Alexandre Stanquini

Uma Modelagem Matemática Aplicada à Logística de Transportes Visando o Deslocamento das Cargas com Custo Total Mínimo

EDITORA SCIENZA

Alexandre Stanquini

Uma Modelagem Matemática Aplicada à Logística de Transportes Visando o Deslocamento das Cargas com Custo Total Mínimo

SCIENZA EDITORA

2024

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.08.02.00-8 Pesquisa Operacional.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

So11a Stanquini, Alexandre

Uma Modelagem Matemática Aplicada à Logística de Transportes Visando o Deslocamento das Cargas com Custo Total Mínimo. Alexandre Stanquini – São Carlos : Editora Scienza, 2024.

20 p.

ISBN – 978-65-5668-193-1

DOI – http://dx.doi.org/10.26626/9786556681931.2024B0001

1. Distribuição de Cargas. 2. Pesquisa Operacional. 3. Programação Linear. 4. Otimização Combinatória. 5. Logística. I. Título.

CDD 510 - 600
Matemática - Tecnologia, ciências aplicadas

Elaborado por Editora Scienza
Índice para catálogo sistemático:
1. Matemática. 510 - 2. Tecnologia, ciências aplicadas. 600.

Revisão, Editoração, Ebook e Impressão:

EDITORA SCIENZA

Rua Juca Sabino, 21 – São Carlos, SP – (16) 9 9285-3689
www.editorascienza.com.br | gustavo@editorascienza.com

Resumo

Uma Modelagem Matemática Aplicada à Logística de Transportes Visando o Deslocamento das Cargas com Custo Total Mínimo

Este artigo tem o objetivo de analisar um caso hipotético de uma logística de transporte envolvendo deslocamento das cargas sob a ótica da pesquisa operacional. Para tanto o modelo será construído, resolvido e analisado, utilizando-se a ferramenta Visual Basic para Aplicativos no software Excel®.

Palavras-Chaves: Distribuição de Cargas; Pesquisa Operacional; Programação Linear; Otimização Combinatória.

Abstract

A Mathematical Modeling Applied to Transport Logisitcs Aiming at the Displacement of Loads With Minimum Total Cost

This paper aims to analyze a hypothetical case of a transport logistics involving displacement of the loads from the perspective of Operational Research. For both the model is built, solved and analyzed using the Visual Basic for Applications tool software in Excel®.

Keywords: *Load Distribution, Operations Research, Linear Programming, Combinatorial Optimization.*

Sumário

Introdução

O transporte pode ser a chave mestra para uma estratégia empresarial de sucesso, porque é capaz de auxiliar empresas e organizações na agregação e criação de valor ao cliente, provendo uma multiplicidade de maneiras para diferenciar a empresa da concorrência por meio de um serviço ágil, ou ainda, por meio da minimização de custos operacionais. Os custos de transporte, como sendo monetários de movimentação no espaço, possui um lugar especial na análise locacional. A tomada de decisão em uma organização é algo de grande responsabilidade, pois por meio desta pode-se definir como são escolhidas algumas ou apenas uma entre muitas alternativas para as ações a serem realizadas, haja vista que a preocupação com custos deve ser constante, já que se trata de um gasto que agrega valor aos produtos ou serviços. O propósito deste trabalho, além de minimizar o custo total do deslocamento das cargas dos locais de origem (polos produtores) para os locais de destino (polos consumidores), é proceder de forma a gerar uma distribuição ótima do produto, considerando que as quantidades produzidas/consumidas são diferentes em cada polo, necessitando um equacionamento adequado na distribuição.

O objetivo é determinar (criar) um modelo matemático para o planejamento ideal na realização do transporte, utilizando a pesquisa operacional. Um modelo que minimize o custo (gasto) total das cargas transpostas, através de planilhas eletrônicas do software Excel® e a ferramenta *Visual Basic for Applications_VBA*[1] O enfoque será no que é tarefa da transportadora contratada para a realização do transporte: a modelagem do problema e a análise de sua resposta.

1 A sigla VBA significa *Visual Basic for Applications*, ou Visual Basic para aplicativos em português. VBA vem de VB (Visual Basic). O Visual Basic é uma linguagem de programação desenvolvida pela Microsoft, uma linguagem de programação serve basicamente para você criar programas de computadores, criar sites, aplicativos para smartphones, além de otimização e automatização de tarefas.

Método

Para a solução de problemas de logística de transporte, neste trabalho será utilizado um caso hipotético para demonstrar aplicabilidade da modelagem matemática desenvolvida e o uso da ferramenta *VBA* no Excel®. O caso de uma transportadora que faz uso de caminhões de 10 toneladas, deverá buscar produtos em 6(seis) cidades produtoras e levar para 9(nove) cidades consumidoras, com o custo total mínimo. A representação semiótica criada nesta modelagem, implica na "**MATRIZ GASTO**" com o transporte, formada por "linhas produtoras" e "colunas consumidoras". Iremos considerar dois detalhes importantes neste caso: as toneladas de produtos produzidas e consumidas são diferentes para cada polo e o valor do frete (*unidade monetária*) por tonelada transportada(t) sendo fator previamente definido (calculado) pela transportadora dentre as hipóteses (possibilidades) de deslocamento (origem/destino) na matriz em questão. A técnica de otimização utilizada para a distribuição em questão é o método de programação inteira chamada de "***Branch and Bound*** [2](ββ)".

Modelo

Uma transportadora contratada para a realização do transporte de produtos, deverá buscar produtos em 6(seis) cidades produtoras (*Ata, Bora, Cota, Data, Eta e Fafa*) e levar para 9(nove) cidades consumidoras (*Ari, Tai, Urai, Rali, Sabi, Fui, Seci, Peri e Lara*) com o **custo total mínimo**. As quantidades produzidas do produto em cada cidade/polo são indicadas na Tabela 1 e as consumidas na Tabela 2.

2 O método de "B*ranch and Bound*" baseia-se na ideia de uma enumeração inteligente das soluções candidatas a solução ótima inteira de um problema, efetuando sucessivas partições do espaço das soluções e cortando a árvore de pesquisa através da consideração de limites calculados ao longo da enumeração.

Polos Produtores	Quantidade
Ata	400 t
Bora	260 t
Cota	200 t
Data	260 t
Eta	450 t
Fafa	350 t

Tabela 1 – Quantidades produzidas do produto.

Polos Consumidores	Quantidade
Ari	270 t
Tai	200 t
Urai	120 t
Rali	310 t
Sabi	280 t
Fui	240 t
Seci	310 t
Peri	280 t
Lara	240 t

Tabela 2 – Quantidades consumidas do produto.

Para simplificar a visualização do problema de transporte e a modelagem de suas variáveis, elaboramos na Figura 1, a “MATRIZ GASTO” com o Transporte dos Produtos, com as suas informações e iconografias necessárias.

		Cidades Consumidoras - Destino									
		Ari C = 1 **1**	Tai C = 2 **2**	Urai C = 3 **3**	Rali C = 4 **4**	Sabi C = 5 **5**	Fui C = 6 **6**	Seci C = 7 **7**	Peri C = 8 **8**	Lara C = 9 **9**	
Cidades Produtoras - Origem **Ata p = 1**	**1**	G(11) 20 um/t X_1	G(12) 40 um/t X_2	G(13) 10 um/t X_3	G(14) 30 um/t X_4	G(15) 60 um/t X_5	G(16) 70 um/t X_6	G(17) 80 um/t X_7	G(18) 90 um/t X_8	G(19) 50 um/t X_9	**400 t**
Bora p = 2	**2**	G(21) 50 um/t X_{10}	G(22) 60 um/t X_{11}	G(23) 80 um/t X_{12}	G(24) 20 um/t X_{13}	G(25) 10 um/t X_{14}	G(26) 70 um/t X_{15}	G(27) 90 um/t X_{16}	G(28) 30 um/t X_{17}	G(29) 40 um/t X_{18}	**260 t**
Cota p = 3	**3**	G(31) 90 um/t X19	G(32) 30 um/t X20	G(33) 50 um/t X21	G(34) 20 um/t X22	G(35) 70 um/t X23	G(36) 40 um/t X24	G(37) 10 um/t X25	G(38) 60 um/t X26	G(39) 80 um/t X27	**200 t**
Data p = 4	**4**	G(41) 80 um/t X28	G(42) 20 um/t X29	G(43) 30 um/t X30	G(44) 70 um/t X31	G(45) 40 um/t X32	G(46) 90 um/t X33	G(47) 10 um/t X34	G(48) 50 um/t X35	G(49) 60 um/t X36	**260 t**
Eta p = 5	**5**	G(51) 10 um/t X37	G(52) 80 um/t X38	G(53) 50 um/t X39	G(54) 60 um/t X40	G(55) 30 um/t X41	G(56) 70 um/t X42	G(57) 90 um/t X43	G(58) 40 um/t X44	G(59) 20 um/t X45	**450 t**
Fafa p = 6	**6**	G(61) 40 um/t X46	G(62) 60 um/t X47	G(63) 90 um/t X48	G(64) 80 um/t X49	G(65) 20 um/t X50	G(66) 10 um/t X51	G(67) 70 um/t X52	G(68) 30 um/t X43	G(69) 50 um/t X54	**350 t**
		270 t	**200 t**	**120 t**	**310 t**	**280 t**	**240 t**	**230 t**	**90 t**	**180 t**	

Figura 1 – Matriz Gasto.

Modelagem Matemática

Rótulos Pertinentes ao Modelo Matemático

- **p** = ícone relativo às cidades produtoras.
- **c** = ícone relativo às cidades consumidoras.
- **G(pc)** = gasto com o transporte em um/t da cidade **p** para a cidade **c**.
- **QP(p)** = quantidade máxima de produto em toneladas (t) produzidas pela cidade **p**.

- **NC(c) =** quantidade máxima de produto em toneladas (t), consumidas pela cidade **c**.
- **T(pc)** = toneladas (t) de produto transportados da cidade **p** para a cidade **c**.
- **CT** = custo total de transporte em unidade monetária (u.m)

Função Objetivo (FO)

A função objetivo será a minimização do custo total do transporte.

$$\text{Min: } \mathbf{CT} = \sum_{p=1}^{6} \sum_{c=1}^{9} \mathbf{G}(pc) \,.\, \mathbf{T}(pc)$$

Minimizar a Função Custo de Transporte (CT)

Função Objetivo: Primeira Escrita

$$\mathbf{CT} = \sum_{p=1}^{6} \mathbf{G}(p1)\ \mathbf{T}(p1) + \sum_{p=1}^{6} \mathbf{G}(p2)\ \mathbf{T}(p2) + \sum_{p=1}^{6} \mathbf{G}(p3)\ \mathbf{T}(p3) +$$

$$+ \sum_{p=1}^{6} \mathbf{G}(p4)\ \mathbf{T}(p4) + \sum_{p=1}^{6} \mathbf{G}(p5)\ \mathbf{T}(p5) + \sum_{p=1}^{6} \mathbf{G}(p6)\ \mathbf{T}(p6) +$$

$$+ \sum_{p=1}^{6} \mathbf{G}(p7)\ \mathbf{T}(p7) + \sum_{p=1}^{6} \mathbf{G}(p8)\ \mathbf{T}(p8) + \sum_{p=1}^{6} \mathbf{G}(p9)\ \mathbf{T}(p9) +$$

Função Objetivo: Segunda Escrita

$$\mathbf{CT} = + G_{(11)}T_{(11)} + GT_{(12)} + G_{(13)}T_{(13)} + \ldots + G_{(19)}T_{(19)} +$$
$$+ G_{(21)}T_{(21)} + G_{(22)}T_{(22)} + G_{(23)}T_{(23)} + \ldots + G_{(29)}T_{(29)} +$$
$$+ G_{(31)}T_{(31)} + G_{(32)}T_{(32)} + G_{(33)}T_{(33)} + \ldots + G_{(39)}T_{(39)} +$$
$$+ G_{(41)}T_{(41)} + G_{(42)}T_{(42)} + G_{(43)}T_{(43)} + \ldots + G_{(49)}T_{(49)} +$$
$$+ G_{(51)}T_{(51)} + G_{(52)}T_{(52)} + G_{(53)}T_{(53)} + \ldots + G_{(59)}T_{(59)} +$$
$$+ G_{(61)}T_{(61)} + G_{(62)}T_{(62)} + G_{(63)}T_{(63)} + \ldots + G_{(69)}T_{(69)} +$$

Função Objetivo: Terceira Escrita

$$\mathbf{CT} = + 20T_{(11)} + 40T_{(12)} + 10T_{(13)} + 30T_{(14)} + 60T_{(15)} + 70T_{(16)} +$$
$$+ 80T_{(17)} + 90T_{(18)} + 50T_{(19)} + 50T_{(21)} + 60T_{(22)} + 80T_{(23)} +$$
$$+ 20T_{(24)} + 10T_{(25)} + 70T_{(26)} + 90T_{(27)} + 30T_{(28)} + 40T_{(29)} +$$
$$+ 90T_{(31)} + 30T_{(32)} + 50T_{(33)} + 20T_{(34)} + 70T_{(35)} + 40T_{(36)} +$$
$$+ 10T_{(37)} + 60T_{(38)} + 80T_{(39)} + 80T_{(41)} + 20T_{(42)} + 30T_{(43)} +$$
$$+ 70T_{(44)} + 40T_{(45)} + 90T_{(46)} + 10T_{(47)} + 50T_{(48)} + 60T_{(49)} +$$
$$+ 10T_{(51)} + 80T_{(52)} + 50T_{(53)} + 60T_{(54)} + 30T_{(55)} + 70T_{(56)} +$$
$$+ 90T_{(57)} + 40T_{(58)} + 20T_{(59)} + 40T_{(61)} + 60T_{(62)} + 90T_{(63)} +$$
$$+ 80T_{(64)} + 20T_{(65)} + 10T_{(66)} + 70T_{(67)} + 30T_{(68)} + 50T_{(69)} +$$

Função Objetivo: Quarta Escrita

$$\mathbf{CT} = + 20X_{1} + 40X_{2} + 10X_{3} + 30X_{4} + 60X_{5} + 70X_{6} + 80X_{7} + 90X_{8} +$$
$$+ 50X_{9} + 50X_{10} + 60X_{11} + 80X_{12} + 20X_{13} + 10X_{14} + 70X_{15} +$$
$$+ 90X_{16} + 30X_{17} + 40X_{18} + 90X_{19} + 30X_{20} + 50X_{21} + 20X_{22} +$$
$$+ 70X_{23} + 40X_{24} + 10X_{25} + 60X_{26} + 80X_{27} + 80X_{28} + 20X_{29} +$$
$$+ 30X_{30} + 70X_{31} + 40X_{32} + 90X_{33} + 10X_{34} + 50X_{35} + 60X_{36} +$$
$$+ 10X_{37} + 80X_{38} + 50X_{39} + 60X_{40} + 30X_{41} + 70X_{42} + 90X_{43} +$$
$$+ 40X_{44} + 20X_{45} + 40X_{46} + 60X_{47} + 90X_{48} + 80X_{49} + 20X_{50} +$$
$$+ 10X_{51} + 70X_{52} + 30X_{53} + 50X_{54} +$$

Restrições do Modelo _ Saída (Origem)

Toneladas Transportadas × Quantidades Produzidas

Para: p = 1 , 2 , 3 ... 6

$$\sum_{c=1}^{9} \mathbf{T}(pc) \geq \mathbf{QP}(p) = \mathbf{T}(p1) + \mathbf{T}(p2) + \mathbf{T}(p3) + ... + \mathbf{T}(pc) \geq \mathbf{QP}(p)$$

Restrições de Saída: Primeira Escrita

$\mathbf{T}(11) + \mathbf{T}(12) + \mathbf{T}(13) + \mathbf{T}(14) + \mathbf{T}(15) + \mathbf{T}(16) + \mathbf{T}(17) + ... + \mathbf{T}(19) \geq \mathbf{QP}(1)$

$\mathbf{T}(21) + \mathbf{T}(22) + \mathbf{T}(23) + \mathbf{T}(24) + \mathbf{T}(25) + \mathbf{T}(26) + \mathbf{T}(27) + ... + \mathbf{T}(29) \geq \mathbf{QP}(2)$

$\mathbf{T}(31) + \mathbf{T}(32) + \mathbf{T}(33) + \mathbf{T}(34) + \mathbf{T}(35) + \mathbf{T}(36) + \mathbf{T}(37) + ... + \mathbf{T}(39) \geq \mathbf{QP}(3)$

$\mathbf{T}(41) + \mathbf{T}(42) + \mathbf{T}(43) + \mathbf{T}(44) + \mathbf{T}(45) + \mathbf{T}(46) + \mathbf{T}(47) + ... + \mathbf{T}(49) \geq \mathbf{QP}(4)$

$\mathbf{T}(51) + \mathbf{T}(52) + \mathbf{T}(53) + \mathbf{T}(54) + \mathbf{T}(55) + \mathbf{T}(56) + \mathbf{T}(57) + ... + \mathbf{T}(59) \geq \mathbf{QP}(5)$

$\mathbf{T}(61) + \mathbf{T}(62) + \mathbf{T}(63) + \mathbf{T}(64) + \mathbf{T}(65) + \mathbf{T}(66) + \mathbf{T}(67) + ... + \mathbf{T}(69) \geq \mathbf{QP}(6)$

Restrições de Saída: Segunda Escrita

$\mathbf{X}_1 + \mathbf{X}_2 + \mathbf{X}_3 + \mathbf{X}_4 + \mathbf{X}_5 + \mathbf{X}_6 + \mathbf{X}_7 + \mathbf{X}_8 + \mathbf{X}_9 \geq \mathbf{400}$

$\mathbf{X}_{10} + \mathbf{X}_{11} + \mathbf{X}_{12} + \mathbf{X}_{13} + \mathbf{X}_{14} + \mathbf{X}_{15} + \mathbf{X}_{16} + \mathbf{X}_{17} + \mathbf{X}_{18} \geq \mathbf{260}$

$\mathbf{X}_{19} + \mathbf{X}_{20} + \mathbf{X}_{21} + \mathbf{X}_{22} + \mathbf{X}_{23} + \mathbf{X}_{24} + \mathbf{X}_{25} + \mathbf{X}_{26} + \mathbf{X}_{27} \geq \mathbf{200}$

$\mathbf{X}_{28} + \mathbf{X}_{29} + \mathbf{X}_{30} + \mathbf{X}_{31} + \mathbf{X}_{32} + \mathbf{X}_{33} + \mathbf{X}_{34} + \mathbf{X}_{35} + \mathbf{X}_{36} \geq \mathbf{260}$

$\mathbf{X}_{37} + \mathbf{X}_{38} + \mathbf{X}_{39} + \mathbf{X}_{40} + \mathbf{X}_{41} + \mathbf{X}_{42} + \mathbf{X}_{43} + \mathbf{X}_{44} + \mathbf{X}_{45} \geq \mathbf{450}$

$\mathbf{X}_{46} + \mathbf{X}_{47} + \mathbf{X}_{48} + \mathbf{X}_{49} + \mathbf{X}_{50} + \mathbf{X}_{51} + \mathbf{X}_{52} + \mathbf{X}_{53} + \mathbf{X}_{54} \geq \mathbf{350}$

Restrições Do Modelo _ Chegada (Destino)

Toneladas Transportadas × Quantidades Consumidas

Para: c = 1 , 2 , 3 ... 9

$$\sum_{c=1}^{9} \mathbf{T}(pc) \geq \mathbf{NC}(c) = \mathbf{T}(1c) + \mathbf{T}(2c) + \mathbf{T}(3c) + ... + \mathbf{T}(pc) \geq \mathbf{NC}(c)$$

Restrições de Chegada: Primeira Escrita

$$\mathbf{T}(11) + \mathbf{T}(21) + \mathbf{T}(31) + \mathbf{T}(41) + \mathbf{T}(51) + \mathbf{T}(61) \geq \mathbf{NC}(1)$$
$$\mathbf{T}(12) + \mathbf{T}(22) + \mathbf{T}(32) + \mathbf{T}(42) + \mathbf{T}(52) + \mathbf{T}(62) \geq \mathbf{NC}(2)$$
$$\mathbf{T}(13) + \mathbf{T}(23) + \mathbf{T}(33) + \mathbf{T}(43) + \mathbf{T}(53) + \mathbf{T}(63) \geq \mathbf{NC}(3)$$
$$\mathbf{T}(14) + \mathbf{T}(24) + \mathbf{T}(34) + \mathbf{T}(44) + \mathbf{T}(54) + \mathbf{T}(64) \geq \mathbf{NC}(4)$$
$$\mathbf{T}(15) + \mathbf{T}(25) + \mathbf{T}(35) + \mathbf{T}(45) + \mathbf{T}(55) + \mathbf{T}(65) \geq \mathbf{NC}(5)$$
$$\mathbf{T}(16) + \mathbf{T}(26) + \mathbf{T}(36) + \mathbf{T}(46) + \mathbf{T}(56) + \mathbf{T}(66) \geq \mathbf{NC}(6)$$
$$\mathbf{T}(17) + \mathbf{T}(27) + \mathbf{T}(37) + \mathbf{T}(47) + \mathbf{T}(57) + \mathbf{T}(67) \geq \mathbf{NC}(7)$$
$$\mathbf{T}(18) + \mathbf{T}(28) + \mathbf{T}(38) + \mathbf{T}(48) + \mathbf{T}(58) + \mathbf{T}(68) \geq \mathbf{NC}(8)$$
$$\mathbf{T}(19) + \mathbf{T}(29) + \mathbf{T}(39) + \mathbf{T}(49) + \mathbf{T}(59) + \mathbf{T}(69) \geq \mathbf{NC}(9)$$

Restrições de Chegada: Segunda Escrita

$$\mathbf{X}_1 + \mathbf{X}_{10} + \mathbf{X}_{19} + \mathbf{X}_{28} + \mathbf{X}_{37} + \mathbf{X}_{46} \geq \mathbf{270}$$
$$\mathbf{X}_2 + \mathbf{X}_{11} + \mathbf{X}_{20} + \mathbf{X}_{29} + \mathbf{X}_{38} + \mathbf{X}_{47} \geq \mathbf{200}$$
$$\mathbf{X}_3 + \mathbf{X}_{12} + \mathbf{X}_{21} + \mathbf{X}_{30} + \mathbf{X}_{39} + \mathbf{X}_{48} \geq \mathbf{120}$$
$$\mathbf{X}_4 + \mathbf{X}_{13} + \mathbf{X}_{22} + \mathbf{X}_{31} + \mathbf{X}_{40} + \mathbf{X}_{49} \geq \mathbf{310}$$
$$\mathbf{X}_5 + \mathbf{X}_{14} + \mathbf{X}_{23} + \mathbf{X}_{32} + \mathbf{X}_{41} + \mathbf{X}_{50} \geq \mathbf{280}$$
$$\mathbf{X}_6 + \mathbf{X}_{15} + \mathbf{X}_{24} + \mathbf{X}_{33} + \mathbf{X}_{42} + \mathbf{X}_{51} \geq \mathbf{240}$$
$$\mathbf{X}_7 + \mathbf{X}_{16} + \mathbf{X}_{25} + \mathbf{X}_{34} + \mathbf{X}_{43} + \mathbf{X}_{52} \geq \mathbf{230}$$
$$\mathbf{X}_8 + \mathbf{X}_{17} + \mathbf{X}_{26} + \mathbf{X}_{35} + \mathbf{X}_{44} + \mathbf{X}_{53} \geq \mathbf{090}$$
$$\mathbf{X}_9 + \mathbf{X}_{18} + \mathbf{X}_{27} + \mathbf{X}_{36} + \mathbf{X}_{45} + \mathbf{X}_{54} \geq \mathbf{180}$$

Solução Computacional (VBA) para o Modelo

No Microsoft Excel o VBA é encontrado em:

Página Inicial > Desenvolvedor > Visual Basic... > Inserir > Módulo

Resultado e Discussão

Todas as restrições e condições foram atendidas. Nada mais necessita ser alterado. O *VBA* respeita todas as restrições, sejam elas de saída(origem) ou chegada(destino), o valor apresentado no canto superior esquerdo (**F.O**), representa o custo ideal da operação de distribuição.

Os valores, Tabela 3, indicam os custos iniciais, ou seja, valor do frete (*unidade monetária*) por tonelada transportada(t). Na Tabela 4 (Restrições Transporte), os valores unitários são referentes à técnica de otimização utilizada (***Branch and Bound),*** portanto, o modelo não considera toneladas transportadas que não sejam valores inteiros (≥1), por fim, na Tabela 5 (Matriz Solução), os valores representam a solução do modelo matemático, caracterizando a distribuição ideal e de forma concomitante o custo ideal.

Função Objetivo: CT = 30.900 um

Coeficientes	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	20	40	10	30	60	70	80	90	50
2	50	60	80	20	10	70	90	30	40
3	90	30	50	20	70	40	10	60	80
4	80	20	30	70	40	90	10	50	60
5	10	80	50	60	30	70	90	40	20
6	40	60	90	80	20	10	70	30	50

Tabela 3 – Valor Frete/Tonelada Transportada.

Variáveis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	**400 t**
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	**260 t**
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	**200 t**
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	**260 t**
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	**450 t**
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	**350 t**
	270 t	**200 t**	**120 t**	**310 t**	**280 t**	**240 t**	**230 t**	**90 t**	**180 t**	

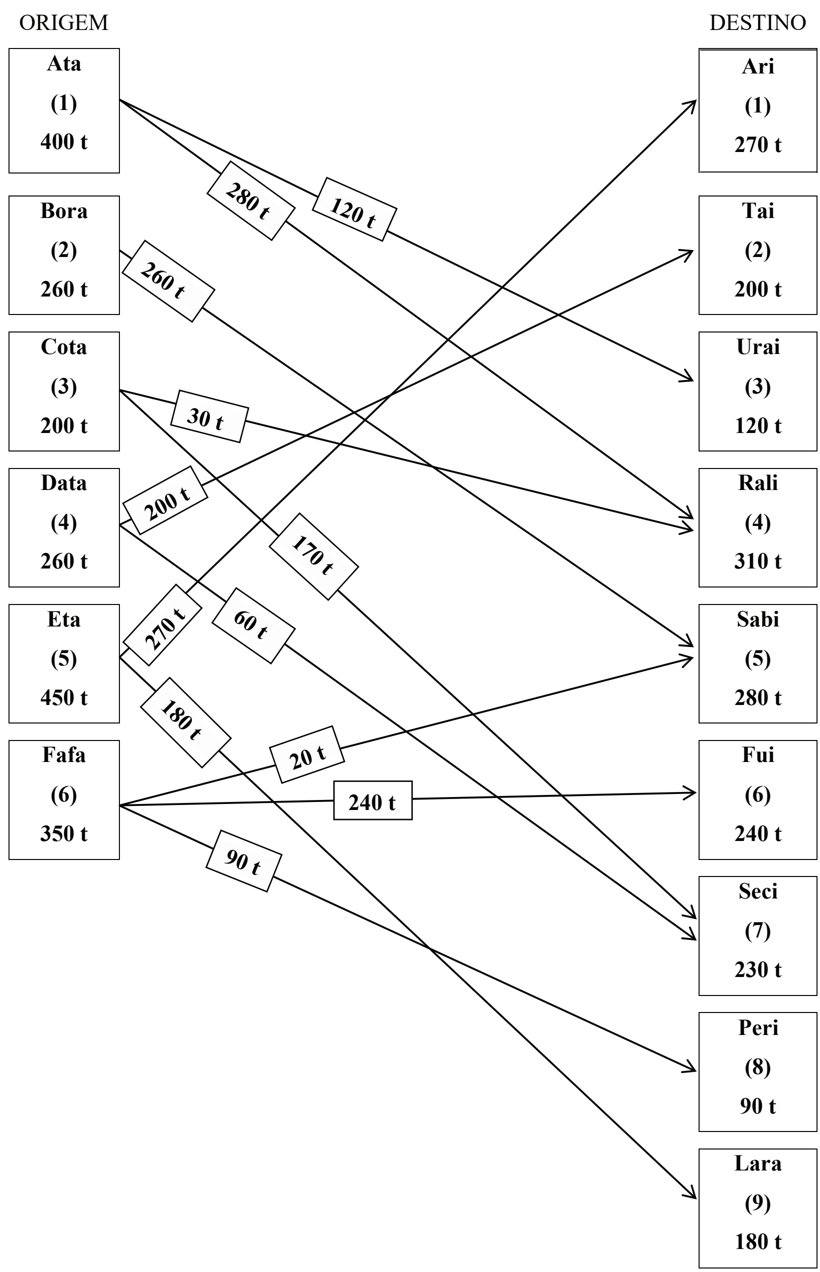
Tabela 4 – Restrições Transporte (***Branch and Bound***).

Variáveis	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0 t	0 t	**120 t**	**280 t**	0 t	0 t	0 t	0 t	0 t
2	0 t	0 t	0 t	0 t	**260 t**	0 t	0 t	0 t	0 t
3	0 t	0 t	0 t	**30 t**	0 t	0 t	**170 t**	0 t	0 t
4	0 t	**200 t**	0 t	0 t	0 t	0 t	**60 t**	0 t	0 t
5	**270 t**	0 t	0 t	0 t	0 t	0 t	0 t	0 t	**180 t**
6	0 t	0 t	0 t	0 t	**20 t**	**240 t**	0 t	**90 t**	0 t

Tabela 5 – Matriz Solução.

A solução apresentada pelo VBA através do modelo matemático desenvolvido é a melhor possível. O método computacional encontrou a melhor minimização de custo dentro das restrições de distribuição (origem/destino). Toda demanda foi contemplada e nenhum polo consumidor/produtor deixou de ser atendido.

Grafo Distributivo Ótimo do Modelo



Considerações Finais

Nosso propósito foi de, através de uma nova forma de visualização e entendimento da modelagem das variáveis e restrições, minimizar o impacto da complexidade dos cálculos matemáticos da programação linear, na solução de problemas de transporte ou até mesmo de redes de distribuição logísticas.

Apesar de não ser uma inovação a técnica de otimização através do uso da pesquisa operacional com utilização do computador, ainda não é bastante difundida para a solução dos problemas de transporte e de rede, devido à falta de conhecimento dos profissionais de logística e pelo fato de parecer complexo demais. Na verdade isso não passa de informação. A programação linear simplificada no processo da modelagem das variáveis, conjugada ao computador auxilia na criação e gerenciamento de cenários, possibilitando a redução de custos e o aumento na lucratividade de sistemas logísticos.

Referências

BALLOU, Ronald H. **Logística empresarial**: transportes, administração de materiais e distribuição física. São Paulo: Atlas, 1993.

CECATTO, C. **A importância do Supply Chain Management no desenvolvimento das empresas brasileiras.** Disponível em: <http://www.sebraepb.com.br:8080/bte/download/Gest%E3o/Log%EDstica/289_1_Arquivos_supchain.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2010.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos.** Estratégia para a Redução de Custos e Melhoria dos Serviços. São Paulo: Pioneira, 1997, 240p.

COLIN, EMERSON C. **Pesquisa operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas**, LTC, Rio de Janeiro. 2007.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa operacional na tomada de decisões** / 1. Ed. - São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

MARTINS, Petrônio Garcia; LAUGENI, Fernando Piero – **Administração da Produção** / 2. ed. rev. aum. e atual – São Paulo: Saraiva, 2005.

MARTOS, A.C. **Projeto de redes logísticas com consideração de estoques e modais**: aplicação de programação linear inteiro-mista à indústria petroquímica. São Paulo: EPUSP, Departamento de Engenharia de Produção. 98p. Dissertação (Mestrado). 2000.

REBELO, J. **Logística de carga no Brasil**: Como reduzir Custos Logísticos e Melhorar Eficiência? Sumário Executivo. Sustainable Development Department, World Bank. 2011.

ISBN 978-6556681931