	1,8	12,0	24,9	26,6	36,3	9,6	80,2	935	393	1328	11,1	70,4	29,6
630	0,3	9,0	25,1	26,9	18,2	5,0	55,9	559	210	769	8,6	72,7	27,3
	0,8	10,7	26,0	27,7	24,9	6,8	63,1	713	256	969	9,0	73,6	26,4
	1,3	12,0	26,6	28,3	31,8	8,5	71,2	849	317	1166	9,7	72,8	27,2
	1,8	12,7	27,0	28,7	38,8	10,3	80,6	963	396	1359	10,7	70,9	29,1

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; CMS = consumo de matéria seca; EM = energia metabolizável; NDT = nutrientes digestíveis totais; PB = proteína bruta; PDR = proteína degradável no rúmen; PNDR = proteína não degradável no rúmen. [1]Inverno = 22°C de temperatura máxima e 65% de umidade relativa do ar; Verão = 29°C de temperatura máxima e 79% de umidade relativa do ar.

Tabela 17.10b - Exigências de minerais para bovinos de corte, **MACHOS CASTRADOS**, **CRUZADOS DE LEITE** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	Macrominerais, g							Microminerais, mg							
kg	kg	Ca	P	Ca/P	Mg	Na	K	S	Cu	Co	Cr	Fe	Mn	Mo	Se	Zn
210	0,3	10,65	7,11	1,50	3,74	4,69	11,24	3,91	29,96	3,28	8,07	855,59	91,26	1,40	2,04	146,85
	0,8	21,43	12,10	1,77	4,16	6,60	13,02	5,77	34,49	3,30	11,38	879,27	96,06	1,43	2,78	218,06
	1,3	32,32	17,14	1,89	4,59	8,53	14,83	7,65	39,05	3,32	14,73	903,18	100,90	1,46	3,53	290,00
	1,8	43,28	22,21	1,95	5,01	10,47	16,64	9,54	43,65	3,35	18,09	927,24	105,78	1,48	4,28	362,37
270	0,3	11,37	8,11	1,40	4,72	5,69	14,25	5,01	38,01	4,21	10,17	1097,00	117,20	1,79	2,49	187,62
	0,8	21,27	12,78	1,66	5,12	7,57	16,19	7,37	42,95	4,23	14,06	1122,23	123,13	1,83	3,22	277,14
	1,3	31,27	17,50	1,79	5,51	9,47	18,15	9,75	47,94	4,26	17,99	1147,73	129,13	1,86	3,95	367,57
	1,8	41,34	22,24	1,86	5,92	11,39	20,12	12,14	52,95	4,28	21,95	1173,38	135,16	1,89	4,69	458,55
330	0,3	12,22	9,17	1,33	5,70	6,69	17,24	6,11	46,03	5,15	12,24	1338,26	143,11	2,19	2,94	228,17
	0,8	21,47	13,59	1,58	6,08	8,55	19,32	8,95	51,32	5,17	16,67	1364,82	150,15	2,23	3,66	335,64
	1,3	30,82	18,07	1,71	6,46	10,43	21,42	11,83	56,67	5,19	21,15	1391,65	157,25	2,26	4,38	444,21
	1,8	40,22	22,56	1,78	6,84	12,32	23,53	14,72	62,05	5,21	25,65	1418,64	164,40	2,30	5,11	553,42
390	0,3	13,16	10,25	1,28	6,69	7,70	20,22	7,20	54,02	6,08	14,28	1579,43	169,01	2,59	3,39	268,56
	0,8	21,90	14,48	1,51	7,05	9,54	22,42	10,53	59,63	6,10	19,22	1607,13	177,12	2,62	4,10	393,68
	1,3	30,73	18,76	1,64	7,42	11,40	24,65	13,89	65,30	6,12	24,21	1635,13	185,30	2,66	4,82	520,08
	1,8	39,62	23,07	1,72	7,78	13,27	26,88	17,28	71,01	6,14	29,23	1663,29	193,54	2,70	5,54	647,24
450	0,3	14,15	11,35	1,25	7,68	8,71	23,20	8,29	61,99	7,01	16,32	1820,52	194,89	2,98	3,85	308,80
	0,8	22,48	15,43	1,46	8,03	10,54	25,51	12,10	67,89	7,03	21,73	1849,25	204,04	3,02	4,55	451,34
	1,3	30,90	19,55	1,58	8,38	12,38	27,84	15,95	73,85	7,06	27,20	1878,28	213,28	3,06	5,26	595,33
	1,8	39,36	23,69	1,66	8,74	14,23	30,19	19,82	79,85	7,08	32,71	1907,48	222,58	3,10	5,97	740,19
510	0,3	15,18	12,47	1,22	8,67	9,72	26,17	9,37	69,95	7,94	18,34	2061,55	220,76	3,38	4,30	348,92
	0,8	23,17	16,41	1,41	9,01	11,53	28,58	13,66	76,11	7,97	24,21	2091,22	230,94	3,42	5,00	508,66
	1,3	31,23	20,40	1,53	9,35	13,36	31,02	17,99	82,34	7,99	30,14	2121,18	241,21	3,46	5,70	670,04
	1,8	39,35	24,41	1,61	9,69	15,20	33,46	22,35	88,61	8,01	36,11	2151,33	251,55	3,51	6,40	832,38
570	0,3	11,74	11,35	1,03	9,67	10,73	29,14	10,46	77,90	8,88	20,35	2302,54	246,62	3,78	4,76	388,93
	0,8	11,74	11,35	1,03	9,99	12,53	31,64	15,22	84,31	8,90	26,65	2333,06	257,80	3,82	5,45	565,70
	1,3	11,74	11,35	1,03	10,32	14,35	34,17	20,03	90,78	8,92	33,03	2363,88	269,09	3,86	6,14	744,28
	1,8	11,74	11,35	1,03	10,66	16,18	36,71	24,87	97,30	8,94	39,44	2394,89	280,45	3,91	6,84	923,93
630	0,3	12,98	12,54	1,03	10,66	11,75	32,11	11,54	85,83	9,81	22,35	2543,49	272,48	4,17	5,21	428,85
	0,8	12,98	12,54	1,03	10,98	13,53	34,69	16,77	92,47	9,83	29,08	2574,79	284,64	4,22	5,90	622,49
	1,3	12,98	12,54	1,03	11,30	15,34	37,31	22,06	99,18	9,85	35,87	2606,41	296,93	4,26	6,59	818,11
	1,8	12,98	12,54	1,03	11,62	17,16	39,94	27,38	105,92	9,88	42,71	2638,22	309,29	4,31	7,28	1014,90

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Ca = cálcio; P = fósforo; Ca/P = relação cálcio/ fósforo; Mg = magnésio; Na = sódio; K = potássio; S = enxofre; Cu = cobre; Co = cobalto; Cr = cromo; Fe = ferro; Mn = manganês; Mo = molibdênio; Se = selênio; Zn = zinco.

Tabela 17.10c - Exigências de aminoácidos metabolizáveis para ganho de peso em bovinos de corte, **MACHOS CASTRADOS**, **CRUZADOS DE LEITE** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio kg	GMD kg	Essenciais, g										Não essenciais, g							
		Arg	Hist	Isol	Leu	Lis	Met	Fen	Treo	Trip	Vali	Alan	Asp	Cist	Glut	Glic	Proli	Seri	Tiro
330	0,3	6,22	2,31	6,33	11,59	9,38	1,69	5,76	5,51	0,96	5,92	9,57	12,62	8,08	9,38	8,08	7,90	6,25	5,30
	0,8	16,83	6,25	17,14	31,36	25,40	4,57	15,59	14,92	2,61	16,03	25,91	34,16	21,87	25,40	21,87	21,39	16,92	14,33
	1,3	27,55	10,24	28,06	51,33	41,57	7,48	25,52	24,43	4,27	26,24	42,41	55,92	35,80	41,57	35,80	35,01	27,70	23,46
	1,8	38,33	14,24	39,04	71,42	57,85	10,41	35,51	33,99	5,94	36,51	59,02	77,81	49,81	57,85	49,81	48,71	38,54	32,65
390	0,3	6,04	2,33	6,26	11,38	9,31	1,66	5,70	5,45	0,96	5,90	9,26	12,35	7,70	9,23	7,70	7,57	6,09	5,25
	0,8	16,35	6,31	16,95	30,81	25,19	4,51	15,42	14,75	2,59	15,96	25,06	33,42	20,85	24,98	20,85	20,48	16,47	14,20
	1,3	26,77	10,34	27,75	50,43	41,23	7,38	25,24	24,15	4,24	26,12	41,02	54,70	34,12	40,89	34,12	33,53	26,97	23,25
	1,8	37,24	14,38	38,61	70,18	57,38	10,26	35,12	33,60	5,91	36,35	57,08	76,11	47,48	56,89	47,48	46,65	37,52	32,34
450	0,3	5,89	2,35	6,20	11,21	9,24	1,64	5,64	5,40	0,95	5,87	9,00	12,12	7,39	9,10	7,39	7,29	5,95	5,21
	0,8	15,95	6,37	16,79	30,35	25,01	4,45	15,27	14,61	2,58	15,90	24,35	32,79	20,01	24,62	20,01	19,73	16,10	14,09
	1,3	26,11	10,42	27,48	49,68	40,95	7,29	25,00	23,91	4,23	26,03	39,87	53,67	32,75	40,31	32,75	32,30	26,36	23,06
	1,8	36,34	14,50	38,24	69,12	56,97	10,14	34,78	33,27	5,88	36,21	55,47	74,68	45,57	56,08	45,57	44,95	36,67	32,09
510	0,3	5,77	2,37	6,15	11,07	9,19	1,63	5,60	5,35	0,95	5,86	8,78	11,92	7,13	8,98	7,13	7,06	5,83	5,17
	0,8	15,61	6,42	16,65	29,95	24,86	4,40	15,14	14,48	2,57	15,85	23,75	32,25	19,30	24,32	19,30	19,10	15,78	13,99
	1,3	25,56	10,50	27,25	49,03	40,69	7,21	24,79	23,71	4,21	25,94	38,88	52,79	31,60	39,81	31,60	31,27	25,83	22,90
	1,8	35,56	14,61	37,92	68,22	56,62	10,03	34,49	32,99	5,86	36,09	54,10	73,46	43,96	55,39	43,96	43,51	35,95	31,87
570	0,3	5,66	2,39	6,11	10,94	9,14	1,61	5,55	5,31	0,95	5,84	8,58	11,74	6,91	8,89	6,91	6,86	5,73	5,14
	0,8	15,31	6,46	16,53	29,60	24,72	4,36	15,03	14,37	2,56	15,80	23,23	31,78	18,70	24,05	18,70	18,56	15,50	13,90
	1,3	25,07	10,57	27,05	48,45	40,47	7,14	24,61	23,53	4,19	25,86	38,03	52,02	30,60	39,37	30,60	30,38	25,38	22,76
	1,8	34,88	14,71	37,64	67,42	56,32	9,94	34,24	32,73	5,83	35,99	52,92	72,39	42,58	54,78	42,58	42,27	35,31	31,67
630	0,3	5,56	2,40	6,07	10,82	9,09	1,60	5,52	5,27	0,94	5,82	8,41	11,59	6,71	8,80	6,71	6,68	5,64	5,11
	0,8	15,05	6,50	16,42	29,29	24,60	4,33	14,93	14,27	2,55	15,76	22,77	31,36	18,17	23,81	18,17	18,08	15,26	13,83
	1,3	24,64	10,63	26,87	47,94	40,27	7,08	24,44	23,36	4,18	25,80	37,28	51,34	29,74	38,98	29,74	29,60	24,98	22,63
	1,8	34,28	14,80	37,39	66,71	56,04	9,85	34,01	32,51	5,82	35,89	51,87	71,43	41,38	54,23	41,38	41,19	34,75	31,49

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Arg = Arginina; Hist = histidina; Isol = isoleucina; Leu = leucina; Lis = lisina; Met = metionina; Fen = fenilalanina; Treo = treonina; Trip = triptofano; Vali = valina; Alan = alanina; Asp = ácido aspártico; Cist = cistina; Glut = ácido glutâmico; Glic = glicina; Proli = prolina; Seri = serina; Tiro = tirosina.

Tabela 17.11a - Exigências nutricionais de bovinos de corte, **FÊMEAS**, **CRUZADAS DE LEITE** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	CMS	Cons. Água[1], L		Energia			Proteína					
kg	kg	kg	Verão	Inverno	EM, Mcal	NDT, kg	NDT, %	PDR, g	PNDR, g	PB, g	PB, %	PDR, % PB	PNDR, % PB
210	0,3	3,0	8,8	10,5	8,5	2,3	74,4	253	129	382	12,6	66,2	33,8
	0,8	4,8	9,7	11,4	12,3	3,3	69,5	384	175	559	11,7	68,7	31,3
	1,3	6,0	10,3	12,0	16,3	4,4	72,5	507	228	736	12,2	69,0	31,0
	1,8	6,8	10,6	12,4	20,3	5,4	79,3	622	289	911	13,5	68,3	31,7
270	0,3	4,0	11,5	13,2	10,1	2,7	67,9	308	143	452	11,3	68,3	31,7
	0,8	5,7	12,3	14,0	14,4	3,9	67,9	449	195	644	11,2	69,7	30,3
	1,3	7,0	12,9	14,6	18,9	5,1	72,5	581	255	836	12,0	69,5	30,5
	1,8	7,7	13,3	15,0	23,5	6,2	80,2	703	324	1026	13,3	68,5	31,5
330	0,3	4,9	14,0	15,7	11,6	3,2	64,2	361	160	521	10,6	69,3	30,7
	0,8	6,6	14,8	16,5	16,5	4,4	66,9	512	221	733	11,0	69,8	30,2
	1,3	7,9	15,4	17,1	21,5	5,7	72,7	652	292	945	12,0	69,1	30,9
	1,8	8,7	15,8	17,5	26,5	7,0	80,9	781	373	1154	13,3	67,7	32,3
390	0,3	5,8	16,4	18,1	13,1	3,6	61,8	407	170	578	10,0	70,6	29,4
	0,8	7,5	17,2	18,9	18,4	5,0	66,2	563	230	793	10,6	71,0	29,0
	1,3	8,8	17,8	19,5	23,9	6,4	72,9	706	301	1006	11,5	70,1	29,9
	1,8	9,5	18,2	19,9	29,5	7,8	81,6	835	383	1218	12,8	68,6	31,4
450	0,3	6,6	18,7	20,4	14,5	4,0	60,1	450	177	628	9,5	71,7	28,3
	0,8	8,4	19,5	21,2	20,3	5,5	65,8	607	231	838	10,0	72,4	27,6
	1,3	9,6	20,1	21,8	26,3	7,0	73,1	749	298	1046	10,9	71,6	28,4
	1,8	10,4	20,5	22,2	32,3	8,5	82,3	875	377	1252	12,1	69,9	30,1
510	0,3	7,4	20,9	22,6	15,9	4,4	58,8	490	185	676	9,1	72,6	27,4
	0,8	9,2	21,7	23,4	22,2	6,0	65,5	648	234	882	9,6	73,5	26,5
	1,3	10,4	22,3	24,1	28,6	7,6	73,3	788	296	1085	10,4	72,7	27,3
	1,8	11,2	22,7	24,4	35,1	9,3	82,9	911	374	1284	11,5	70,9	29,1
570	0,3	8,2	23,0	24,8	17,3	4,8	57,9	528	194	722	8,8	73,2	26,8
	0,8	10,0	23,9	25,6	24,0	6,5	65,2	686	238	924	9,3	74,3	25,7
	1,3	11,2	24,5	26,2	30,9	8,2	73,6	824	297	1121	10,0	73,5	26,5
	1,8	12,0	24,9	26,6	37,9	10,0	83,4	942	373	1315	11,0	71,6	28,4
630	0,3	9,0	25,1	26,9	18,7	5,1	57,2	565	203	768	8,5	73,6	26,4
	0,8	10,7	26,0	27,7	25,8	7,0	65,1	722	242	964	9,0	74,9	25,1
	1,3	12,0	26,6	28,3	33,1	8,8	73,8	857	299	1157	9,7	74,1	25,9
	1,8	12,7	27,0	28,7	40,6	10,7	83,9	969	375	1344	10,6	72,1	27,9

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; CMS = consumo de matéria seca; EM = energia metabolizável; NDT = nutrientes digestíveis totais; PB = proteína bruta; PDR = proteína degradável no rúmen; PNDR = proteína não degradável no rúmen. [1]Inverno = 22°C de temperatura máxima e 65% de umidade relativa do ar; Verão = 29°C de temperatura máxima e 79% de umidade relativa do ar.

Tabela 17.11b - Exigências de minerais para bovinos de corte, **FÊMEAS**, **CRUZADAS DE LEITE** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio	GMD	Macrominerais, g							Microminerais, mg							
kg	kg	Ca	P	Ca/P	Mg	Na	K	S	Cu	Co	Cr	Fe	Mn	Mo	Se	Zn
210	0,3	10,62	7,10	1,50	3,74	4,69	11,25	3,93	29,98	3,28	8,09	855,63	91,29	1,40	2,04	147,31
	0,8	21,36	12,07	1,77	4,16	6,60	13,04	5,81	34,52	3,30	11,42	879,38	96,13	1,43	2,78	219,29
	1,3	32,21	17,10	1,88	4,58	8,53	14,84	7,70	39,10	3,32	14,79	903,37	101,03	1,46	3,53	292,01
	1,8	43,13	22,15	1,95	5,01	10,47	16,66	9,61	43,72	3,35	18,18	927,50	105,95	1,48	4,28	365,16
270	0,3	11,34	8,10	1,40	4,72	5,69	14,25	5,03	38,03	4,21	10,19	1097,05	117,24	1,80	2,49	188,31
	0,8	21,19	12,75	1,66	5,11	7,57	16,20	7,42	42,99	4,23	14,12	1122,38	123,25	1,83	3,21	279,00
	1,3	31,15	17,45	1,78	5,51	9,47	18,18	9,83	48,00	4,26	18,09	1147,97	129,32	1,86	3,95	370,63
	1,8	41,17	22,18	1,86	5,91	11,38	20,16	12,25	53,04	4,28	22,08	1173,71	135,42	1,89	4,69	462,80
330	0,3	12,19	9,15	1,33	5,70	6,69	17,25	6,13	46,04	5,15	12,26	1338,33	143,17	2,19	2,94	229,12
	0,8	21,39	13,56	1,58	6,08	8,55	19,34	9,02	51,37	5,17	16,74	1364,99	150,30	2,23	3,66	338,19
	1,3	30,69	18,02	1,70	6,46	10,43	21,45	11,94	56,75	5,19	21,27	1391,93	157,51	2,26	4,38	448,38
	1,8	40,04	22,50	1,78	6,84	12,32	23,57	14,88	62,16	5,21	25,82	1419,03	164,76	2,30	5,11	559,23
390	0,3	13,13	10,24	1,28	6,69	7,70	20,23	7,23	54,04	6,08	14,32	1579,50	169,08	2,59	3,39	269,76
	0,8	21,82	14,45	1,51	7,05	9,54	22,45	10,62	59,69	6,10	19,31	1607,34	177,31	2,63	4,10	396,95
	1,3	30,60	18,71	1,64	7,41	11,40	24,68	14,04	65,39	6,12	24,36	1635,46	185,62	2,66	4,81	525,43
	1,8	39,43	23,00	1,71	7,78	13,27	26,93	17,48	71,14	6,14	29,43	1663,74	193,99	2,70	5,53	654,68
450	0,3	14,12	11,34	1,25	7,68	8,71	23,21	8,33	62,01	7,01	16,36	1820,60	194,98	2,98	3,85	310,28
	0,8	22,39	15,40	1,45	8,03	10,53	25,53	12,21	67,95	7,03	21,84	1849,48	204,28	3,02	4,55	455,35
	1,3	30,75	19,49	1,58	8,38	12,37	27,88	16,13	73,96	7,06	27,38	1878,65	213,68	3,06	5,25	601,91
	1,8	39,16	23,62	1,66	8,73	14,23	30,24	20,07	80,00	7,08	32,95	1908,00	223,13	3,10	5,96	749,33
510	0,3	10,51	12,45	0,84	8,67	9,72	26,18	9,42	69,97	7,94	18,38	2061,64	220,87	3,38	4,30	350,69
	0,8	10,51	16,38	0,64	9,01	11,53	28,61	13,79	76,18	7,97	24,33	2091,46	231,22	3,42	4,99	513,45
	1,3	10,51	20,34	0,52	9,35	13,36	31,06	18,21	82,46	7,99	30,34	2121,59	241,68	3,46	5,69	677,88
	1,8	10,51	24,33	0,43	9,69	15,19	33,52	22,65	88,77	8,01	36,39	2151,89	252,20	3,51	6,40	843,29
570	0,3	11,74	11,35	1,03	9,66	10,73	29,15	10,52	77,92	8,88	20,40	2302,64	246,75	3,78	4,76	390,99
	0,8	11,74	11,35	1,03	9,99	12,53	31,67	15,38	84,38	8,90	26,80	2333,32	258,13	3,82	5,44	571,29
	1,3	11,74	11,35	1,03	10,32	14,34	34,22	20,28	90,91	8,92	33,26	2364,32	269,63	3,86	6,14	753,42
	1,8	11,74	11,35	1,03	10,65	16,17	36,78	25,22	97,47	8,94	39,76	2395,50	281,20	3,91	6,84	936,65
630	0,3	12,98	12,54	1,03	10,66	11,74	32,12	11,61	85,86	9,81	22,40	2543,60	272,61	4,17	5,21	431,22
	0,8	12,98	12,54	1,03	10,97	13,53	34,72	16,95	92,55	9,83	29,23	2575,08	285,01	4,22	5,89	628,89
	1,3	12,98	12,54	1,03	11,30	15,33	37,36	22,35	99,31	9,85	36,13	2606,88	297,54	4,26	6,58	828,58
	1,8	12,98	12,54	1,03	11,62	17,15	40,01	27,78	106,11	9,88	43,07	2638,87	310,14	4,31	7,28	1029,47

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Ca = cálcio; P = fósforo; Ca/P = relação cálcio/ fósforo; Mg = magnésio; Na = sódio; K = potássio; S = enxofre; Cu = cobre; Co = cobalto; Cr = cromo; Fe = ferro; Mn = manganês; Mo = molibdênio; Se = selênio; Zn = zinco.

Tabela 17.11c - Exigências de aminoácidos metabolizáveis para ganho de peso em bovinos de corte, **FÊMEAS**, **CRUZADAS DE LEITE** em sistema de **CONFINAMENTO**

PC médio kg	GMD kg	Essenciais, g										Não essenciais, g							
		Arg	Hist	Isol	Leu	Lis	Met	Fen	Treo	Trip	Vali	Alan	Asp	Cist	Glut	Glic	Proli	Seri	Tiro
330	0,3	6,20	2,31	6,33	11,57	9,38	1,69	5,75	5,51	0,96	5,92	9,54	12,60	8,04	9,37	8,04	7,87	6,24	5,29
	0,8	16,78	6,26	17,12	31,30	25,38	4,56	15,57	14,91	2,61	16,02	25,83	34,09	21,77	25,35	21,77	21,30	16,87	14,32
	1,3	27,47	10,25	28,03	51,24	41,54	7,47	25,49	24,40	4,27	26,23	42,28	55,80	35,63	41,50	35,63	34,86	27,62	23,44
	1,8	38,23	14,26	39,00	71,30	57,80	10,39	35,47	33,95	5,93	36,50	58,82	77,64	49,58	57,75	49,58	48,51	38,44	32,62
390	0,3	6,02	2,34	6,26	11,36	9,30	1,66	5,69	5,44	0,96	5,89	9,23	12,32	7,66	9,21	7,66	7,53	6,07	5,24
	0,8	16,30	6,32	16,93	30,75	25,17	4,50	15,40	14,73	2,59	15,95	24,97	33,34	20,74	24,93	20,74	20,39	16,43	14,19
	1,3	26,68	10,35	27,71	50,34	41,20	7,36	25,21	24,12	4,24	26,11	40,88	54,57	33,95	40,81	33,95	33,37	26,89	23,22
	1,8	37,13	14,40	38,56	70,04	57,32	10,25	35,07	33,56	5,90	36,33	56,88	75,93	47,24	56,79	47,24	46,43	37,41	32,31
450	0,3	5,87	2,36	6,20	11,19	9,23	1,64	5,64	5,39	0,95	5,87	8,96	12,08	7,35	9,08	7,35	7,25	5,93	5,20
	0,8	15,90	6,38	16,77	30,29	24,99	4,44	15,25	14,59	2,58	15,89	24,26	32,71	19,90	24,58	19,90	19,64	16,05	14,07
	1,3	26,03	10,44	27,45	49,58	40,91	7,27	24,97	23,88	4,22	26,01	39,71	53,54	32,57	40,23	32,57	32,14	26,27	23,04
	1,8	36,21	14,52	38,19	68,98	56,92	10,12	34,74	33,23	5,88	36,20	55,26	74,49	45,32	55,98	45,32	44,72	36,56	32,05
510	0,3	5,75	2,37	6,14	11,04	9,18	1,62	5,59	5,34	0,95	5,85	8,74	11,88	7,09	8,97	7,09	7,02	5,81	5,16
	0,8	15,56	6,42	16,63	29,88	24,83	4,40	15,12	14,46	2,57	15,84	23,66	32,16	19,19	24,27	19,19	19,00	15,73	13,97
	1,3	25,46	10,51	27,22	48,92	40,65	7,20	24,76	23,67	4,21	25,93	38,72	52,65	31,41	39,72	31,41	31,10	25,75	22,87
	1,8	35,43	14,63	37,87	68,07	56,57	10,01	34,45	32,94	5,85	36,07	53,88	73,26	43,71	55,27	43,71	43,28	35,83	31,83
570	0,3	5,64	2,39	6,10	10,91	9,13	1,61	5,55	5,30	0,95	5,83	8,55	11,71	6,87	8,87	6,87	6,82	5,71	5,13
	0,8	15,26	6,47	16,50	29,53	24,70	4,35	15,01	14,35	2,56	15,79	23,13	31,69	18,58	24,00	18,58	18,46	15,45	13,89
	1,3	24,98	10,58	27,01	48,34	40,43	7,13	24,57	23,49	4,19	25,85	37,87	51,87	30,41	39,28	30,41	30,21	25,29	22,73
	1,8	34,75	14,73	37,59	67,27	56,26	9,92	34,19	32,68	5,83	35,97	52,69	72,18	42,32	54,66	42,32	42,04	35,19	31,63
630	0,3	5,54	2,40	6,06	10,80	9,08	1,60	5,51	5,27	0,94	5,82	8,38	11,55	6,67	8,78	6,67	6,64	5,62	5,10
	0,8	14,99	6,50	16,39	29,22	24,58	4,32	14,91	14,25	2,55	15,75	22,67	31,27	18,05	23,76	18,05	17,98	15,20	13,81
	1,3	24,54	10,65	26,83	47,83	40,23	7,07	24,41	23,33	4,18	25,78	37,11	51,18	29,55	38,89	29,55	29,43	24,89	22,60
	1,8	34,15	14,81	37,33	66,55	55,98	9,83	33,96	32,46	5,81	35,87	51,64	71,22	41,11	54,11	41,11	40,95	34,63	31,45

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Arg = Arginina; Hist = histidina; Isol = isoleucina; Leu = leucina; Lis = lisina; Met = metionina; Fen = fenilalanina; Treo = treonina; Trip = triptofano; Vali = valina; Alan = alanina; Asp = ácido aspártico; Cist = cistina; Glut = ácido glutâmico; Glic = glicina; Proli = prolina; Seri = serina; Tiro = tirosina.

Tabela 17.12a - Exigências nutricionais de bovinos de corte, **MACHOS NÃO CASTRADOS**, **ZEBUÍNOS** em sistema de **PASTO**

PC médio	GMD	CMS	Cons. Água[1], L		Energia			Proteína					
kg	kg	kg	Verão	Inverno	EM, Mcal	NDT, kg	NDT, %	PDR, g	PNDR, g	PB, g	PB, %	PDR, % PB	PNDR, % PB
210	0,3	3,5	9,0	10,8	8,4	2,3	65,2	261	141	402	11,5	64,8	35,2
	0,8	5,0	9,8	11,5	11,4	3,1	62,6	374	199	573	11,5	65,3	34,7
	1,3	6,0	10,3	12,0	14,6	4,0	66,0	484	260	744	12,4	65,0	35,0
	1,8	6,6	10,5	12,3	17,9	4,8	73,1	589	326	916	14,0	64,4	35,6
270	0,3	4,5	11,7	13,4	9,9	2,7	60,9	315	160	475	10,6	66,4	33,6
	0,8	5,9	12,4	14,1	13,2	3,6	61,0	435	223	658	11,1	66,1	33,9
	1,3	6,9	12,9	14,6	16,7	4,5	65,3	551	291	842	12,1	65,4	34,6
	1,8	7,5	13,2	14,9	20,4	5,5	72,6	662	363	1025	13,6	64,5	35,5
330	0,3	5,4	14,2	15,9	11,4	3,1	58,2	366	179	546	10,2	67,1	32,9
	0,8	6,8	14,9	16,6	14,9	4,1	59,9	493	251	744	10,9	66,2	33,8
	1,3	7,8	15,4	17,1	18,8	5,1	64,8	615	328	943	12,0	65,2	34,8
	1,8	8,4	15,7	17,4	22,8	6,1	72,4	732	410	1141	13,6	64,1	35,9
390	0,3	6,2	16,6	18,3	12,7	3,5	56,4	414	200	614	9,9	67,5	32,5
	0,8	7,7	17,3	19,0	16,6	4,5	59,1	547	280	827	10,8	66,1	33,9
	1,3	8,7	17,8	19,5	20,7	5,6	64,5	675	366	1041	12,0	64,9	35,1
	1,8	9,3	18,1	19,8	25,1	6,7	72,2	797	457	1254	13,5	63,5	36,5
450	0,3	7,1	18,9	20,6	14,0	3,9	55,1	456	212	668	9,5	68,3	31,7
	0,8	8,5	19,6	21,3	18,1	5,0	58,5	589	288	877	10,3	67,1	32,9
	1,3	9,5	20,1	21,8	22,6	6,1	64,2	717	370	1087	11,4	66,0	34,0
	1,8	10,1	20,4	22,1	27,3	7,3	72,1	837	458	1295	12,8	64,6	35,4
510	0,3	7,9	21,1	22,8	15,3	4,2	54,1	496	225	720	9,2	68,8	31,2
	0,8	9,3	21,8	23,5	19,7	5,4	58,0	629	297	926	9,9	67,9	32,1
	1,3	10,3	22,3	24,0	24,4	6,6	64,0	756	375	1130	10,9	66,8	33,2
	1,8	10,9	22,6	24,3	29,4	7,9	72,1	874	460	1334	12,2	65,5	34,5
570	0,3	8,6	23,2	25,0	16,5	4,6	53,3	533	238	771	8,9	69,2	30,8
	0,8	10,1	24,0	25,7	21,2	5,8	57,6	666	306	972	9,6	68,5	31,5
	1,3	11,1	24,4	26,2	26,2	7,1	63,9	791	381	1173	10,5	67,5	32,5
	1,8	11,7	24,7	26,5	31,5	8,4	72,0	907	464	1371	11,7	66,2	33,8
630	0,3	9,4	25,3	27,1	17,7	4,9	52,6	569	251	821	8,7	69,4	30,6
	0,8	10,9	26,0	27,8	22,6	6,2	57,3	701	316	1018	9,4	68,9	31,1
	1,3	11,9	26,5	28,3	27,9	7,6	63,8	825	388	1213	10,2	68,0	32,0
	1,8	12,4	26,8	28,6	33,5	9,0	72,0	938	469	1407	11,3	66,7	33,3

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; CMS = consumo de matéria seca; EM = energia metabolizável; NDT = nutrientes digestíveis totais; PB = proteína bruta; PDR = proteína degradável no rúmen; PNDR = proteína não degradável no rúmen. [1]Inverno = 22°C de temperatura máxima e 65% de umidade relativa do ar; Verão = 29°C de temperatura máxima e 79% de umidade relativa do ar.

Tabela 17.12b - Exigências de minerais para bovinos de corte, **MACHOS NÃO CASTRADOS**, **ZEBUÍNOS** em sistema de **PASTO**

PC médio	GMD	Macrominerais, g							Microminerais, mg							
kg	kg	Ca	P	Ca/P	Mg	Na	K	S	Cu	Co	Cr	Fe	Mn	Mo	Se	Zn
210	0,3	9,91	6,71	1,48	3,78	4,48	11,23	3,91	29,96	3,28	8,06	855,56	91,24	1,40	2,04	146,52
	0,8	19,44	11,02	1,76	4,28	6,04	13,01	5,75	34,46	3,30	11,35	879,18	96,00	1,43	2,78	217,15
	1,3	29,07	15,38	1,89	4,79	7,61	14,79	7,61	39,02	3,32	14,68	903,05	100,81	1,45	3,53	288,50
	1,8	38,75	19,76	1,96	5,30	9,19	16,59	9,48	43,60	3,35	18,02	927,05	105,65	1,48	4,28	360,28
270	0,3	10,48	7,68	1,36	4,78	5,43	14,18	4,99	37,99	4,21	10,14	1096,92	117,14	1,79	2,49	186,71
	0,8	18,87	11,62	1,62	5,28	6,87	16,01	7,30	42,90	4,23	13,99	1122,04	122,98	1,83	3,22	274,67
	1,3	27,34	15,59	1,75	5,79	8,33	17,85	9,64	47,85	4,26	17,87	1147,41	128,88	1,86	3,95	363,54
	1,8	35,87	19,59	1,83	6,30	9,80	19,71	11,99	52,83	4,28	21,78	1172,93	134,81	1,89	4,69	452,93
330	0,3	11,24	8,71	1,29	5,78	6,40	17,12	6,06	46,00	5,15	12,19	1338,15	143,02	2,19	2,94	226,62
	0,8	18,81	12,37	1,52	6,28	7,76	18,99	8,84	51,24	5,17	16,54	1364,52	149,89	2,23	3,66	331,43
	1,3	26,47	16,06	1,65	6,79	9,13	20,88	11,64	56,54	5,19	20,94	1391,17	156,83	2,26	4,39	437,31
	1,8	34,17	19,78	1,73	7,30	10,51	22,79	14,45	61,87	5,21	25,37	1417,97	163,82	2,29	5,12	543,82
390	0,3	12,11	9,78	1,24	6,78	7,38	20,06	7,14	53,98	6,08	14,22	1579,28	168,87	2,59	3,39	266,30
	0,8	19,07	13,22	1,44	7,28	8,67	21,97	10,36	59,52	6,10	19,05	1606,75	176,75	2,62	4,10	387,57
	1,3	26,10	16,70	1,56	7,79	9,97	23,90	13,62	65,13	6,12	23,93	1634,50	184,70	2,66	4,82	510,07
	1,8	33,18	20,19	1,64	8,30	11,28	25,84	16,89	70,77	6,15	28,84	1662,42	192,70	2,70	5,54	633,31
450	0,3	13,06	10,87	1,20	7,78	8,37	22,99	8,20	61,94	7,01	16,24	1820,35	194,71	2,98	3,85	305,79
	0,8	19,53	14,14	1,38	8,28	9,60	24,94	11,87	67,76	7,03	21,51	1848,79	203,56	3,02	4,55	443,20
	1,3	26,07	17,43	1,50	8,79	10,85	26,90	15,58	73,64	7,06	26,84	1877,52	212,49	3,06	5,26	582,01
	1,8	32,65	20,75	1,57	9,30	12,10	28,88	19,31	79,55	7,08	32,20	1906,43	221,47	3,10	5,98	721,65
510	0,3	14,06	11,98	1,17	8,77	9,36	25,92	9,27	69,89	7,94	18,24	2061,35	220,54	3,38	4,30	345,13
	0,8	20,14	15,10	1,33	9,28	10,55	27,90	13,38	75,96	7,97	23,94	2090,68	230,33	3,42	5,00	498,40
	1,3	26,27	18,25	1,44	9,79	11,75	29,89	17,53	82,09	7,99	29,70	2120,30	240,22	3,46	5,70	653,25
	1,8	32,45	21,42	1,51	10,30	12,96	31,90	21,70	88,26	8,01	35,49	2150,10	250,16	3,50	6,41	809,01
570	0,3	11,74	11,35	1,03	9,77	10,35	28,85	10,33	77,83	8,88	20,23	2302,32	246,35	3,78	4,76	384,32
	0,8	11,74	11,35	1,03	10,28	11,50	30,85	14,87	84,13	8,90	26,34	2332,44	257,07	3,82	5,45	553,23
	1,3	11,74	11,35	1,03	10,79	12,66	32,88	19,46	90,49	8,92	32,51	2362,88	267,89	3,86	6,15	723,87
	1,8	11,74	11,35	1,03	11,30	13,83	34,91	24,08	96,89	8,94	38,71	2393,50	278,78	3,90	6,85	895,52
630	0,3	12,98	12,54	1,03	10,77	11,35	31,78	11,39	85,76	9,81	22,21	2543,24	272,16	4,17	5,21	423,40
	0,8	12,98	12,54	1,03	11,28	12,47	33,81	16,36	92,27	9,83	28,71	2574,11	283,78	4,22	5,90	607,73
	1,3	12,98	12,54	1,03	11,79	13,59	35,85	21,38	98,85	9,85	35,27	2605,30	295,52	4,26	6,59	793,95
	1,8	12,98	12,54	1,03	12,30	14,73	37,92	26,44	105,47	9,88	41,88	2636,68	307,33	4,31	7,29	981,28

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Ca = cálcio; P = fósforo; Ca/P = relação cálcio/ fósforo; Mg = magnésio; Na = sódio; K = potássio; S = enxofre; Cu = cobre; Co = cobalto; Cr = cromo; Fe = ferro; Mn = manganês; Mo = molibdênio; Se = selênio; Zn = zinco.

Tabela 17.12c - Exigências de aminoácidos metabolizáveis para ganho de peso em bovinos de corte, **MACHOS NÃO CASTRADOS**, **ZEBUÍNOS** em sistema de **PASTO**

PC médio kg	GMD kg	Essenciais, g										Não essenciais, g							
		Arg	Hist	Isol	Leu	Lis	Met	Fen	Treo	Trip	Vali	Alan	Asp	Cist	Glut	Glic	Proli	Seri	Tiro
330	0,3	6,25	2,31	6,34	11,62	9,40	1,69	5,77	5,52	0,96	5,93	9,63	12,67	8,14	9,41	8,14	7,96	6,28	5,30
	0,8	16,91	6,24	17,17	31,45	25,43	4,58	15,62	14,95	2,61	16,04	26,05	34,29	22,04	25,47	22,04	21,54	16,99	14,36
	1,3	27,68	10,22	28,11	51,48	41,63	7,50	25,57	24,47	4,27	26,26	42,65	56,13	36,08	41,69	36,08	35,26	27,82	23,50
	1,8	38,52	14,22	39,11	71,63	57,93	10,43	35,57	34,05	5,94	36,54	59,34	78,09	50,21	58,00	50,21	49,06	38,71	32,70
390	0,3	6,08	2,33	6,28	11,43	9,32	1,67	5,71	5,46	0,96	5,90	9,32	12,40	7,78	9,26	7,78	7,63	6,12	5,26
	0,8	16,45	6,30	16,99	30,92	25,23	4,52	15,45	14,79	2,60	15,97	25,23	33,57	21,05	25,06	21,05	20,66	16,56	14,23
	1,3	26,93	10,32	27,81	50,62	41,30	7,40	25,30	24,21	4,25	26,15	41,30	54,95	34,46	41,03	34,46	33,83	27,11	23,29
	1,8	37,47	14,35	38,70	70,43	57,47	10,29	35,20	33,68	5,91	36,38	57,47	76,46	47,95	57,08	47,95	47,07	37,73	32,41
450	0,3	5,94	2,35	6,22	11,26	9,26	1,65	5,66	5,41	0,95	5,88	9,07	12,18	7,48	9,13	7,48	7,37	5,99	5,22
	0,8	16,06	6,35	16,83	30,48	25,06	4,47	15,31	14,65	2,58	15,92	24,55	32,96	20,24	24,72	20,24	19,94	16,20	14,12
	1,3	26,30	10,40	27,56	49,89	41,03	7,31	25,06	23,98	4,23	26,05	40,19	53,96	33,13	40,47	33,13	32,64	26,53	23,11
	1,8	36,59	14,47	38,34	69,42	57,09	10,17	34,88	33,36	5,89	36,25	55,92	75,08	46,10	56,31	46,10	45,42	36,91	32,16
510	0,3	5,81	2,36	6,17	11,12	9,21	1,63	5,61	5,37	0,95	5,86	8,86	11,99	7,23	9,03	7,23	7,14	5,87	5,18
	0,8	15,73	6,40	16,70	30,09	24,92	4,42	15,19	14,53	2,57	15,87	23,97	32,44	19,55	24,43	19,55	19,33	15,90	14,03
	1,3	25,76	10,47	27,34	49,26	40,79	7,24	24,86	23,78	4,21	25,97	39,24	53,11	32,01	39,99	32,01	31,64	26,02	22,96
	1,8	35,84	14,57	38,04	68,54	56,75	10,07	34,60	33,09	5,86	36,14	54,60	73,90	44,54	55,64	44,54	44,03	36,21	31,95
570	0,3	5,71	2,38	6,13	10,99	9,16	1,62	5,57	5,33	0,95	5,85	8,67	11,82	7,01	8,93	7,01	6,95	5,77	5,15
	0,8	15,45	6,44	16,58	29,76	24,79	4,38	15,08	14,42	2,57	15,82	23,46	31,99	18,97	24,17	18,97	18,80	15,63	13,94
	1,3	25,29	10,54	27,14	48,71	40,57	7,17	24,69	23,61	4,20	25,90	38,41	52,37	31,05	39,56	31,05	30,78	25,58	22,82
	1,8	35,18	14,66	37,77	67,78	56,45	9,98	34,35	32,85	5,84	36,04	53,45	72,87	43,20	55,05	43,20	42,83	35,60	31,76
630	0,3	5,61	2,39	6,09	10,88	9,11	1,61	5,54	5,29	0,95	5,83	8,51	11,67	6,82	8,85	6,82	6,78	5,69	5,12
	0,8	15,19	6,47	16,48	29,46	24,67	4,35	14,99	14,33	2,56	15,78	23,02	31,59	18,45	23,94	18,45	18,34	15,39	13,87
	1,3	24,87	10,60	26,97	48,22	40,38	7,11	24,53	23,45	4,19	25,83	37,68	51,71	30,20	39,19	30,20	30,02	25,19	22,70
	1,8	34,61	14,75	37,53	67,09	56,19	9,90	34,13	32,63	5,83	35,94	52,43	71,95	42,03	54,53	42,03	41,77	35,06	31,59

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Arg = Arginina; Hist = histidina; Isol = isoleucina; Leu = leucina; Lis = lisina; Met = metionina; Fen = fenilalanina; Treo = treonina; Trip = triptofano; Vali = valina; Alan = alanina; Asp = ácido aspártico; Cist = cistina; Glut = ácido glutâmico; Glic = glicina; Proli = prolina; Seri = serina; Tiro = tirosina.

Tabela 17.12d – Exigências liquidas de **AMINOÁCIDOS** para **MANTENÇA** de bovinos de corte

PC médio kg	PMm	PLm	Essenciais, g										Não essenciais, g							
			Arg	Hist	Isol	Leu	Lis	Met	Fen	Treo	Trip	Vali	Alan	Asp	Cist	Glut	Glic	Proli	Seri	Tiro
330	273,1	129,4	5,97	3,75	5,29	9,93	8,06	1,63	5,15	6,71	3,52	6,85	6,07	6,15	3,34	14,64	6,61	12,67	6,78	4,69
390	310,1	147,0	6,78	4,26	6,01	11,27	9,16	1,85	5,85	7,61	4,00	7,78	6,89	6,98	3,79	16,63	7,51	14,39	7,70	5,32
450	345,8	163,9	7,56	4,75	6,70	12,57	10,21	2,07	6,52	8,49	4,46	8,67	7,69	7,79	4,23	18,54	8,38	16,05	8,59	5,93
510	380,4	180,3	8,31	5,23	7,37	13,83	11,23	2,27	7,18	9,34	4,91	9,54	8,46	8,56	4,65	20,39	9,21	17,65	9,45	6,53
570	414,0	196,2	9,05	5,69	8,03	15,05	12,23	2,47	7,81	10,17	5,34	10,38	9,20	9,32	5,06	22,19	10,03	19,21	10,28	7,10
630	446,8	211,8	9,76	6,14	8,66	16,24	13,19	2,67	8,43	10,97	5,76	11,20	9,93	10,06	5,46	23,95	10,82	20,73	11,10	7,67

*PC = peso corporal; PMm = proteína metabolizável de mantença; PLm = proteína liquída de mantença; Arg = Arginina; Hist = histidina; Isol = isoleucina; Leu = leucina; Lis = lisina; Met = metionina; Fen = fenilalanina; Treo = treonina; Trip = triptofano; Vali = valina; Alan = alanina; Asp = ácido aspártico; Cist = cistina; Glut = ácido glutâmico; Glic = glicina; Proli = prolina; Seri = serina; Tiro = tirosina.

TABELAS PARA VACAS DE CORTE LACTANTES E SEUS BEZERROS

Nas Tabelas 17.13 a 17.16 estão descritas as exigências nutricionais para vacas de corte lactantes e seus bezerros de acordo com as equações propostas no capítulo 12. Para as vacas, foram incluídos valores de peso corporal, ganho médio diário e semana de lactação variando de 400 a 500kg, 0,10 a 0,20 kg/dia e 2 a 18 semanas, respectivamente. Ressalta-se que os valores para vacas multíparas e primíparas estão apresentados em Tabelas diferentes. A composição média do leite considerada foi: 3,56% PB, 4,56% lactose e 4,76% gordura.

As Tabelas para bezerros lactentes foram desenvolvidas considerando animais com peso corporal médio, produção de leite da mãe e ganho médio diário variando de 100 a 250 kg, 5 a 11 kg e 0,2 a 0,8 kg/dia, respectivamente. Semelhantemente ao apresentado na seção anterior, as exigências nutricionais descritas podem ser utilizadas diretamente para formulação de dietas de acordo com a categoria e os níveis de desempenhos.

As Tabelas de exemplos de cálculos de exigências para bezerros são novas ferramentas, importantes na formulação de dietas para essa categoria animal. No entanto, é importante ressaltar que certas informações referentes às exigências de bezerros com baixo ou médio ganho de peso (0,2; 0,4 e 0,6 kg/dia) e que são amamentados por vacas com maiores produções de leite (7 e 9 kg) foram retiradas das Tabelas. Essa exclusão foi realizada devido ao fato de que esses valores não representavam exemplos biologicamente plausíveis. A seleção adequada de dados é fundamental para garantir a confiabilidade das Tabelas e a obtenção de informações práticas e realistas para a nutrição de bezerros.

Tabela 17.13a - Exigências nutricionais de **VACAS PRIMÍPARAS** lactantes

PC médio kg	Semana de lactação	Produção de Leite, Kg	CMS kg	GMD kg	Energia			Proteína					
					EMt, Mcal	NDT, kg	NDT, %	PDR, g	PNDR, g	PB, g	PB, %	PDR, % PB	PNDR, % PB
400	2	6,21	6,0	0,10	18,4	4,9	80,6	612	362	974	16,1	62,8	37,2
				0,20	19,3	5,1	84,1	636	375	1011	16,7	62,9	37,1
	6	6,00	7,3	0,10	18,2	4,9	67,4	610	351	961	13,2	63,5	36,5
				0,20	19,1	5,1	70,3	634	364	998	13,7	63,5	36,5
	10	5,71	7,7	0,10	17,9	4,9	63,1	601	340	941	12,2	63,9	36,1
				0,20	18,7	5,1	65,9	625	353	978	12,7	63,9	36,1
	14	5,42	8,0	0,10	17,5	4,8	59,8	591	329	920	11,5	64,2	35,8
				0,20	18,4	5,0	62,5	615	342	958	11,9	64,2	35,8
	18	5,14	8,3	0,10	17,2	4,7	56,8	582	319	900	10,8	64,6	35,4
				0,20	18,1	5,0	59,3	606	332	938	11,2	64,6	35,4
450	2	6,21	6,8	0,10	19,4	5,2	76,0	644	376	1020	15,0	63,1	36,9
				0,20	20,3	5,4	79,2	667	389	1056	15,5	63,2	36,8
	6	6,00	8,2	0,10	19,2	5,2	63,7	642	364	1006	12,3	63,8	36,2
				0,20	20,1	5,4	66,3	666	377	1043	12,7	63,8	36,2
	10	5,71	8,6	0,10	18,9	5,2	59,8	633	353	987	11,4	64,2	35,8
				0,20	19,8	5,4	62,2	657	366	1023	11,8	64,2	35,8
	14	5,42	9,0	0,10	18,6	5,1	56,7	624	342	967	10,7	64,6	35,4
				0,20	19,4	5,3	59,1	648	355	1003	11,1	64,6	35,4
	18	5,14	9,4	0,10	18,2	5,1	53,9	615	331	947	10,1	65,0	35,0
				0,20	19,1	5,3	56,2	639	344	983	10,5	65,0	35,0
500	2	6,21	7,6	0,10	20,4	5,5	72,3	674	391	1064	14,1	63,3	36,7
				0,20	21,3	5,7	75,2	697	403	1100	14,6	63,4	36,6
	6	6,00	9,1	0,10	20,2	5,5	60,6	673	378	1051	11,6	64,0	36,0
				0,20	21,1	5,7	63,1	696	391	1087	11,9	64,1	35,9
	10	5,71	9,6	0,10	19,9	5,5	57,0	665	367	1031	10,7	64,4	35,6
				0,20	20,8	5,7	59,3	688	379	1067	11,1	64,5	35,5
	14	5,42	10,0	0,10	19,5	5,4	54,1	656	356	1011	10,1	64,8	35,2
				0,20	20,5	5,6	56,3	679	368	1047	10,4	64,9	35,1
	18	5,14	10,4	0,10	19,2	5,4	51,5	647	344	991	9,5	65,3	34,7
				0,20	20,1	5,6	53,6	670	357	1027	9,8	65,3	34,7

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; CMS = consumo de matéria seca; EMt = energia metabolizável total; NDT = nutrientes digestíveis totais; PB = proteína bruta; PDR = proteína degradável no rúmen; PNDR = proteína não degradável no rúmen.

Tabela 17.13b - Exigências de minerais para **VACAS PRIMÍPARAS** lactantes

PC médio kg	Semana de lactação	Produção de Leite, Kg	GMD kg	Macrominerais, g							Microminerais, mg					
				Ca	P	Ca/P	Mg	Na	K	S	Cu	Co	Cr	Fe	Mn	Zn
400	2	6,21	0,10	21,6	15,6	1,4	7,9	10,4	28,6	8,4	69,9	7,9	38,0	1863	190	553
			0,20	22,9	16,1	1,4	8,0	10,6	28,7	9,1	71,0	7,9	38,9	1871	192	577
	6	6,00	0,10	21,2	15,3	1,4	7,9	10,3	28,3	8,3	69,3	7,8	37,1	1855	189	542
			0,20	22,5	15,9	1,4	7,9	10,5	28,4	9,0	70,4	7,8	38,1	1862	191	566
	10	5,71	0,10	20,6	15,0	1,4	7,8	10,1	27,9	8,2	68,6	7,7	35,9	1843	188	527
			0,20	22,0	15,6	1,4	7,9	10,4	28,0	8,9	69,7	7,7	36,9	1850	190	551
	14	5,42	0,10	20,1	14,7	1,4	7,8	10,0	27,4	8,1	67,8	7,7	34,8	1831	187	511
			0,20	21,4	15,2	1,4	7,8	10,2	27,6	8,8	68,9	7,7	35,7	1839	189	536
	18	5,14	0,10	19,5	14,3	1,4	7,7	9,8	27,0	8,0	67,0	7,6	33,6	1820	187	496
			0,20	20,9	14,9	1,4	7,8	10,1	27,2	8,7	68,1	7,6	34,5	1827	188	521
450	2	6,21	0,10	22,5	16,5	1,4	8,8	11,2	31,0	9,2	76,5	8,6	39,5	2064	211	581
			0,20	23,8	17,1	1,4	8,8	11,5	31,2	9,9	77,6	8,7	40,5	2071	213	608
	6	6,00	0,10	22,1	16,3	1,4	8,7	11,1	30,7	9,1	75,9	8,6	38,6	2055	210	570
			0,20	23,4	16,8	1,4	8,8	11,4	30,9	9,8	77,0	8,6	39,7	2063	212	597
	10	5,71	0,10	21,6	16,0	1,4	8,7	11,0	30,3	9,0	75,1	8,5	37,5	2044	210	554
			0,20	22,8	16,5	1,4	8,7	11,2	30,4	9,7	76,3	8,5	38,5	2051	211	581
	14	5,42	0,10	21,0	15,6	1,3	8,6	10,8	29,9	8,9	74,3	8,4	36,3	2032	209	539
			0,20	22,3	16,2	1,4	8,7	11,1	30,0	9,6	75,5	8,4	37,3	2039	210	566
	18	5,14	0,10	20,5	15,3	1,3	8,5	10,7	29,4	8,8	73,6	8,4	35,1	2020	208	524
			0,20	21,7	15,8	1,4	8,6	10,9	29,6	9,5	74,7	8,4	36,2	2028	209	551
500	2	6,21	0,10	23,5	17,5	1,3	9,6	12,1	33,4	9,9	83,0	9,4	41,0	2264	232	608
			0,20	24,7	18,0	1,4	9,6	12,3	33,6	10,7	84,2	9,4	42,1	2272	234	638
	6	6,00	0,10	23,1	17,3	1,3	9,5	12,0	33,1	9,8	82,4	9,4	40,2	2256	232	597
			0,20	24,3	17,8	1,4	9,6	12,2	33,3	10,6	83,6	9,4	41,3	2264	234	627
	10	5,71	0,10	22,5	16,9	1,3	9,5	11,8	32,7	9,7	81,7	9,3	39,0	2244	231	582
			0,20	23,7	17,4	1,4	9,5	12,1	32,9	10,5	82,8	9,3	40,1	2252	233	611
	14	5,42	0,10	22,0	16,6	1,3	9,4	11,7	32,3	9,6	80,9	9,2	37,8	2233	230	567
			0,20	23,2	17,1	1,4	9,5	11,9	32,5	10,4	82,1	9,2	38,9	2240	232	596
	18	5,14	0,10	21,4	16,3	1,3	9,4	11,5	31,9	9,5	80,1	9,1	36,6	2221	229	551
			0,20	22,6	16,8	1,3	9,4	11,8	32,0	10,3	81,3	9,1	37,8	2229	231	581

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Ca = cálcio; P = fósforo; Ca/P = relação cálcio/ fósforo; Mg = magnésio; Na = sódio; K = potássio; S = enxofre; Cu = cobre; Co = cobalto; Cr = cromo; Fe = ferro; Mn = manganês; Mo = molibdênio; Se = selênio; Zn = zinco.

Tabela 17.14a - Exigências nutricionais de **VACAS MULTÍPARAS** lactantes

PC médio kg	Semana de lactação	Produção de Leite, Kg	CMS kg	GMD kg	Energia			Proteína					
					EMt, Mcal	NDT, kg	NDT, %	PDR, g	PNDR, g	PB, g	PB, %	PDR, % PB	PNDR, % PB
400	2	7,35	6,8	0,10	19,7	5,2	77,0	659	397	1056	15,5	62,4	37,6
				0,20	20,6	5,4	80,1	682	411	1093	16,1	62,4	37,6
	6	7,39	8,2	0,10	19,8	5,4	65,3	666	393	1060	12,9	62,9	37,1
				0,20	20,6	5,6	67,8	689	407	1097	13,4	62,9	37,1
	10	6,99	8,5	0,10	19,3	5,3	61,7	653	379	1031	12,1	63,3	36,7
				0,20	20,2	5,5	64,2	676	392	1068	12,5	63,3	36,7
	14	6,58	8,8	0,10	18,9	5,2	58,9	639	364	1003	11,4	63,7	36,3
				0,20	19,7	5,4	61,2	662	378	1040	11,8	63,7	36,3
	18	6,18	9,0	0,10	18,4	5,1	56,2	625	350	975	10,8	64,1	35,9
				0,20	19,3	5,3	58,5	648	364	1012	11,2	64,1	35,9
450	2	7,35	7,7	0,10	20,7	5,5	72,5	690	411	1101	14,4	62,6	37,4
				0,20	21,6	5,8	75,3	713	425	1138	14,9	62,7	37,3
	6	7,39	9,2	0,10	20,8	5,7	61,5	698	407	1105	12,0	63,2	36,8
				0,20	21,7	5,9	63,8	721	421	1142	12,4	63,1	36,9
	10	6,99	9,6	0,10	20,3	5,6	58,2	685	392	1077	11,2	63,6	36,4
				0,20	21,2	5,8	60,4	708	406	1114	11,6	63,6	36,4
	14	6,58	9,9	0,10	19,9	5,5	55,6	671	378	1049	10,6	64,0	36,0
				0,20	20,8	5,7	57,8	694	391	1085	11,0	64,0	36,0
	18	6,18	10,2	0,10	19,4	5,4	53,2	658	363	1021	10,0	64,4	35,6
				0,20	20,3	5,6	55,3	681	376	1057	10,4	64,4	35,6
500	2	7,35	8,5	0,10	21,7	5,8	68,7	720	426	1146	13,5	62,8	37,2
				0,20	22,6	6,1	71,3	743	439	1182	13,9	62,9	37,1
	6	7,39	10,3	0,10	21,8	6,0	58,3	729	421	1150	11,2	63,4	36,6
				0,20	22,7	6,2	60,5	751	434	1186	11,6	63,4	36,6
	10	6,99	10,7	0,10	21,3	5,9	55,3	716	406	1122	10,5	63,8	36,2
				0,20	22,2	6,1	57,4	738	419	1158	10,8	63,8	36,2
	14	6,58	11,0	0,10	20,9	5,8	52,9	702	391	1094	10,0	64,2	35,8
				0,20	21,8	6,0	54,9	725	404	1129	10,3	64,2	35,8
	18	6,18	11,3	0,10	20,4	5,7	50,7	689	377	1066	9,4	64,7	35,3
				0,20	21,3	5,9	52,6	712	389	1101	9,7	64,6	35,4

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; CMS = consumo de matéria seca; EMt = energia metabolizável total; NDT = nutrientes digestíveis totais; PB = proteína bruta; PDR = proteína degradável no rúmen; PNDR = proteína não degradável no rúmen.

Tabela 17.14b - Exigências de minerais para **VACAS MULTÍPARAS** lactantes

PC médio kg	Semana de lactação	Produção de Leite, Kg	GMD kg	Macrominerais, g							Microminerais, mg					
				Ca	P	Ca/P	Mg	Na	K	S	Cu	Co	Cr	Fe	Mn	Zn
400	2	7,35	0,10	23,8	16,9	1,4	8,2	11,0	30,2	8,9	73,0	8,2	42,6	1910	194	614
			0,20	25,1	17,4	1,4	8,2	11,3	30,4	9,5	74,1	8,2	43,6	1917	195	638
	6	7,39	0,10	23,9	16,9	1,4	8,2	11,0	30,3	8,9	73,1	8,2	42,8	1911	194	616
			0,20	25,2	17,5	1,4	8,2	11,3	30,5	9,5	74,2	8,2	43,7	1919	195	640
	10	6,99	0,10	23,1	16,5	1,4	8,1	10,8	29,7	8,7	72,0	8,1	41,1	1895	192	594
			0,20	24,4	17,0	1,4	8,1	11,1	29,9	9,4	73,1	8,1	42,1	1902	194	619
	14	6,58	0,10	22,3	16,0	1,4	8,0	10,6	29,1	8,6	70,9	8,0	39,5	1879	191	573
			0,20	23,7	16,6	1,4	8,1	10,8	29,3	9,2	72,0	8,0	40,5	1886	193	597
	18	6,18	0,10	21,5	15,5	1,4	7,9	10,4	28,5	8,4	69,8	7,9	37,8	1862	190	551
			0,20	22,9	16,1	1,4	8,0	10,6	28,7	9,1	70,9	7,9	38,8	1869	191	576
450	2	7,35	0,10	24,7	17,8	1,4	9,0	11,9	32,6	9,6	79,6	9,0	44,2	2110	215	641
			0,20	26,0	18,4	1,4	9,0	12,1	32,8	10,3	80,7	9,0	45,2	2118	217	668
	6	7,39	0,10	24,8	17,9	1,4	9,0	11,9	32,7	9,6	79,7	9,0	44,3	2112	215	643
			0,20	26,1	18,4	1,4	9,0	12,1	32,9	10,3	80,8	9,0	45,4	2120	217	670
	10	6,99	0,10	24,0	17,4	1,4	8,9	11,7	32,1	9,5	78,6	8,9	42,7	2096	214	622
			0,20	25,3	18,0	1,4	9,0	11,9	32,3	10,2	79,7	8,9	43,7	2103	215	649
	14	6,58	0,10	23,3	17,0	1,4	8,8	11,4	31,5	9,3	77,5	8,7	41,0	2079	212	600
			0,20	24,5	17,5	1,4	8,9	11,7	31,7	10,0	78,6	8,8	42,1	2087	214	627
	18	6,18	0,10	22,5	16,5	1,4	8,8	11,2	31,0	9,2	76,4	8,6	39,4	2063	211	579
			0,20	23,7	17,0	1,4	8,8	11,5	31,1	9,9	77,5	8,6	40,4	2070	213	606
500	2	7,35	0,10	25,7	18,8	1,4	9,8	12,7	35,1	10,4	86,1	9,7	45,7	2311	236	669
			0,20	26,9	19,3	1,4	9,9	13,0	35,2	11,1	87,3	9,7	46,8	2319	238	698
	6	7,39	0,10	25,8	18,8	1,4	9,8	12,7	35,1	10,4	86,2	9,7	45,8	2313	236	671
			0,20	27,0	19,4	1,4	9,9	13,0	35,3	11,2	87,4	9,7	46,9	2320	238	700
	10	6,99	0,10	25,0	18,4	1,4	9,7	12,5	34,5	10,2	85,1	9,6	44,2	2296	235	649
			0,20	26,2	18,9	1,4	9,8	12,8	34,7	11,0	86,3	9,6	45,3	2304	237	679
	14	6,58	0,10	24,2	17,9	1,4	9,7	12,3	34,0	10,1	84,0	9,5	42,6	2280	234	628
			0,20	25,4	18,4	1,4	9,7	12,5	34,1	10,8	85,2	9,5	43,7	2287	235	658
	18	6,18	0,10	23,4	17,5	1,3	9,6	12,1	33,4	9,9	82,9	9,4	40,9	2263	232	607
			0,20	24,6	18,0	1,4	9,6	12,3	33,5	10,7	84,1	9,4	42,0	2271	234	636

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Ca = cálcio; P = fósforo; Ca/P = relação cálcio/ fósforo; Mg = magnésio; Na = sódio; K = potássio; S = enxofre; Cu = cobre; Co = cobalto; Cr = cromo; Fe = ferro; Mn = manganês; Mo = molibdênio; Se = selênio; Zn = zinco.

Tabela 17.15a - Exigências nutricionais de **BEZERROS** de corte lactentes com **100 e 150kg de PC**

PC médio, kg	Produção Leite, Kg	GMD kg	CMS leite, kg	CMS sólidos kg	CMS total, kg	Energia			Proteína					
						EMt, Mcal	NDT, kg	NDT, %	PDR, g	PNDR, g	PB, g	PB, %	PDR %PB	PNDR %PB
100	5,0	0,2	0,70	1,12	1,81	4,7	1,1	60,9	25	188	213	11,7	11,6	88,4
		0,4	0,70	1,19	1,88	5,6	1,3	70,1	51	221	271	14,4	18,6	81,4
		0,6	0,70	1,26	1,95	6,5	1,5	78,3	75	254	330	16,9	22,9	77,1
		0,8	0,70	1,33	2,02	7,3	1,7	85,6	100	289	388	19,2	25,7	74,3
	7,0	0,4	0,97	1,04	2,01	5,5	1,3	65,1	6	256	263	13,0	2,3	97,7
		0,6	0,97	1,11	2,08	6,4	1,5	72,7	31	290	321	15,4	9,5	90,5
		0,8	0,97	1,18	2,15	7,2	1,7	79,6	54	325	379	17,6	14,3	85,7
	9,0	0,8	1,25	1,03	2,28	7,2	1,7	74,4	9	361	370	16,2	2,5	97,5
150	5,0	0,2	0,70	1,65	2,35	6,3	1,5	64,1	30	244	274	11,7	10,9	89,1
		0,4	0,70	1,72	2,42	7,6	1,8	74,5	76	266	342	14,2	22,3	77,7
		0,6	0,70	1,79	2,49	8,8	2,1	83,9	121	289	410	16,5	29,5	70,5
		0,8	0,70	1,86	2,56	10,0	2,4	92,5	164	313	477	18,7	34,4	65,6
	7,0	0,4	0,97	1,57	2,55	7,6	1,8	70,3	19	312	330	13,0	5,7	94,3
		0,6	0,97	1,64	2,62	8,7	2,1	79,1	64	335	398	15,2	16,0	84,0
		0,8	0,97	1,71	2,69	9,9	2,3	87,2	108	358	466	17,4	23,1	76,9
	9,0	0,6	1,25	1,49	2,75	8,7	2,1	74,8	6	381	387	14,1	1,6	98,4
		0,8	1,25	1,56	2,82	9,8	2,3	82,5	50	404	455	16,1	11,0	89,0

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; CMS = consumo de matéria seca; EMt = energia metabolizável total; NDT = nutrientes digestíveis totais; PB = proteína bruta; PDR = proteína degradável no rúmen; PNDR = proteína não degradável no rúmen.

Tabela 17.15b - Exigências de minerais para **BEZERROS** de corte lactentes com **100 e 150kg de PC**

PC médio, kg	Produção de Leite, Kg	GMD, kg	Macrominerais, g					
			Ca	P	Ca/P	Mg	Na	K
100	5,0	0,4	5,1	4,0	1,3	1,8	2,3	5,3
		0,6	8,1	6,1	1,3	2,0	2,8	5,8
		0,8	11,1	8,1	1,4	2,2	3,4	6,2
		1,0	14,1	10,2	1,4	2,4	3,9	6,7
	7,0	0,6	8,1	6,1	1,3	2,0	2,8	5,8
		0,8	11,1	8,1	1,4	2,2	3,4	6,2
		1,0	14,1	10,2	1,4	2,4	3,9	6,7
	9,0	1,0	14,1	10,2	1,4	2,4	3,9	6,7
150	5,0	0,4	5,6	5,0	1,1	2,7	3,1	7,8
		0,6	8,2	7,0	1,2	2,8	3,7	8,2
		0,8	10,8	9,0	1,2	3,0	4,2	8,7
		1,0	13,3	11,1	1,2	3,2	4,8	9,1
	7,0	0,6	8,2	7,0	1,2	2,8	3,7	8,2
		0,8	10,8	9,0	1,2	3,0	4,2	8,7
		1,0	13,3	11,1	1,2	3,2	4,8	9,1
	9,0	0,8	10,8	9,0	1,2	3,0	4,2	8,7
		1,0	13,3	11,1	1,2	3,2	4,8	9,1

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Ca = cálcio; P = fósforo; Ca/P = relação cálcio/ fósforo; Mg = magnésio; Na = sódio; K = potássio.

Tabela 17.16a - Exigências nutricionais de **BEZERROS** de corte lactentes com **200 e 250kg de PC**

PC médio kg	Produção de Leite, Kg	GMD kg	CMS leite, kg	CMS sólidos, kg	CMS kg	Energia			Proteína					
						EMt, Mcal	NDT, kg	NDT, %	PDR, g	PNDR, g	PB, g	PB, %	PDR, %PB	PNDR, %PB
200	5,0	0,2	0,70	2,18	2,88	7,9	1,9	65,0	82	259	341	11,8	24,0	76,0
		0,4	0,70	2,25	2,95	9,5	2,2	76,0	136	280	416	14,1	32,6	67,4
		0,6	0,70	2,32	3,02	11,0	2,6	86,1	320	198	518	17,2	61,7	38,3
		0,8	0,70	2,39	3,09	12,4	2,9	95,4	238	328	567	18,3	42,0	58,0
	7,0	0,2	0,97	2,04	3,01	7,9	1,9	61,9	25	304	329	10,9	7,6	92,4
		0,4	0,97	2,11	3,08	9,4	2,2	72,4	80	326	405	13,2	19,6	80,4
		0,6	0,97	2,18	3,15	10,9	2,6	82,0	213	284	497	15,8	42,9	57,1
		0,8	0,97	2,25	3,22	12,4	2,9	90,9	183	373	556	17,3	32,9	67,1
	9,0	0,4	1,25	1,96	3,21	9,4	2,2	69,1	22	371	394	12,3	5,7	94,3
		0,6	1,25	2,03	3,28	10,8	2,6	78,3	75	394	469	14,3	16,1	83,9
		0,8	1,25	2,10	3,35	12,3	2,9	86,7	127	418	544	16,3	23,3	76,7
	11,0	0,6	1,53	1,88	3,41	10,8	2,6	74,8	18	440	458	13,4	3,9	96,1
		0,8	1,53	1,95	3,48	12,2	2,9	82,9	70	463	533	15,3	13,1	86,9
250	5,0	0,2	0,70	2,72	3,41	9,4	2,2	64,9	130	275	405	11,9	32,1	67,9
		0,4	0,70	2,79	3,48	11,2	2,7	76,3	192	297	489	14,0	39,2	60,8
		0,6	0,70	2,86	3,55	13,0	3,1	86,8	250	322	573	16,1	43,7	56,3
		0,8	0,70	2,93	3,62	14,8	3,5	96,6	307	349	656	18,1	46,8	53,2
	7,0	0,2	0,97	2,57	3,54	9,3	2,2	62,3	74	319	393	11,1	18,8	81,2
		0,4	0,97	2,64	3,61	11,2	2,6	73,2	136	342	478	13,2	28,5	71,5
		0,6	0,97	2,71	3,68	12,9	3,1	83,2	196	366	562	15,3	34,9	65,1
		0,8	0,97	2,78	3,75	14,7	3,5	92,6	253	392	645	17,2	39,2	60,8
	9,0	0,2	1,25	2,42	3,67	9,3	2,2	59,9	17	365	382	10,4	4,5	95,5
		0,4	1,25	2,49	3,74	11,1	2,6	70,4	80	386	467	12,5	17,2	82,8
		0,6	1,25	2,56	3,81	12,9	3,0	79,9	140	410	551	14,4	25,5	74,5
		0,8	1,25	2,63	3,88	14,6	3,4	88,9	198	436	634	16,3	31,3	68,7
	11,0	0,4	1,53	2,34	3,87	11,1	2,6	67,7	23	432	455	11,8	5,1	94,9
		0,6	1,53	2,41	3,94	12,8	3,0	76,9	84	455	539	13,7	15,6	84,4
		0,8	1,53	2,48	4,01	14,5	3,4	85,5	143	481	623	15,5	22,9	77,1

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; CMS = consumo de matéria seca; EMt = energia metabolizável total; NDT = nutrientes digestíveis totais; PB = proteína bruta; PDR = proteína degradável no rúmen; PNDR = proteína não degradável no rúmen.

Tabela 17.16b - Exigências de minerais para **BEZERROS** de corte lactentes com **200 e 250kg de PC**

PC médio, kg	Produção de Leite, Kg	GMD, kg	Macrominerais, g					
			Ca	P	Ca/P	Mg	Na	K
200	5,0	0,2	6,4	0,1	56,3	3,5	4,0	10,1
		0,4	8,7	0,1	58,8	3,7	4,5	10,6
		0,6	11,0	0,2	61,0	3,8	5,1	11,1
		0,8	13,2	0,2	63,0	4,0	5,6	11,5
	7,0	0,2	6,4	0,1	62,6	3,5	4,0	10,2
		0,4	8,7	0,1	65,2	3,7	4,5	10,6
		0,6	11,0	0,2	67,5	3,8	5,1	11,1
		0,8	13,2	0,2	69,5	4,0	5,6	11,5
	9,0	0,4	8,7	0,1	71,6	3,7	4,5	10,6
		0,6	11,0	0,1	73,9	3,8	5,1	11,1
		0,8	13,2	0,2	76,0	4,0	5,6	11,5
	11,0	0,6	11,0	0,1	80,4	3,8	5,1	11,1
		0,8	13,2	0,2	82,5	4,0	5,6	11,5
250	5,0	0,2	7,2	0,1	79,2	4,3	4,8	12,7
		0,4	9,3	0,1	80,9	4,5	5,3	13,1
		0,6	11,4	0,1	82,6	4,7	5,9	13,5
		0,8	13,5	0,2	84,2	4,8	6,5	13,9
	7,0	0,2	7,2	0,1	85,3	4,3	4,8	12,7
		0,4	9,3	0,1	87,1	4,5	5,3	13,1
		0,6	11,4	0,1	88,8	4,7	5,9	13,5
		0,8	13,5	0,1	90,4	4,8	6,5	13,9
	9,0	0,2	7,2	0,1	91,5	4,3	4,8	12,7
		0,4	9,3	0,1	93,2	4,5	5,3	13,1
		0,6	11,4	0,1	94,9	4,7	5,9	13,5
		0,8	13,5	0,1	96,6	4,8	6,5	13,9
	11,0	0,4	9,3	0,1	99,4	4,5	5,3	13,1
		0,6	11,4	0,1	101,1	4,7	5,9	13,5
		0,8	13,5	0,1	102,7	4,8	6,5	13,9

*PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Ca = cálcio; P = fósforo; Ca/P = relação cálcio/ fósforo; Mg = magnésio; Na = sódio; K = potássio.