

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

Aluna: Camila Noronha de Freitas

Título do Trabalho:

**APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR
PARA A AQUISIÇÃO ÓTIMA DE DORMENTES
FERROVIÁRIOS**

CURITIBA / PARANÁ

2015

Aluna: Camila Noronha de Freitas

Título do Trabalho:

**APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR
PARA A AQUISIÇÃO ÓTIMA DE DORMENTES
FERROVIÁRIOS**

Trabalho de Conclusão do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, apresentado à Universidade Federal do Paraná (UFPR) como requisito parcial para a obtenção do Título de Especialista em Engenharia de Produção.

Orientador: Professor Marcelo Gechele Cleto

CURITIBA / PARANÁ

2015

APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA A AQUISIÇÃO ÓTIMA DE DORMENTES FERROVIÁRIOS

LINEAR PROGRAMMING APPLICATION FOR OPTIMAL ACQUISITION OF RAIL SLEEPERS

CAMILA NORONHA DE FREITAS

camila_noronha@hotmail.com

Especialização em Engenharia de Produção
Universidade Federal do Paraná (UFPR)

RESUMO – O presente trabalho pretende demonstrar através de um estudo de caso na empresa RUMO ALL a aplicação e os benefícios da programação linear para a aquisição de dormentes ferroviários. Tendo em vista os diversos fornecedores, as restrições de orçamento, a demanda e a distância entre o ponto de compra e entrega, desenvolveu-se um modelo capaz de apresentar a melhor alternativa para realizar a aquisição. Para validação deste modelo inicialmente utilizou-se os dados históricos disponibilizados pela área de Suprimentos da RUMO ALL para determinar a aquisição ótima de dormentes de Bitola Larga e na sequência o resultado obtido pelo modelo foi comparado com os custos das compras realizadas sem o uso de uma ferramenta de otimização. O resultado da comparação é bastante promissor, pois foi verificado que se as aquisições fossem realizadas com o uso do modelo haveria um potencial de ganho de R\$ 1.795.041,50 em 12 meses analisados, de Janeiro a Dezembro de 2014, o que representa uma economia de 7,4%.

Palavras-chaves: Programação Linear, Dormentes Ferroviários, Minimização de Custos, Compras.

1. INTRODUÇÃO

Em uma empresa ferroviária o principal propósito é garantir a circulação dos trens do melhor modo possível, tanto do ponto de vista da produção quanto da segurança, tendo sempre em vista a austeridade como direcionador para a alocação de recursos que irão sustentar a atividade principal. Dentro deste contexto, as condições da via permanente para a circulação dos trens possuem grande

relevância, pois a má manutenção dos seus componentes pode implicar em graves acidentes ferroviários ou em considerável redução da velocidade do trem.

No trabalho de AGUIAR (2011) é afirmado que a superestrutura ferroviária é composta basicamente por três elementos, sendo: o lastro, os dormentes e os trilhos que em conjunto formam a via permanente. De acordo com BRINA (1979), esta superestrutura ferroviária está sujeita a ação de desgaste das rodas dos veículos e das intempéries e quando este desgaste ultrapassa os limites de tolerância estabelecidos torna-se necessário realizar a manutenção ou até mesmo a substituição dos componentes da via permanente. Para garantir os insumos necessários para a manutenção e troca destes componentes existe o papel do comprador que deve ter como direcionador fornecer ao seu cliente, no caso a área de manutenção da via permanente, os componentes requisitados considerando seu custo, qualidade e prazo de entrega. Sem a utilização de ferramentas computacionais, isto nem sempre pode ser uma tarefa de fácil execução, pois pode haver inúmeros fornecedores com diferentes custos associados tanto ao produto quanto ao seu transporte, com diversos prazos de entregas para as diferentes regiões demandantes.

Dentre as alternativas computacionais existentes, a aplicação de programação matemática pode fornecer uma solução bastante atraente para este tipo de problema, pois foi desenvolvida para a resolução de problemas que requerem a maximização ou minimização do valor de uma função matemática sujeita a diversos tipos de restrições (RODRIGUES e LIMA, 1985). Nos casos em que as equações lineares são aplicadas para descrever tanto a função a ser otimizada e também as restrições, pode-se tratar o problema através da abordagem da programação linear.

Portanto, tendo em consideração o cenário exposto anteriormente, o objetivo do presente trabalho é fornecer uma ferramenta para a determinação da melhor aquisição de dormentes ferroviários através do uso da programação linear considerando as principais restrições apresentadas ao comprador.

Inicialmente o foco deste trabalho é para o dormente, contudo, após a utilização e assimilação desta ferramenta pela área de Suprimentos, pode-se estender o método utilizado para os demais componentes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Constituição da Ferrovia e Dormentes de Madeira

A Ferrovia é constituída por dois grandes itens: Infraestrutura e Superestrutura. A primeira consiste em terraplenagem e a segunda é formada por sublastro, lastro, dormentes, trilhos e acessórios (como grampos e parafusos de fixação). A superestrutura está sujeita a desgastes, e, portanto, demanda manutenção periódica.

Os dormentes têm a função de prender os trilhos assegurando a manutenção correta e constante da bitola (distância paralela entre trilhos). Para os dormentes de madeira de Bitola Larga (1,60 m), objeto do estudo, são utilizadas as especificações:

- Dormente de Madeira de **Eucalipto**, 1A.
- Categoria, 1ª. Classe, Especial,
- Bitola Larga: 2,80 de comprimento x 0,24 de Largura x 0,17 m de Altura – 110 kg,
- Tratado Quimicamente para impedir a ação de agentes de destruição.

Essas especificações devem ser atendidas pelos fornecedores para aquisição do material pela ferrovia.

Programação Linear

A técnica de programação linear é um método matemático poderoso para resolver os problemas em que exista um objetivo a ser atingido, mas sujeito à restrições. Tais restrições podem ter relação tanto quanto à forma de emprego como em relação às quantidades existentes. Historicamente, tem-se observado o uso desta técnica nas mais diversas áreas como: gestão de recursos humanos e materiais, organização de transportes, determinação de políticas de estoques, estudos de fluxo de caixa e investimentos, estudo de sistemas de informações e também os tradicionais problemas de produção de mistura de componentes. ANDRADE (2000).

Conforme discutido em BODANESE (2005) o objetivo da programação linear é encontrar o lucro máximo ou o custo mínimo em situações reais e a magnitude da redução de custos que esta abordagem pode trazer para as empresas se enquadra facilmente na faixa entre 1% e 5%, tendo casos que chegam até a 15%.

Alguns autores como SOUZA (1991) estabeleceram alguns procedimentos a serem seguidos para solucionar um problema utilizando o método da programação linear:

1. Definir o problema: é necessário identificar e estabelecer o objetivo pretendido.
2. Definir as variáveis de decisão: estabelecer quais são as relações e as limitações a que estas variáveis estão sujeitas.
3. Transcrever o problema para a linguagem matemática: utilizar equações e inequações matemáticas lineares.
4. Definir o método para a resolução do modelo matemático, como o Modelo de Transportes. Contudo, atualmente existem diversos *softwares* tanto pagos quanto gratuitos que são fáceis de serem operados para solucionar tais modelos.

3. MODELAGEM MATEMÁTICA

Definição do problema

Conforme apresentado anteriormente, o principal objetivo consiste em minimizar o custo da compra de Dormentes de madeira para Bitola Larga. Deste modo, deve-se realizar a soma de todos os produtos, que atendam as demandas por localidades, pelo valor agregado unitário de cada dormente, que consiste em custos de confecção e também os custos de frete, ou seja:

Minimizar o custo da quantidade comprada com cada fornecedor por local de entrega.

$$Z = \sum_i^n \sum_j^m X_{ij}$$

Sujeito a:

$$\sum_i^n X_{i,j} \leq \text{Capacidade};$$

$$\sum_j^m X_{i,j} = \text{Demanda};$$

Sendo:

Z a Função Objetivo;

i os Fornecedores de Dormentes;

j os Locais de Entrega dos Dormentes;

n a Quantidade Máxima de Fornecedores;

m a Quantidade Máxima de Locais de Entrega

X a Quantidade comprada com cada fornecedor por local de entrega.

Formulação Matemática do Problema e Método de Solução

O problema requer como solução a quantidade ideal de dormentes a serem adquiridos com cada fornecedor, atendendo totalmente a demanda do local, a fim de se obter o menor custo possível com a compra. Também deve ser respeitada a capacidade de fornecimento de produto de cada vendedor.

Ferramentas utilizadas

Optou-se inicialmente pela utilização da ferramenta do Solver do Excel, porém ela apresenta uma restrição de variáveis de resposta, limitada a 200 células calculadas e o problema analisado possui 208 variáveis. Sendo assim, optou-se pela utilização do Programa de Modelagem Operacional denominado QM – Quantitative Methods – sistema de Gestão em Pesquisa Operacional, utilizado na versão 2.2 para estudantes. O Módulo usado foi o de **Transportes** e o Método o do Menor Custo (Minimum Cost Method).

4. ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS

No início, para comparação dos cenários (compra real x compra pela modelagem simplex) considerou-se que as demandas dos Locais de Entrega foram atendidas completamente durante todos os meses do ano de 2014. Sendo assim, a compra real para cada uma das oito Sedes analisadas passou a ser a demanda no Modelo Matemático Simulado. A capacidade de entrega de material de cada fornecedor também foi considerada constante ao longo do ano. O critério para identificação dessa capacidade foi através da maior quantidade entregue em um mês por cada um ao longo dos doze meses analisados.

Havia em todo o processo vinte e seis Fornecedores aptos para atender as necessidades da RUMO ALL, eles serão representados neste trabalho pelas letras do alfabeto:

FORNECEDOR **A**, FORNECEDOR **B**, FORNECEDOR **C**, FORNECEDOR **D**,
FORNECEDOR **E**, FORNECEDOR **F**, FORNECEDOR **G**, FORNECEDOR **H**,

FORNECEDOR I, FORNECEDOR J, FORNECEDOR K, FORNECEDOR L, FORNECEDOR M, FORNECEDOR N, FORNECEDOR O, FORNECEDOR P, FORNECEDOR Q, FORNECEDOR R, FORNECEDOR S, FORNECEDOR T, FORNECEDOR U, FORNECEDOR V, FORNECEDOR W, FORNECEDOR X, FORNECEDOR Y, FORNECEDOR Z;

Nem todos os Fornecedores entregavam o pedido em todas as Sedes, que são:

Araraquara-SP, Campinas-SP, Chapadão do Sul-MS, Cuiabá-MT, Itu-SP, Mairinque-SP, Santos-SP, São Jose do Rio Preto-SP.

Essa restrição foi representada pelo número 9999, um **custo unitário** considerado alto se comparado aos preços reais **unitários** praticados, para que ao se resolver o modelo esta opção de escolha não seja realizada.

As imagens 1 e 2 possuem representações reais do mês de Janeiro de 2014.

Objective		Starting method								
<input type="radio"/> Maximize <input checked="" type="radio"/> Minimize		Minimum Cost Method								
COMPRA ÓTIMA DE DORMENTES										
	ARARAQUARA	CAMPINAS	CHAPADÃO DO SUL	CUIABÁ	ITU	MAIRINQUE	SANTOS	SÃO JOSE DO RIO PRETO	SUPPLY	
A	83	83	9.999	9.999	83	83	83	9.999	5.875	
B	81	9.999	9.999	93	83	83	83	9.999	10.795	
C	9.999	9.999	9.999	9.999	81	9.999	85	9.999	1.050	
D	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	83	9.999	9.999	1.500	
E	80	9.999	9.999	9.999	80	80	9.999	9.999	4.010	
F	78	9.999	80	80	9.999	9.999	9.999	9.999	1.237	
G	9.999	9.999	9.999	9.999	81	81	81	9.999	2.500	
H	80	80	9.999	9.999	80	80	80	9.999	9.978	
I	66	66	9.999	9.999	66	66	9.999	9.999	8.905	
J	81	81	9.999	9.999	81	81	9.999	9.999	12.525	
K	83	9.999	9.999	9.999	83	83	83	85	3.580	
L	83	83	9.999	9.999	83	83	81	9.999	4.800	
M	80	80	9.999	9.999	80	80	79	9.999	5.000	
N	83	85	9.999	9.999	83	85	9.999	9.999	4.559	
O	9.999	84	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	500	
P	83	83	9.999	9.999	83	83	83	9.999	9.465	
Q	83	83	9.999	83	83	83	9.999	9.999	5.595	
R	80	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	615	
S	75	75	9.999	9.999	75	75	9.999	9.999	2.500	
T	9.999	81	9.999	9.999	81	81	9.999	9.999	1.560	
U	63	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	270	
V	81	9.999	9.999	9.999	9.999	81	81	9.999	810	
W	81	81	9.999	9.999	81	81	9.999	9.999	2.000	
X	81	9.999	9.999	9.999	78	78	9.999	9.999	3.400	
Y	9.999	85	9.999	9.999	85	9.999	9.999	9.999	490	
Z	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	85	9.999	9.999	932	
DEMAND	11.050	0	0	0	1.700	14.615	0	0		

Imagem 1: Modelagem de Janeiro/2014 dos preços de cada Fornecedor para cada Sede de recebimento, com as demandas dos Locais (Linha Demand) e as Capacidades de entrega (Coluna Supply).

Ilustração: QM.

Fonte: Autor.

Objective		Starting method							
<input type="radio"/> Maximize <input checked="" type="radio"/> Minimize		Minimum Cost Method							
COMPRA ÓTIMA DE DORMENTES Solution									
Optimal cost =	ARARAQUARA	CAMPINAS	CHAPADÃO DO SUL	CUIABÁ	ITU	MAIRINQUE	SANTOS	SÃO JOSE DO RIO PRETO	Dummy
A									5.875,
B									10.795,
C									1.050,
D									1.500,
E					1.700,	2.310,			
F	1.237,		0,	0,					
G									2.500,
H	6.428,	0,			0,				3.550,
I						8.905,			
J									12.525,
K								0,	3.580,
L									4.800,
M							0,		5.000,
N									4.559,
O									500,
P									9.465,
Q									5.595,
R	615,								
S	2.500,								
T									1.560,
U	270,								
V									810,
W									2.000,
X						3.400,			
Y									490,
Z									932,

Imagem 2: Solução da Tabela 1 (Modelagem de Janeiro/2014). Quantidade de Dormentes a serem adquiridos por cada Sede em cada Fornecedor para obtenção do menor custo possível. O **Saldo** de peças no vendedor está representado pela coluna Dummy, os que não possuem **Saldo** foram utilizados em sua totalidade.

Ilustração: QM.

Fonte: Autor.

As comparações no QM foram geradas mês a mês, de Janeiro a Dezembro de 2014.

O resultado final foi:

MÊS	ANO	VALOR PAGO	MODELAGEM	GANHO	% GANHO	QTDE PEÇAS
JANEIRO	2014	R\$ 2.214.430,00	R\$ 2.034.104,00	R\$ 180.326,00	8,87%	27.365
FEVEREIRO	2014	R\$ 1.892.110,20	R\$ 1.703.398,20	R\$ 188.712,00	11,08%	23.152
MARÇO	2014	R\$ 1.527.032,00	R\$ 1.349.053,00	R\$ 177.979,00	13,19%	18.771
ABRIL	2014	R\$ 1.216.101,30	R\$ 1.107.414,80	R\$ 108.686,50	9,81%	14.788
MAIO	2014	R\$ 2.398.825,00	R\$ 2.181.804,00	R\$ 217.021,00	9,95%	29.195
JUNHO	2014	R\$ 2.767.283,00	R\$ 2.550.554,00	R\$ 216.729,00	8,50%	33.846
JULHO	2014	R\$ 4.041.650,00	R\$ 3.779.415,00	R\$ 262.235,00	6,94%	49.556
AGOSTO	2014	R\$ 1.983.195,00	R\$ 1.805.304,00	R\$ 177.891,00	9,85%	24.505
SETEMBRO	2014	R\$ 3.402.627,00	R\$ 3.349.175,00	R\$ 53.452,00	1,60%	43.646
OUTUBRO	2014	R\$ 4.042.425,00	R\$ 3.914.911,00	R\$ 127.514,00	3,26%	50.642
NOVEMBRO	2014	R\$ 501.740,00	R\$ 417.244,00	R\$ 84.496,00	20,25%	6.340
DEZEMBRO	2014	R\$ 55.760,00	R\$ 55.760,00	R\$ 0,00	0,00%	850
TOTAL 2014		R\$ 26.043.178,50	R\$ 24.248.137,00	R\$ 1.795.041,50	7,40%	322.656

Tabela 1: Resultado da Comparação entre Compra Real e Compra através da Modelagem Matemática, com os ganhos obtidos no Modelo mês a mês para a mesma quantidade adquirida.
Fonte: Autor.

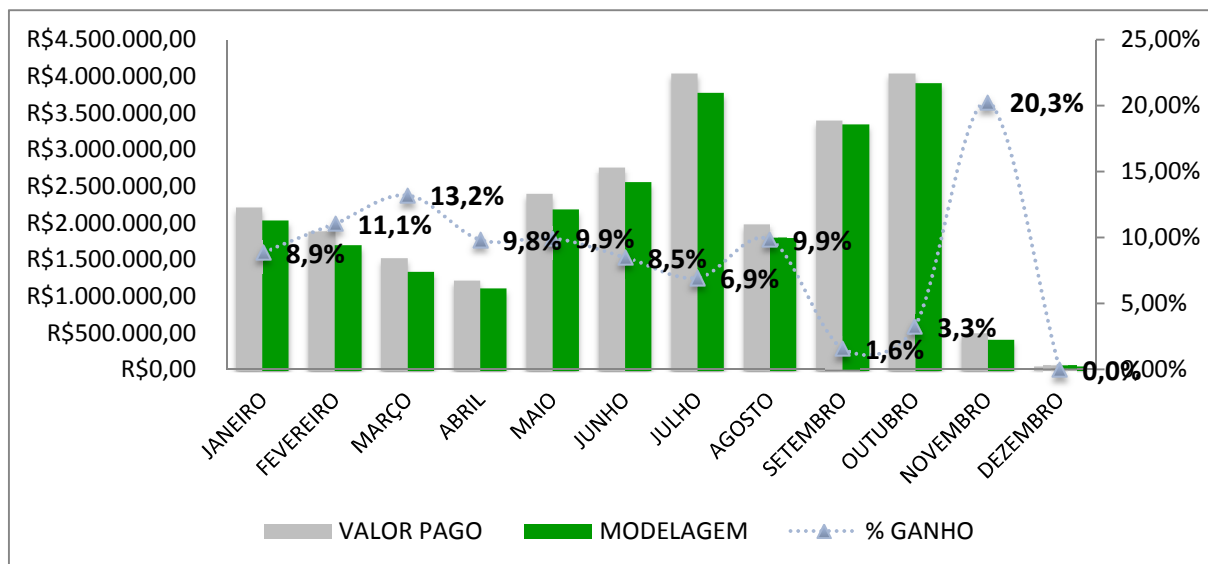


Gráfico 1: Resultado da Comparação entre Compra Real e Compra através da Modelagem Matemática, com os ganhos obtidos no Modelo mês a mês para a mesma quantidade adquirida.
Fonte: Autor.

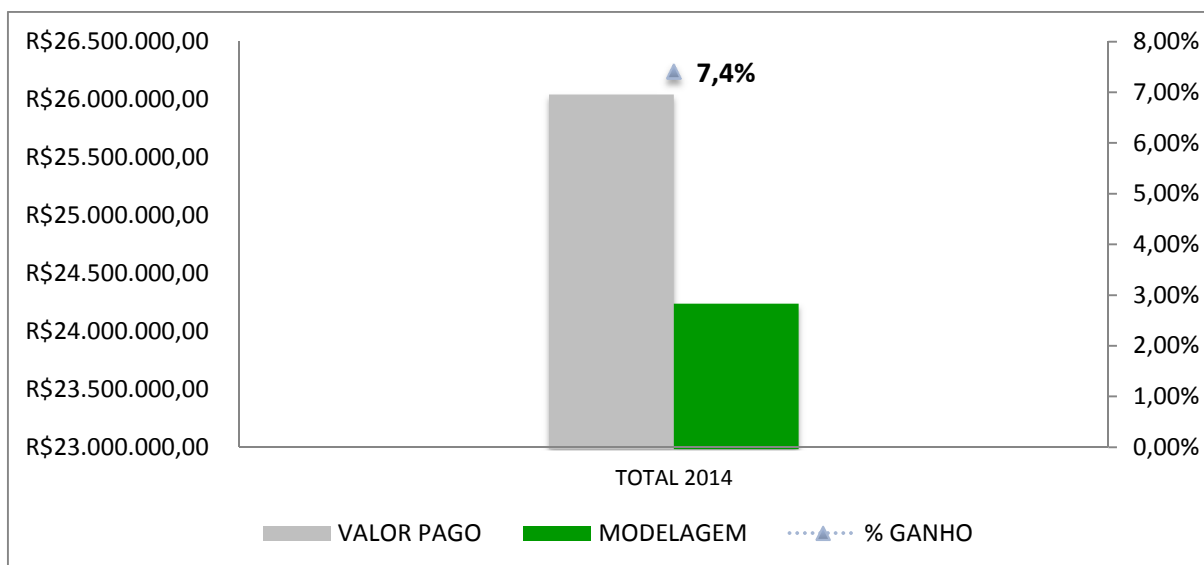


Gráfico 2: Resultado da Comparação entre Compra Real e Compra através da Modelagem Matemática, com o ganho Total obtido no Modelo para a mesma quantidade adquirida.
Fonte: Autor.

5. CONCLUSÃO

A modelagem em Programação Linear utilizada para a redução de custos com compra de Dormentes de Madeira na empresa RUMO ALL mostrou-se bastante satisfatória.

Os ganhos obtidos ficaram acima do potencial médio de ganho discutido em BODANESE (2005), de 1 a 5%, chegando, neste caso, a uma redução de 7,4% do custo total. Como esse estudo foi aplicado apenas na aquisição de Dormentes de Bitola Larga, o ganho real da Empresa com a utilização do Modelo de Programação Linear em Transportes pode ser ainda maior para o mesmo período analisado, considerando que a RUMO ALL também opera em Bitola Métrica e esta representa, em km, a maior extensão de sua concessão (Anexo 1).

A facilidade de obtenção dos resultados, após desenvolvimento do modelo, fará com que o Comprador otimize seu tempo de compra, pois ele saberá exatamente como criar seu pedido e ganhará maior embasamento para negociação de preços.

6. REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. T. **Inspeção de via permanente: um fator determinante no processo de direcionamento da manutenção ferroviária**. Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2009. Disponível em: <http://www.ufjf.br/engenhariadeproducao/files/2014/09/2011_1_Lucas.pdf>. Acesso em 06 de junho de 2015.

ANDRADE, Eduardo Leopoldino. **Introdução à Pesquisa Operacional, Métodos e Modelos para Análise de Decisão**. 2ª Edição, Rio de Janeiro. 2000. Editora LTC.

BODANESE, R. E.; Oliveira, J. A., Scalabrin, I.; Mores, C. J. **Teoria das restrições, pesquisa operacional e programação linear, estudo de caso com utilização do solver**. In: IX Congresso Internacional de Custos. Florianópolis, 2005. Disponível em: <http://www.intercostos.org/documentos/custos_412.pdf>. Acesso em 06 de junho de 2015.

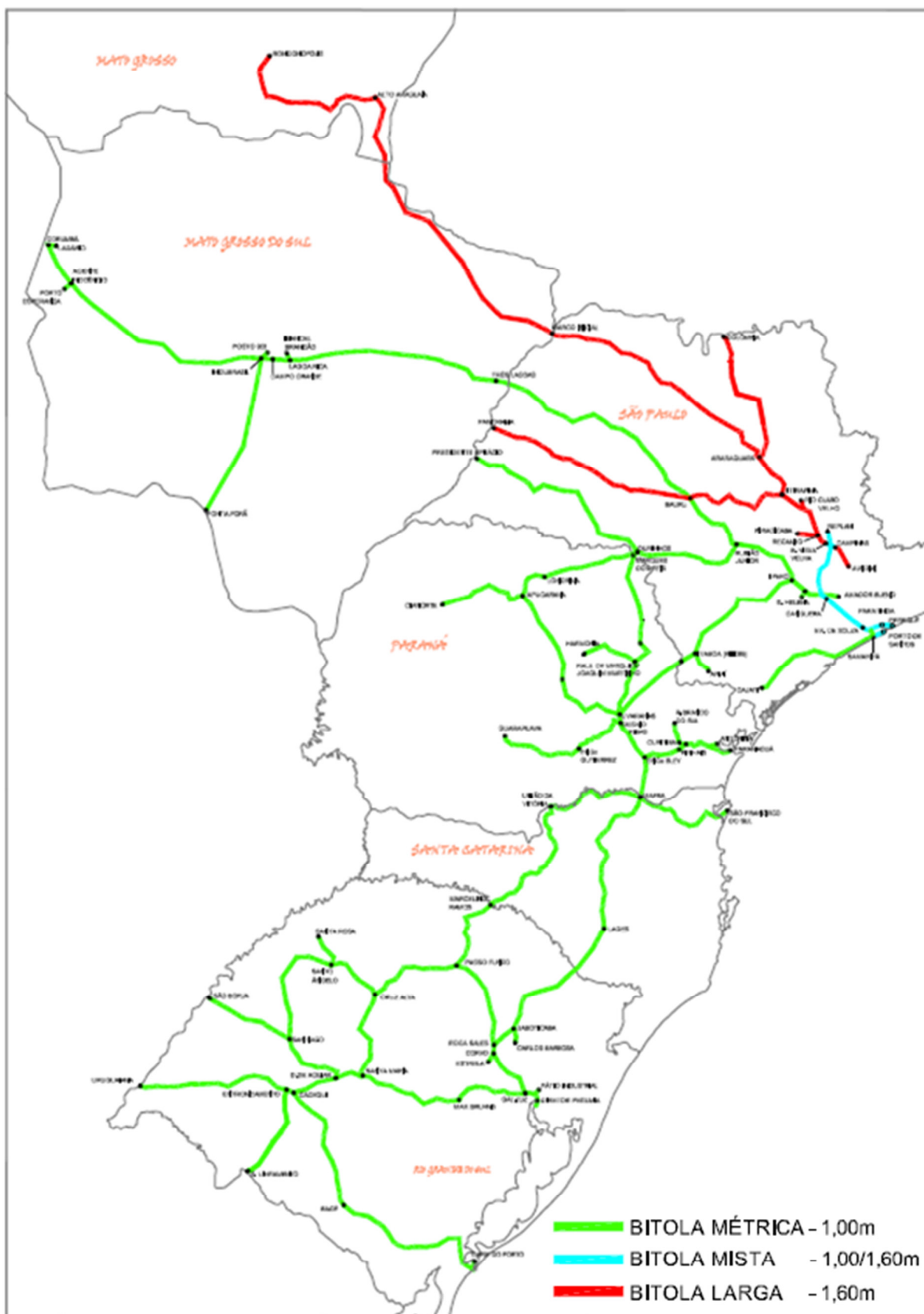
BRINA, H. L. **Estradas de Ferro 1 – Via Permanente**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2 ed, 1979.

RODRIGUEZ, L. C. E.; LIMA, A. B. H. P. M. **Utilização da programação linear na determinação de uma estratégia ótima de reforma de um talhão florestal**. IPEF, Piracicaba-SP 31 (1985): 47-53.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Contextos, Paradigmas e Sistema de Custeio**. In Congresso Gestão Estratégica de Custos, V. Fortaleza, 1998. Anais. Fortaleza, SEBRAE / SE, 1991, v. 1, p. 141-156.

Transporte Ferroviário – Ministério dos Transportes. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/transporte-ferroviario.html>>. Acesso em 12 de junho de 2015.

7. ANEXOS



Anexo 1: Mapa de Bitolas – Concessão RUMO ALL.
Fonte: Documentos Internos da RUMO ALL.