

**Fernanda Correia
Hamacher**

**Logística Ferroviária:
Resolução do Problema de
Alocação Ótima de Vagões
e Locomotivas no Curto
Prazo**

**DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
ELÉTRICA**

**Programa de Pós-graduação em
Engenharia Elétrica**

Rio de Janeiro
Junho de 2005

Fernanda Correia Hamacher

**Logística Ferroviária: Resolução do
Problema de Alocação Ótima de Vagões
e Locomotivas no Curto Prazo**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de
Engenharia Elétrica da PUC-Rio

Orientador: Prof. Oscar Porto

Co-Orientador: Prof. Eduardo Uchoa

Rio de Janeiro

Junho de 2005



Fernanda Correia Hamacher

**Logística Ferroviária: Resolução do
Problema de Alocação Ótima de Vagões
e Locomotivas no Curto Prazo**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Oscar Porto

Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica — PUC-Rio

Prof. Eduardo Uchoa

Co-Orientador

Departamento de Engenharia de Produção — UFF

**Prof. Marcus Vinicius Soledade Poggi de
Aragão**

Departamento de Informática – PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Eugenio Kahn Epprecht

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico —
PUC-Rio

Rio de Janeiro, 27 de Junho de 2005

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Fernanda Correia Hamacher

Graduou-se em Engenharia Elétrica na PUC-Rio. Durante sua graduação, foi bolsista CAPES de iniciação científica no depto. de Matemática e monitora de pesquisa operacional no depto. de Engenharia Industrial. Durante o Mestrado, foi bolsista do programa PICDT CAPES e desenvolveu um trabalho aplicado em logística ferroviária. Atualmente trabalha desenvolvendo outras soluções em logística utilizando técnicas de otimização.

Ficha Catalográfica

Hamacher, Fernanda Correia

Logística Ferroviária: Resolução do Problema de Alocação Ótima de Vagões e Locomotivas no Curto Prazo/ Fernanda Correia Hamacher; orientador: Oscar Porto; co-orientador: Eduardo Uchoa. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2005.

58f.; 30cm

Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Elétrica - Teses. 2. Logística ferroviária. 3. Programação inteira. 4. Multifluxo. 5. Pré-processamento. I. Porto, Oscar. II. Uchoa, Eduardo. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDD: 621.3

Aos meus pais, que me guiaram até aqui com todo carinho.

Agradecimentos

Agradeço à todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Oscar Porto, professor e orientador, pela oportunidade e confiança depositada em mim.

Ao Prof. Eduardo Uchoa e ao Prof. Marcus Poggi, pelas críticas e sugestões relevantes feitas ao longo desse trabalho.

Aos demais membros da banca, José Eugenio Leal e Eugenio Kahn Epprecht, que tão prontamente atenderam ao convite de composição de banca deste trabalho.

Aos amigos da GAPSO, em especial Marcelo Reis, Alexandre Pigatti, André de Oliveira e Lorenza Leão, que sempre estiveram dispostos a me ajudar.

Às minhas queridas amigas Maria Celina, Gabriela, Debora e Daniela. Em especial à minha grande amiga Fernanda Menezes que, além da amizade de sempre, ainda acompanhou todos os meus passos dentro do mestrado.

Ao Demetrius, por estar sempre ao meu lado, me dando amor, carinho, incentivo e compreensão.

À minha mãe, meu maior exemplo de vida, pelo estímulo e apoio incondicional de sempre.

Ao meu pai, meu ídolo, pela sensatez com que sempre me ajuda e por todas as suas sugestões impecáveis.

À minha irmã, que, apesar das suas implicâncias, sempre torceu por mim.

Aos demais membros da minha família, em especial às minhas queridas avós.

Resumo

Hamacher, Fernanda Correia; Porto, Oscar; Uchoa, Eduardo.
Logística Ferroviária: Resolução do Problema de Alocação Ótima de Vagões e Locomotivas no Curto Prazo. Rio de Janeiro, 2005. 58p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A alta complexidade do processo logístico de transporte ferroviário de carga, propicia um ambiente favorável para o desenvolvimento de ferramentas de apoio à decisão que possibilitam uma melhor utilização dos recursos envolvidos. Neste trabalho é apresentado um modelo de programação inteira original para o *Problema da Alocação ótima de Vagões e Locomotivas no curto prazo (PAVL)*. Esse problema consiste em determinar a movimentação de vagões (carregados e vazios) e locomotivas na malha de maneira a maximizar o retorno obtido pela demanda atendida no período considerado. Além disso, é apresentada uma extensão para esse modelo onde se permite atrasar ou adiantar trens no primeiro dia do horizonte de planejamento. Esse problema foi resolvido de maneira ótima ou quase ótima em tempo razoável, tanto em termos acadêmicos como para sua utilização prática. São apresentados o problema, a formulação do modelo, as técnicas de pré-processamento utilizadas, assim como resultados computacionais de instâncias reais.

Palavras-chave

Logística Ferroviária, Programação Inteira, Multifluxo, Pré-processamento.

Abstract

Hamacher, Fernanda Correia; Porto, Oscar; Uchoa, Eduardo.
Railway Logistics: Resolution of the Cars and Locomotives short-term Allocation Problem. Rio de Janeiro, 2005. 58p.
MSc. Dissertation — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The complexity of the logistic process in railway freight transportation provides a natural environment for the development of decision support tools that allow the companies to make a more efficient use of their resources. In this work we present an original integer programming model for the *Cars and Locomotives short-term Allocation Problem*. This problem consists in determining the movement of the cars (loaded and empty) and locomotives on the railway network in order to maximize the profit obtained with the requested demand in the given period. We also present an extension of the model in which certain delays and anticipations of trains on the first day of the period are allowed. For all instances tested, this problem was solved to optimality or near-optimality in a reasonable time, either for academic or practical purposes. We present a description of the problem, the mathematical formulation, the preprocessing techniques used, as well as the computational results obtained.

Keywords

Railway logistics, Integer programming, Network flows, Preprocess

Conteúdo

1	Introdução	11
1.1	Motivação	11
1.2	O problema real estudado	13
1.3	Organização da dissertação	14
2	Revisão Bibliográfica	15
2.1	Descrição dos problemas ferroviários	15
2.2	O modelo de multifluxos	18
3	Descrição do problema	21
3.1	Definições Básicas	23
3.2	Considerações	25
3.3	Metodologia de geração das possíveis composições de cada trem	26
3.4	Exemplo	27
4	Solução	32
4.1	Formulação matemática	32
4.1.1	Índices:	34
4.1.2	Conjuntos:	35
4.1.3	Parâmetros:	35
4.1.4	Dados:	36
4.1.5	Variáveis do problema:	36
4.1.6	Formulação	37
4.1.7	Variantes do modelo:	39
4.2	Extensão do modelo com ajuste na escala de trens	40
4.3	Extensão do modelo com ajuste na grade de trens	43
4.4	Pré-processamento	44
5	Resultados	49
6	Conclusão e Trabalhos Futuros	54
7	Bibliografia	57

Lista de Figuras

1.1	Situação atual da malha ferroviária brasileira	12
3.1	Exemplo de uma malha	27
4.1	Malha do fluxo de vagões do tipo V1	33
4.2	Malha do fluxo de locomotivas do modelo L1	34
4.3	Exemplo da aplicação do procedimento <i>Pre-Path</i> à figura 4.1, apenas mostrando a eliminação de vértices.	45
4.4	Exemplo da aplicação à figura 4.3 do pré-processamento que consolida dois pares de estações quando o tempo de parada do trem entre eles for pequeno.	46
4.5	Exemplo da aplicação à figura 4.2 do pré-processamento que consolida os arcos de locomotiva ativa por trem.	47
5.1	Malha ferroviária considerada	50

Lista de Tabelas

5.1	Resultados computacionais das instâncias do <i>PAVL</i> sem ajuste de horários.	51
5.2	Resultados computacionais das instâncias do <i>PAVL</i> permitindo ajuste na escala de trens.	52