

REDUÇÃO DE CUSTOS NO TRANSPORTE DE MADEIRA POR MEIO DE ROTEIRIZAÇÃO OTIMIZADA: UM ESTUDO DE CASO

COST SAVINGS ON WOOD TRANSPORTATION ROUTES THROUGH OPTIMIZED: A CASE STUDY

Luiz Enéias Zanetti Cardoso¹ Patricia Pinto Oliveira² Celso Fernandes Joaquim Junior³

RESUMO

A crescente competitividade dos mercados, a exigência cada vez maior dos padrões de qualidade e as expectativas da comunidade com relação ao meio ambiente são apontadas como fatores que tornam urgente a necessidade de se desenvolver e estudar processos de tomada de decisões com recursos de otimização, que apoiem a atividade de planejamento do transporte florestal de madeira. Atualmente, o transporte de madeira no Brasil é feito, principalmente, por meio do modal rodoviário, sendo este responsável, na maior parte das vezes, pela maior parcela do custo da madeira posto na fábrica. Trata-se de um setor que atualmente sofre pressão de aumento de custos em virtude da instalação de postos de pedágios nas rodovias, fiscalização mais rigorosa com relação a “Lei da Balança” e reajustes dos preços de combustíveis. Objetivando a minimização dos custos para o transporte, este trabalho apresenta um modelo matemático de otimização para o transporte de madeira da cidade de Bofete/SP para a cidade de Salto/SP, com veículos Bitrem e Tritrem, viabilizando um comparativo da rota convencional e otimizada. Na comparação dos valores de custos das rotas analisadas, constatou-se uma projeção de redução de custos de 13% ao mês no sistema otimizado, refletindo em uma economia mensal de aproximadamente 19 mil reais.

Palavras-chave: Roteirização. Menor Caminho. Programação Linear. Redução de custos.

ABSTRACT

The growing competitive markets, the increasing demand of quality standards and community expectations with regard to the environment are mentioned as factors that make an urgent need to develop and study the decision-making processes to optimize resources, to support the planning activity wood forest transport. Currently, timber transport in Brazil is done mainly through road transport, which is responsible, in most cases, the larger portion of the cost of wood set at the factory. A sector currently is under pressure from increasing costs due to the installation of toll stations on highways, closer monitoring with respect to "the Balance Law" and increases in fuel prices. Aimed at minimizing the costs for transportation, this paper presents a mathematical model of optimization for timber transport in the city of Bofete / SP for the city of Salto / SP, with Bitrem and Tritrem vehicles, enabling a comparative conventional route and optimized. In the comparison of the analyzed routes cost values , there was a cost-saving projection of 13 % per month in the optimized system, reflecting on a monthly saving of approximately 19 thousand.

Keywords: Routing. Lesser Road. Linear programming. Cost reduction.

^{1 3} Professor Faculdade de Tecnologia de Botucatu – FATEC. Av. José Ítalo Bacchi, s/n, Jardim Aeroporto, CEP 18609-085, Botucatu, SP, email: lcardoso@fatecbt.edu.br; cjunior@fatecbt.edu.br

² Faculdade de Tecnologia de Botucatu – FATEC. Av. José Ítalo Bacchi, s/n, Jardim Aeroporto, CEP 18609-085, Botucatu, SP, email: patriciapintodeoliveira@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

Apesar do alto custo do frete, o transporte rodoviário é o meio de transporte mais comum no território nacional. De acordo com Arnold (1999), comparado aos demais meios de transporte, o caminhão tem um custo de aquisição relativamente baixo, sendo o meio de transporte mais adequado para a distribuição de pequenos volumes em áreas mais abrangentes.

As vantagens do transporte rodoviário, apresentadas por Ballou (2007), são: serviço porta a porta, sem necessidade de carregamento ou descarga entre origem e destino; frequência e disponibilidade dos serviços; velocidade e conveniência.

Segundo Valente, Passaglia e Novaes (2001), o modal rodoviário atinge, praticamente, todos os pontos do território nacional, sendo o mais expressivo no transporte de cargas no Brasil. Geralmente, o transporte de carga é realizado por empresas privadas ou transportadoras.

No Brasil, o setor de transportes é responsável por quase 50% do consumo de derivados do petróleo, sendo o óleo Diesel o principal combustível utilizado. Mesmo com as mais diversificadas pesquisas e tecnologias que surgem a cada ano, não são esperadas para os próximos 20 anos alternativas econômicas que substituam este combustível no setor de transporte. Assim, aumentar a eficiência e a racionalização de seu uso é, acima de tudo, ação estratégica. (GUIMARÃES, 2004)

Segundo Faria e Costa (2011), o transporte é considerado como uma das atividades mais relevantes na logística, sendo um diferencial no fator "tempo", determinando com que rapidez e consistência um produto move-se de um ponto a outro (FARIA e COSTA, 2011).

O transporte rodoviário de madeira é composto por duas etapas básicas. A primeira etapa consiste no deslocamento da madeira dentro dos talhões na floresta até uma área de fácil acesso aos caminhões. Na segunda etapa, é realizado o transporte da madeira dessas áreas de fácil acesso até as fábricas (SEIXAS; CAMILO, 2008). Porém, com relação aos custos, segundo Dario (2012), pode-se citar três custos operacionais mais expressivos no transporte rodoviário: manutenção dos veículos, custos com pneus e combustíveis.

Devido às inúmeras variáveis existentes no transporte de madeira, grande parte da roteirização convencional é feita de forma empírica, isso dificulta a obtenção de cenários otimizados, sendo a Pesquisa Operacional uma opção para modelagem matemática destas variáveis. Segundo Karsu e Morton (2015), a pesquisa operacional é bem difundida como técnica de otimização no planejamento de operações, com grande poder de aplicação em

problemas práticos e reais, tanto na área pública como privado. No entanto, com a utilização dos métodos propostos pela Programação Linear (PL), é possível realizar um prognóstico que poderá amparar futuras decisões quanto ao melhor trajeto a ser percorrido, melhor tipo de veículo a ser utilizado, melhor dimensionamento de cargas, além das possíveis otimizações de tempos e reduções de custos pertinentes aos processos. Dessa maneira, a Programação Linear pode ser considerada como uma ferramenta de apoio ao planejamento gerencial, pois visa à obtenção de um resultado ótimo, de acordo com as variáveis de decisões.

Segundo Barbosa e Zanardi (2010), pode-se considerar a Programação Linear como uma das maiores revoluções técnicas científicas do século XX, pois viabiliza a obtenção de soluções ótimas para as mais variadas categorias de problemas (BARBOSA; ZANARDI 2010).

De acordo com Caixeta-Filho (2009, p.11), a formulação do problema na Programação Linear segue alguns passos básicos, sendo o inicial a definição da função objetivo, na qual é determinado o foco da otimização a ser perseguida, secundariamente a determinação das variáveis de decisões, onde são impostas restrições, necessidades e disponibilidades de recursos ao sistema.

Objetivando a minimização dos custos para o transporte, este trabalho apresenta um modelo matemático de otimização para o transporte de madeira da cidade de Bofete/SP para a cidade de Salto/SP, com veículos Bitrem e Tritrem, viabilizando um comparativo da rota convencional e otimizada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A empresa, objeto deste estudo de caso, presente no mercado desde 1951, iniciou suas atividades produzindo forros acústicos e chapas soft de fibras de madeira, pouco depois passou a fabricar chapas isolantes e acústicas, utilizando o eucalipto como matéria-prima.

Para este trabalho, utilizou-se de georeferenciamento das principais malhas rodoviárias entre as cidades de Bofete/SP e Salto/SP, sendo processadas no software Autocad® versão 2010.

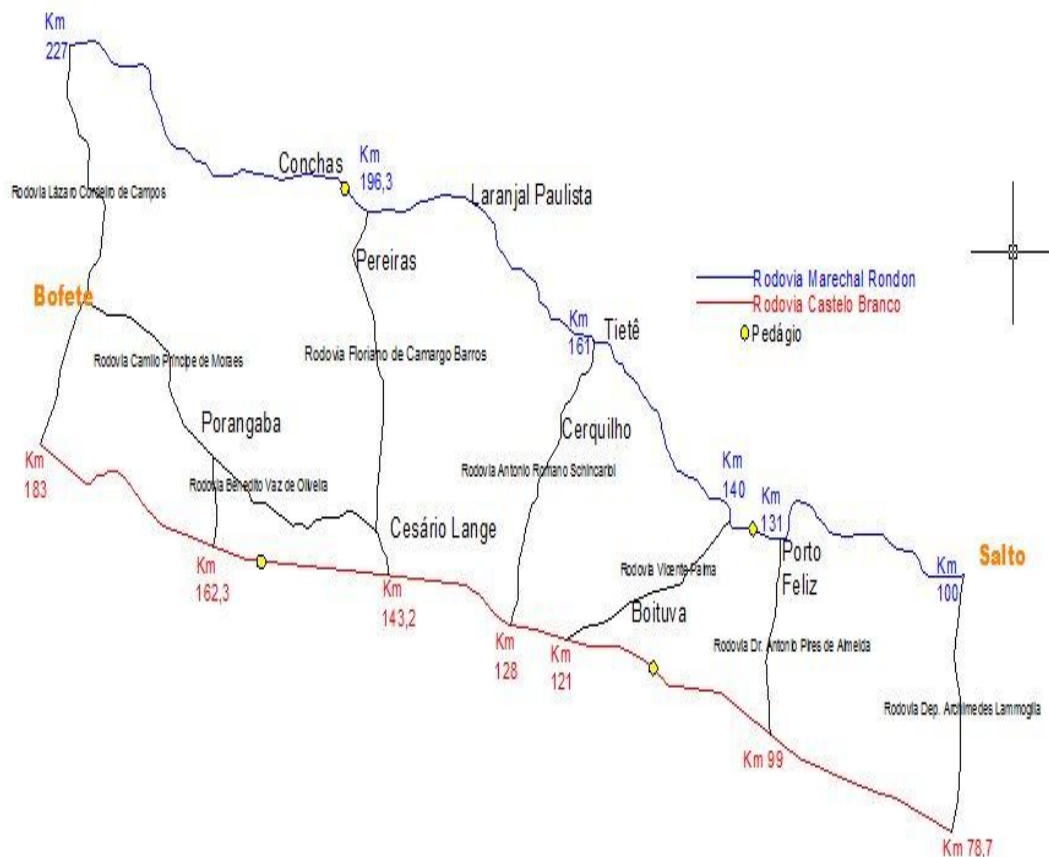
Utilizou-se também, através de entrevistas, levantamento de dados históricos dos veículos utilizados para o transporte de madeira, sendo os veículos Bitrem e Tritrem, a fim de viabilizar a definição de custos por quilômetro rodado através do simulador de custos operacionais Volvo (2013).

Para confecção da programação matemática do sistema, utilizou-se da Programação Linear, na qual todas as funções-objetivos e restrições são apresentadas por funções lineares, viabilizando, assim, a resolução do modelo e emissão de relatórios, pelo software LINDO® versão *Classic Demo*.

O estudo considerou as tarifas de pedágios referentes a cada trecho estudado, como também sua distância, parâmetros essenciais ao trabalho.

Para o desenvolvimento do estudo, definiu-se a origem do transporte como sendo a cidade de Bofete/SP, e como destino considerou-se um ponto de demanda de madeira para processamento, situada na cidade de Salto/SP, sendo que todos os trechos rodoviários utilizados foram considerados permissíveis para o transporte, a partir do critério de avaliação inicial das malhas de tráfego de veículos automotores, com relação à permissibilidade de trânsito de veículos Bitrem e Tritrem, sendo admitidas apenas vias concessionadas ou de administração estadual ou municipal, desconsiderando vias de tráfego particulares e vias de usucapião, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Mapa de vias permissíveis para o transporte de madeiras entre a Cidade de Bofete/SP e Cidade de Salto/SP



2.1 Sistematização do modelo

Com o intuito de obter a otimização de transporte, a partir da programação linear aplicada com o critério de menor caminho, definiu-se algumas equações lineares ao modelo, sendo os custos gerais por rotas de transporte obtidos através da seguinte função objetivo, apresentados na equação 1.

$$\text{CGR } m = \text{CT}^1 + \text{CT}^2 + \text{CT}^3 + \dots + \text{CT}^n, \quad (1)$$

Sendo:

CGR = custo geral por rota;

“**m**” representa o tipo de veículo de transporte, podendo assumir variação de “**b**” e “**t**”, referente ao tipo de veículo de transporte utilizado, “**b**” representando veículo bitrem e “**t**” veículo tritrem, sendo determinante para a distinção dos conjuntos de equações relativas aos veículos por rota;

CT = Custos total por trecho permissível de transporte;

“**n**” representando os trechos de transporte, variando de 1 a 22, referente aos trechos permissíveis de transporte de carga, considerando a origem como a cidade de Bofete/SP e destino a cidade de Salto/SP, conforme Figura 2;

- Utilizou-se, neste trabalho, a nomenclatura “pontos” para a definição de “nós”, conceituação de Programação Linear, sendo que as variáveis de transporte são relativas aos pontos iniciais e finais de cada trecho permissível;

- As variáveis de transporte foram referenciadas na forma de índices alfanuméricos, onde se utilizou “X_{ij}”, sendo “**i**” variável de 1 a 15 referentes aos pontos de origem, e “**j**” variável de 1 a 16, referentes aos pontos de destino.

Observando-se a definição do custo total por trecho permissível de transporte (CT), determinou-se a equação 2.

$$\text{CT}^n = \text{CKM}^m * \text{DT}^n + \text{CPED}^n \quad (2)$$

Sendo:

CKM^m = Custos por km rodado do veículo “**m**”, de acordo com simulador de custos operacionais Volvo (2013);

“**m**” variável entre “**b**” e “**t**”, referente ao tipo de veículo de transporte utilizado, bitrem ou tritrem respectivamente, sendo determinante para a distinção dos conjuntos de equações relativas aos veículos por rota;

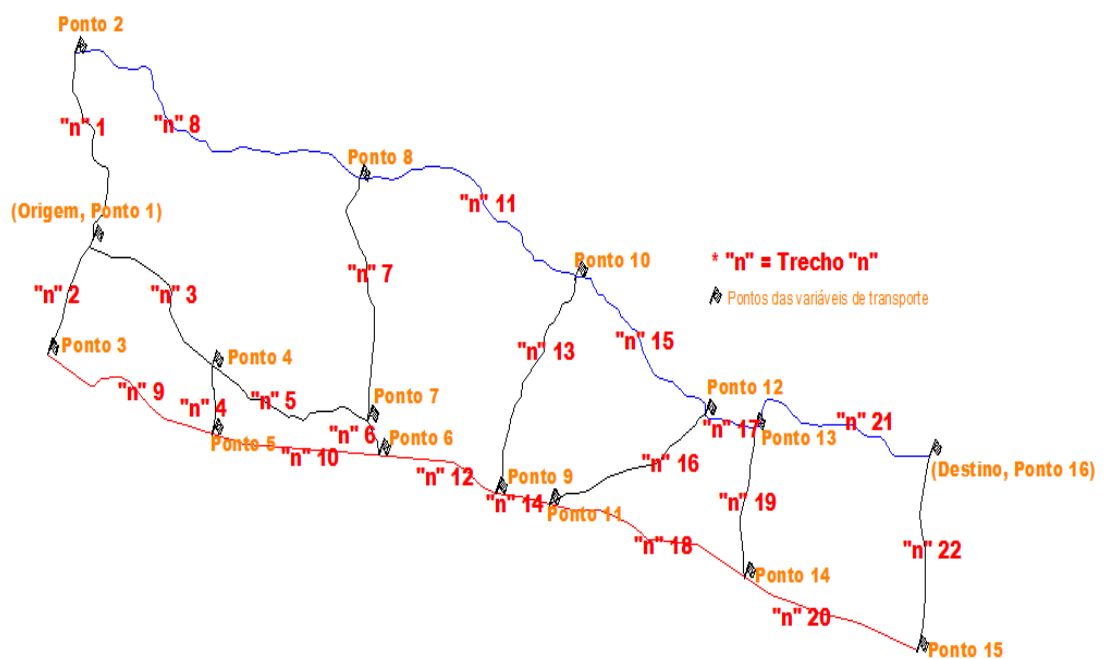
DTⁿ = Distância em quilômetros do trecho “**n**”;

CPEDⁿ = Custo em reais com pedágios referentes ao trecho “n”, considerando a quantidade de eixos tocantes ao solo com o veículo carregado em capacidade máxima.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a demarcação dos pontos de acessos, definidos através do software Autocad® versão 2010, e, também, da definição dos quesitos para elaboração dos custos gerais por rotas, foram demarcados os “nós” possíveis para o transporte e seus respectivos trechos, apresentados na Figura 2. Excetos os pontos 1 e 16, os demais pontos foram considerados pontos intermediários, destinados apenas ao trânsito dos veículos.

Figura 2 – Pontos e Trechos de referência para o transporte



Os trechos analisados na Figura 2, juntamente com suas respectivas variáveis, distâncias e percursos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Percursos permissíveis para transporte

Trecho “n”	Percursos (Ponto a Ponto)	Variáveis	Distância (Km)
1	Bofete até km 227 (Rod. Mar. Rondon - MR)	x12	19,4
2	Bofete até km 183 (Rod. Castelo Branco - CB)	x13	10,8
3	Bofete até Porangaba	x14	18,9
4	Porangaba até km 162+300m (Rod. CB)	x45	5,8
5	Porangaba até Cesário Lange	x47	20,5
6	Cesário Lange até km 143+200m (Rod. CB)	x76	3,4
7	km 196+300m (Rod. MR) até Cesário Lange	X87	29,5
8	km 227 (Rod. MR) até km 196+300m (Rod. MR)	x28	30,7
9	km 183 (Rod. CB) até km 162+300m (Rod. CB)	x35	20,7
10	km 162+300m (Rod. CB) até 143+200m (Rod. CB)	x56	19,1
11	km 196+300m (Rod. MR) até km 161 (Rod. MR)	x810	35,5
12	km 143+200m (Rod. CB) até km 128 (Rod. CB)	x69	15,1
13	km 128 (Rod. CB) até km 161 (Rod. MR)	x910	23,2
14	km 128 (Rod. CB) até km 121 (Rod. CB)	x911	7,0
15	km 161 (Rod. MR) até km 140 (Rod. MR)	x1012	29,5
16	km 121 (Rod. CB) até km 140 (Rod. MR)	x1112	25,0
17	km 140 (Rod. MR) até km 131 (Rod. MR)	x1213	9,0
18	km 121 (Rod. CB) até km 99 (Rod. CB)	x1114	22,5
19	km 131 (Rod. MR) até km 99 (Rod. CB)	x1314	14,9
20	km 99 (Rod. CB) até km 78+700m (Rod. CB)	x1415	20,4
21	km 131 (Rod. MR) até km 100 (Rod. MR)	x1316	31,3
22	km 78+700m (Rod. CB) até km 100 (Rod. MR)	x1516	45,5

Para cálculo da equação 1, utilizou-se a soma dos custos por trechos selecionados para o transporte, sendo assim, os custos para cada trecho levaram em consideração algumas informações:

- Existência ou não de pedágios no trecho “n”;
- A distância em km do trecho “n”;
- O custo por km rodado do veículo “m”, sendo determinado R\$ 4,36 para o veículo Bitrem carregado (38 toneladas) e R\$ 4,89 para o Tritrem carregado (50 toneladas). Ambos custos por km rodado foram obtidos através do simulador de custos operacionais Volvo (2013), parametrizados de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Cálculo do km rodado

	BITREM	TRITREM
		R\$
Valor de compra do Cavallo Mecânico	R\$ 215.000,00	215.000,00
Depreciação (Anos)	5	5
		R\$
Valor Residual	R\$ 108.000,00	108.000,00
Custo Depreciação (Ano)	R\$ 21.400,00	R\$ 21.400,00
Remuneração Capital (Ano)	3%	3%
Remuneração Capital (Ano)	R\$ 4.845,00	R\$ 4.845,00
Seguro/Ano	R\$ 35.000,00	R\$ 35.000,00
Impostos/Ano	R\$ 8.500,00	R\$ 8.500,00
Custo Motorista/Ano	R\$ 39.000,00	R\$ 39.000,00
Rastreamento/Ano	R\$ 2.000,00	R\$ 2.000,00
Administrativo/Ano	R\$ 50.000,00	R\$ 50.000,00
Preço Diesel/Ano	R\$ 2,00	R\$ 2,00
CONSUMO (Km/L)	1,9	1,6
Custo Pneus/Ano	R\$ 16.000,00	R\$ 20.000,00
Custo Manutenção/Ano	R\$ 10.000,00	R\$ 12.000,00
Km Anual	55000	53000
Custo Final/Km	R\$ 4,36	R\$ 4,89

Para cálculo da equação 2, utilizou-se dos parâmetros apresentados Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros para cálculos (Veículos Carregados)

Trecho C.C. II	Variáveis	Distância do Trecho Km (DT)	R\$/KM RODADO (Ckm)		PEDÁGIOS R\$/EIXO (PED)	N° de EIXOS		CUSTO COM PEDÁGIOS [R\$] (CPED)		CUSTO TOTAL POR TRECHO [R\$] (CT)	
			Bi trem (b1)	Tri trem (d)		Bi trem (t1)	Tri trem (t2)	Bitrem (=PED* b2)	Trítrem (=PED*d)	Bitrem (=DT*b1+PED *b2)	Trítrem (=DT*d+PE D*t2)
1	x12	19,4								R\$ 84,58	R\$ 94,87
2	x13	10,8								R\$ 47,09	R\$ 52,81
3	x14	18,9								R\$ 82,40	R\$ 92,42
4	x45	5,8								R\$ 25,29	R\$ 28,36
5	x47	20,5								R\$ 89,38	R\$ 100,25
6	x76	3,4								R\$ 14,82	R\$ 16,68
7	X87	29,5								R\$ 128,62	R\$ 144,26
8	x28	30,7								R\$ 133,85	R\$ 150,12
9	x35	20,7								R\$ 90,25	R\$ 101,22
10	x56	19,1			R\$ 10,30			R\$ 72,10	R\$ 92,70	R\$ 155,38	R\$ 186,10
11	x810	35,5			R\$ 4,20			R\$ 29,40	R\$ 37,80	R\$ 184,18	R\$ 211,40
12	x69	15,1	R\$ 4,36	R\$ 4,89			7			R\$ 65,84	R\$ 73,84
13	x910	23,2								R\$ 101,15	R\$ 113,45
14	x911	7			R\$ 7,50			R\$ 52,50	R\$ 67,50	R\$ 83,02	R\$ 101,73
15	x1012	29,5								R\$ 128,62	R\$ 144,26
16	x1112	25								R\$ 109,00	R\$ 122,25
17	x1213	9			R\$ 5,50			R\$ 38,50	R\$ 49,50	R\$ 77,74	R\$ 93,51
18	x1114	22,5								R\$ 98,10	R\$ 110,03
19	x1314	14,9								R\$ 64,96	R\$ 72,86
20	x1415	20,4								R\$ 88,94	R\$ 99,76
21	x1316	31,3								R\$ 136,47	R\$ 153,06
22	x1516	45,5								R\$ 198,38	R\$ 222,50

Por meio dos dados parametrizados na Tabela 3, foram obtidas funções-objetivos para minimização dos custos, de acordo com cada veículo:

Função-objetivo para veículo Bitrem:

$$\text{Min} = 84.58x_{12} + 47.09x_{13} + 82.40x_{14} + 25.29x_{45} + 89.38x_{47} + 14.82x_{76} + 128.62x_{87} + 133.85x_{28} + 90.25x_{35} + 155.38x_{56} + 184.18x_{810} + 65.84x_{69} + 101.15x_{910} + 83.02x_{911} + 128.62x_{1012} + 109.00x_{1112} + 77.74x_{1213} + 98.10x_{1114} + 64.96x_{1314} + 88.94x_{1415} + 136.47x_{1316} + 198.38x_{1516}$$

Função-objetivo para veículo Tritrem:

$$\text{Min} = 94.87x_{12} + 52.81x_{13} + 92.42x_{14} + 28.36x_{45} + 100.25x_{47} + 16.63x_{76} + 144.26x_{87} + 150.12x_{28} + 101.22x_{35} + 186.10x_{56} + 211.40x_{810} + 73.84x_{69} + 113.45x_{910} + 101.73x_{911} + 144.26x_{1012} + 122.25x_{1112} + 93.51x_{1213} + 110.03x_{1114} + 72.86x_{1314} + 99.76x_{1415} + 153.06x_{1316} + 222.50x_{1516}$$

Os coeficientes das funções objetivos representam o custo operacional de trânsito do veículo “m” pelo percurso “n”.

Variáveis de decisão:

São variáveis a serem equacionadas de forma a permitir-se a minimização dos custos através das rotas permissíveis para o transporte, de tal forma que seja possível visualizar a melhor opção de rota, a fim de atender à função-objetivo.

Restrições:

Por ser uma modelagem matemática de Programação Linear, utilizando o critério de menor caminho, os pontos definidos são utilizados apenas para trânsito dos veículos, exceto os pontos 01 e 16, os quais são origem e destino do transporte, respectivamente.

Indistintamente do veículo a ser utilizado, Bitrem ou Tritrem, utilizaram-se as equações apresentadas na Tabela 4 como restrições de cada ponto.

Tabela 4 – Pontos e equações

Ponto	Equação
Ponto 1 - Cidade de Bofete	no1) $-x_{12}-x_{13}-x_{14}=-1$
Ponto 2	no2) $x_{12}-x_{28}=0$
Ponto 3	no3) $x_{13}-x_{35}=0$
Ponto 4	no4) $x_{14}-x_{45}-x_{47}=0$
Ponto 5	no5) $x_{35}+x_{45}-x_{56}=0$
Ponto 6	no6) $x_{56}+x_{76}-x_{69}=0$
Ponto 7	no7) $x_{47}+x_{87}-x_{76}=0$
Ponto 8	no8) $x_{28}-x_{87}-x_{810}=0$
Ponto 9	no9) $x_{69}-x_{910}-x_{911}=0$
Ponto 10	no10) $x_{810}+x_{910}-x_{1012}=0$
Ponto 11	no11) $x_{911}-x_{1112}-x_{1114}=0$
Ponto 12	no12) $x_{1012}+x_{1112}-x_{1213}=0$
Ponto 13	no13) $x_{1213}-x_{1314}-x_{1316}=0$
Ponto 14	no14) $x_{1114}+x_{1314}-x_{1415}=0$
Ponto 15	no15) $x_{1415}-x_{1516}=0$
Ponto 16 - Cidade de Salto	no16) $x_{1316}+x_{1516}=1$

Resumidamente, o problema em questão, envolve a minimização de apenas uma função linear de variáveis primárias denominada função-objetivo, sujeita a um conjunto de igualdades ou desigualdades lineares, denominadas restrições.

A modelagem pelo critério do menor caminho considera como resultados válidos para as variáveis X_{ij} “0” ou “1”, referentes à utilização ou não do percurso; “1” implica na utilização do percurso, e “0” sua não utilização.

Considerou-se a rota otimizada para “ida” do veículo (origem para o destino) como sendo a melhor rota para “volta” (destino para origem), porém, devido ao veículo retornar vazio, considerou-se, através de dados históricos da empresa, que cada veículo vazio consome menor quantidade de combustível (2.1km/l. de combustível para o veículo Bitrem e 1.8km/l. de combustível para o veículo Tritrem) e também tem menor quantidade de eixos tocantes ao solo (5 eixos para Bitrem e 7 eixos para Tritrem), afetando diretamente os custos inerentes aos pedágios e, conseqüentemente, os custos por km rodado do veículo.

Com exceção ao consumo de combustível dos veículos vazios, os demais parâmetros para cálculo do custo por km rodado de cada veículo foram baseados na Tabela 2. Assim, após tabulação dos dados e inserção no simulador de custos operacionais Volvo (2013), definiram-se os seguintes valores: de R\$ 4,26/Km rodado do Bitrem e de R\$ 4,75/Km rodado do Tritrem, ambos veículos vazios (Tabela 5).

Tabela 5 - Parâmetros para cálculos (Veículos Vazios)

Trecho “H”	Distância do Trecho Km (DT)	R\$KM RODADO (Ckm)		PEDAGIO S R\$EIXO (PED)	N° de EIXOS		CUSTO COM PEDÁGIOS [R\$] (CPED)		CUSTO TOTAL POR TRECHO [R\$] (CT)	
		Bitrem (b1)	Tritrem (t1)		Bi tre m (b2)	Tri trem (t2)	Bitrem (=PED*b 2)	Tritrem (=PED*t 2)	Bitrem (=DT*b1+PED* b2)	Tritrem (=DT*d+PED *t2)
1	19,4								R\$ 82,64	R\$ 92,15
2	10,8								R\$ 46,01	R\$ 51,30
3	18,9								R\$ 80,51	R\$ 89,78
4	5,8								R\$ 24,71	R\$ 27,55
5	20,5								R\$ 87,33	R\$ 97,38
6	3,4								R\$ 14,48	R\$ 16,15
7	29,5								R\$ 125,67	R\$ 140,13
8	30,7								R\$ 130,78	R\$ 145,83
9	20,7								R\$ 88,18	R\$ 98,33
10	19,1			R\$ 10,30			R\$ 51,50	R\$ 72,10	R\$ 132,87	R\$ 162,83
11	35,5	R\$ 4,26	R\$ 4,75	R\$ 4,20	5	7	R\$ 21,00	R\$ 29,40	R\$ 172,23	R\$ 198,03
12	15,1								R\$ 64,33	R\$ 71,73
13	23,2								R\$ 98,83	R\$ 110,20
14	7			R\$ 7,50			R\$ 37,50	R\$ 52,50	R\$ 67,32	R\$ 85,75
15	29,5								R\$ 125,67	R\$ 140,13
16	25								R\$ 106,50	R\$ 118,75
17	9			R\$ 5,50			R\$ 27,50	R\$ 38,50	R\$ 65,84	R\$ 81,25
18	22,5								R\$ 95,85	R\$ 106,88
19	14,9								R\$ 63,47	R\$ 70,78
20	20,4								R\$ 86,90	R\$ 96,90
21	31,3								R\$ 133,34	R\$ 148,68
22	45,5								R\$ 193,83	R\$ 216,13

3.2 Análise da roteirização

Através das equações lineares inseridas no software Lindo®, a Figura 4 apresenta os planejamentos otimizados de rotas de “ida” e também a minimização de custos relativos, para os veículos Bitrem e Tritrem, obtidos no software LINDO versão *Classic Demo*.

Figura 4 – Tela de saída do software Lindo® versão *Classic Demo* - otimização de percurso

BITREM		TRITREM	
OBJECTIVE FUNCTION VALUE		OBJECTIVE FUNCTION VALUE	
1)	658.6700	1)	753.6900
VARIABLE	VALUE	VARIABLE	VALUE
X12	0.000000	X12	0.000000
X13	0.000000	X13	0.000000
X14	1.000000	X14	1.000000
X45	0.000000	X45	0.000000
X47	1.000000	X47	1.000000
X76	1.000000	X76	1.000000
X87	0.000000	X87	0.000000
X28	0.000000	X28	0.000000
X35	0.000000	X35	0.000000
X56	0.000000	X56	0.000000
X810	0.000000	X810	0.000000
X69	1.000000	X69	1.000000
X910	0.000000	X910	0.000000
X911	1.000000	X911	1.000000
X1012	0.000000	X1012	0.000000
X1112	1.000000	X1112	1.000000
X1213	1.000000	X1213	1.000000
X1114	0.000000	X1114	0.000000
X1314	0.000000	X1314	0.000000
X1415	0.000000	X1415	0.000000
X1316	1.000000	X1316	1.000000
X1516	0.000000	X1516	0.000000

Observou-se que, indiferente do tipo de veículo utilizado, Bitrem ou Tritrem, o percurso manteve-se o mesmo, variando apenas os valores das funções-objetivos, as quais são inerentes aos custos gerais por rota (CGR), sendo totalizados de acordo com o tipo de veículo utilizado.

De acordo com os cenários otimizados de transporte, o percurso ideal para ambos os veículos será utilizar os seguintes trechos, na sequência lógica:

Trecho 3 – Cidade de Bofete até Cidade de Porangaba

Trecho 5 – Cidade de Porangaba até Cidade de Cesário Lange

Trecho 6 – Cidade de Cesário Lange até km 143+200m (Rod. CB)

Trecho 12 - km 143+200m (Rod. CB) até km 128 (Rod. CB)

Trecho 14 - km 128 (Rod. CB) até km 121 (Rod. CB)

Trecho 16 - km 121 (Rod. CB) até km 140 (Rod. MR)

Trecho 17 - km 140 (Rod. MR) até km 131 (Rod. MR)

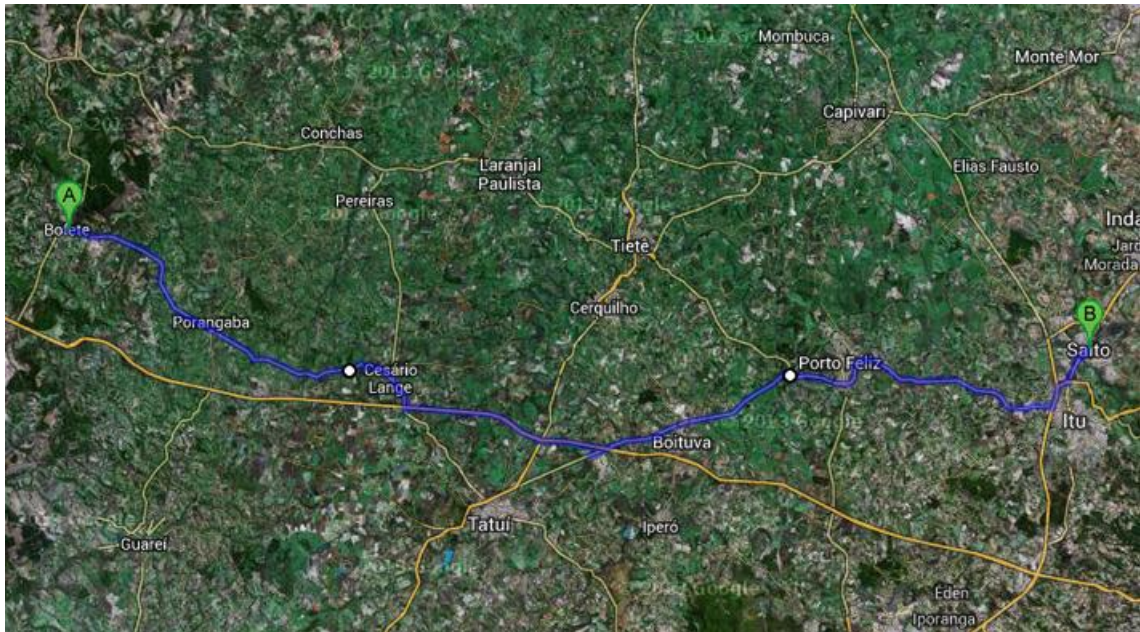
Trecho 21 - km 131 (Rod. MR) até km 100 (Rod. MR) – Cidade de Salto

Com isso, o custo referente ao percurso otimizado transitado pelo veículo Bitrem será de R\$ 658,67 no percurso de “ida”; enquanto para o veículo Tritrem tem-se um custo de R\$ 753,69 para o mesmo percurso.

Considerou-se, ainda, a mesma rota como sendo rota de retorno do veículo à origem, assim, os custos de relativos ao retorno, baseados na Tabela 6, são de R\$ 619,65 para o Bitrem e de R\$ 709,45 para o Tritrem.

Na Figura 5, é possível visualizar a roteirização otimizada para os veículos em estudo.

Figura 5 – Roteirização otimizada para os veículos Bitrem e Tritrem



Os custos finais relativos ao trecho otimizado, para cada tipo de veículo, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Custos finais otimizados

Veículo	Custos com percurso de “ida”	Custos com percurso de “retorno”	Custo total por viagem (ida+retorno)
Bitrem	R\$ 658,67	R\$ 619,65	R\$ 1278,32
Tritrem	R\$ 753,69	R\$ 709,45	R\$ 1463,14

Estima-se que a empresa em questão efetue em média 50 viagens mensais com o veículo Bitrem e 40 viagens mensais com o veículo Tritrem, considerando as mesmas definições de origem e destino.

Em consequência da roteirização utilizada na atualidade pela empresa e também devido ao trajeto ser distinto do otimizado, estima-se (baseado em dados históricos e estatísticos da empresa) que atualmente cada viagem com o Bitrem custe R\$ 1475,28 e cada viagem com o Tritrem onere R\$ 1690,57, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Custos atuais NÃO otimizados

Veículo	Custos com percurso de “ida”	Custos com percurso de “retorno”	Custo total por viagem (ida+retorno)
Bitrem	R\$ 764,78	R\$ 710,50	R\$ 1475,28
Tritrem	R\$ 884,52	R\$ 806,05	R\$ 1690,57

Assim, em um período de um mês, ter-se-á gasto com o transporte pelas rotas convencionais por cada veículo:

- Bitrem R\$1475,28/viagem x 50 viagens/mês = R\$ 73.764,00/mês;
- Tritrem R\$ 1690,57/viagem x 40 viagens/mês = R\$ 67.622,80/mês.

A comparação dos custos da roteirização otimizada com os da roteirização convencional utilizada pela empresa, permite a expectativa de redução mensal nos custos com o transporte, conforme Tabela 8.

Tabela 8 – Comparação de custos de rotas

	Custos mensais com roteirização atual	Custos mensais com roteirização otimizada	% de Redução de Custos
Bitrem	R\$ 73.764,00	R\$ 63.916,00	13,4%
Tritrem	R\$ 67.622,80	R\$ 58.525,60	13,5%

4 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o método utilizado neste trabalho pode ser empregado como ferramenta de auxílio na determinação de opções otimizadas quanto às rotas a serem seguidas pelos veículos de transporte de madeira, visando minimização de custos.

Considerando os valores de custos com a rotas convencional e otimizada, espera-se uma projeção de redução de custos em torno de 13% ao mês com a otimização de rotas, refletindo em uma economia mensal de aproximadamente 19 mil reais.

A roteirização otimizada através da Programação Linear, demonstrou ser de grande valia para a redução de custos pertinentes ao transporte de madeira estudado, mostrando-se uma importante e potencial ferramenta de gestão para o setor florestal.

REFERÊNCIAS

ARNOLD, J. R. T. **Administração de materiais**. São Paulo: Atlas, 1999

BALLOU, R. H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais, distribuição física**. São Paulo: Atlas, 2007

BARBOSA, M. A., ZANARDI, R. A. D. (2010). **Iniciação à Pesquisa Operacional no Ambiente de Gestão**. 1ª. ed. Curitiba: IBPREX.

CAIXETA-FILHO, J. V. **Pesquisa Operacional – Técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

DARIO, M. **Práticas, indicadores e custos na gestão de pneus: estudo em uma empresa de transportes**. Dissertação de Mestrado Profissional em Administração, Faculdade de Gestão e Negócios, Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, 2012. p. 02. Disponível em: <http://www.anpad.org.br/admin/pdf/2012_GOL799.pdf> Acesso em: 25/11/2015.

FARIA, A. C. de, COSTA, M. F. G.. **Gestão de Custos Logísticos**. 1ª Ed. São Paulo: Atlas, 2011.

GUIMARÃES, H. S. **A logística como fator decisivo das operações de colheita e transporte florestal**. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 13, 2004. Curitiba: UFPR, 2004.

KARSU, Ö.; MORTON, A. **Inequity averse optimisation in operational research**. European Journal of Operational Research. 2015. Disponível em: <[https://pure.strath.ac.uk/portal/en/publications/inequity-averse-optimisation-in-operational-research\(e56c5230-16d4-4939-9641-381c7284a533\)](https://pure.strath.ac.uk/portal/en/publications/inequity-averse-optimisation-in-operational-research(e56c5230-16d4-4939-9641-381c7284a533))> Acesso em: 25/11/2015.

SEIXAS, F.; CAMILO, D. **Colheita e Transporte Florestal – ESALQ – USP – Piracicaba**, 2008.

VALENTE, A. M.; PASSAGLIA, E.; NOVAES, A. G. **Gerenciamento de transporte e frotas**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.

VOLVO. Caminhões do Brasil. **Simulador de Custos Operacionais**. 2013. Disponível em: <http://www.volvotrucks.com/trucks/brazil-market/pt-br/parts_service_new/total-costcalculator/Pages/total-costcalculator.aspx>. Acesso em 22/05/2013.