



**Luciana Silveira Netto Nunes**

**Sistema de apoio à decisão ao centro de controle  
operacional no gerenciamento do tráfego ferroviário**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. José Eugenio Leal

Rio de Janeiro

Março de 2004



**Luciana Silveira Netto Nunes**

**Sistema de apoio à decisão ao centro de controle  
operacional no gerenciamento do tráfego ferroviário**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. José Eugenio Leal**

Orientador

PUC - Rio

**Prof. Maria Cristiana Fogliatti de Sinay**

IME

**Prof Nélío Domingues Pizzolato**

PUC - Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador(a) Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

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

### **Luciana Silveira Netto Nunes**

Graduou-se em Engenharia Civil na UPF (Universidade de Passo Fundo) em dezembro de 2001. Estagiou na área de transporte ferroviário de carga através da empresa ALL/Delara. A dissertação de Mestrado é relativa à área de transporte e logística (Engenharia de Produção). Esta pesquisa tem por objetivo conceber um sistema de apoio à decisão ao centro de controle operacional no gerenciamento do tráfego ferroviário. O sistema trata da solução de conflitos entre trens em via singela.

#### Ficha catalográfica

Nunes, Luciana Silveira Netto

Sistema de apoio à decisão ao centro de controle operacional no gerenciamento do tráfego ferroviário / Luciana Silveira Netto Nunes ; orientador: José Eugenio Leal. Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia industrial, 2004.

123 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial.

Inclui referências bibliográficas

1. Engenharia industrial – Teses. 2. Ferrovias – Tráfego. 3. Programação de trens e operação ferroviária. I. Leal, José Eugenio. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD:658.5

A meus pais Édison e Cléa.  
A Deus.

## **Agradecimentos**

A meus pais Édison e Cléa, pelo carinho, dedicação, apoio e incentivo.

Aos meus irmãos Alexandre, Maria Augusta, Eduardo e Andréa, pelo companheirismo.

Ao meu namorado Thadeu pelo carinho e apoio nos momentos difíceis, suprindo a falta da minha família.

Ao meu orientador José Eugenio Leal, pela confiança depositada, pelas sugestões, ensinamentos e ajuda.

A Carmen, pelos telefonemas sempre nas horas certas e pela amizade sincera.

A José Geraldo Ferreira, pela inestimável colaboração, abrindo as portas da MRS e apoiando no que fosse necessário para a realização desta pesquisa.

A Marcela, ao Giuberti e aos demais colaboradores da MRS pela cooperação.

Aos professores e funcionários do DEI.

Aos meus colegas de mestrado, em particular aos amigos Tamara, Rubens, Andréa e Adriana, pela colaboração nos momentos mais difíceis e pela boa convivência.

Aos amigos Maristâni e Luiz Eduardo.

Aos amigos que fiz aqui no Rio, agradeço a companhia e a amizade.

Aos professores examinadores, por aceitarem o convite de colaborar para a validação deste trabalho.

Ao CNPq, ao Fundo de transportes e a PUC-Rio, pelos auxílios que viabilizaram a realização deste trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram para que eu pudesse realizar este trabalho.

## Resumo

Nunes, Luciana Silveira Netto; Leal, José Eugenio. Sistema de apoio à decisão ao centro de controle operacional no gerenciamento do tráfego ferroviário. Rio de Janeiro 2004. 123 p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta pesquisa tem por objetivo conceber um sistema de apoio à decisão ao centro de controle operacional no gerenciamento do tráfego ferroviário. O sistema consiste na resolução de conflitos entre trens. Esta pesquisa justifica-se devido à deficiência encontrada pelos controladores de tráfego na tomada de decisões. Atualmente, as prioridades dos trens são pré-estabelecidas e, a partir da análise de um gráfico feito à medida que os eventos ocorrem, o planejamento do despacho de trens é realizado. As prioridades podem ser modificadas ao longo do dia, a partir de alguma ordem superior. Assim, existe a necessidade do desenvolvimento de um novo sistema que auxilie os controladores de tráfego na determinação da melhor solução para os conflitos entre trens.

Inicialmente, foram realizados os levantamentos bibliográficos e de dados. Na revisão bibliográfica, foram analisados o sequenciamento de trens, condições de ultrapassagem e de cruzamentos e modelos de programação de trens. Em seguida, foi aplicada uma heurística proposta por Leal (2003) desenvolvida a partir da formulação de Szpigel (1972) e implementada em um programa de computador, na linguagem *delphi*. Esta heurística apresenta uma solução para os conflitos entre trens. A aplicação foi baseada nos dados fornecidos pela empresa MRS logística, situada em Juiz de Fora (MG). A partir da solução gerada por Leal (2003), foi desenvolvido um gráfico no Excel, utilizando a linguagem *visual basic*, onde são analisadas as programações dos trens com a solução dos conflitos. O objetivo final desta pesquisa é sugerir uma ferramenta de auxílio para o gerenciamento do tráfego ferroviário, contribuindo para a evolução e eficiência das ferrovias no Brasil.

## Palavras-chave

Ferrovia, programação de trens e operação ferroviária.

## **Abstract**

Nunes, Luciana Silveira Netto; Leal, José Eugenio. Decision support system for the operational control center in the railroad traffic management. Rio de Janeiro 2004. 123 p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The objective of this research is to conceive a decision support system for the operational control center in the railroad traffic management. The system consists of the resolution of conflict between trains. The justification of this research is due to the deficiency founded by controllers of traffic in the decisions making. Currently, the trains priorities are previously established and, through the analysis of a done graph to the measure that the events go happening, these priorities can be modified. Thus, there is the necessity of the development of a new system which helps the controllers in the determination of the best alternative.

Initially, the bibliographical surveys and the data-collectings had been made. In the bibliographic revision, the sequenciament of trains, ultraticket and crossing conditions, and trains programming models had been analyzed. The next step was the application of an heuristic developed by Leal (2003), based in the formularization of Szpigel (1972), and implemented in a computer program, in the Delphi language, showing the solution of conflicts between trains. The application was based in the data of MRS logistic company, situated in Juiz De Fora (MG). From the solution generated for Leal (2003), a graph in the excel was developed, using visual basic language, and shows the programmings of the trains with conflits solution. The final objective is to suggest a tool for helping the railroad traffic management, contributing for the evolution and efficiency of the railroads in Brazil.

## **Keywords**

Railroad, train scheduling and railway operation.

# Sumário

1 INTRODUÇÃO	13
1.1. Objeto de pesquisa	13
1.2. Justificativa	15
1.3. Limitações da Pesquisa	16
1.4. Seqüência de apresentação da dissertação	17
2 PRINCIPAIS CONCEITOS	18
2.1. Definições básicas	18
2.2. Elementos da viagem do trem	21
2.3. Programação de trens	22
2.4. Ocupação de um trecho por um trem	23
2.5. Intervalo mínimo entre trens	25
2.6. Sequenciamento de trens em trechos completos	26
2.7. Análise de condições de ultrapassagem de trens em trecho completo	31
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
3.1. Visão Geral	33
3.2. Principais trabalhos	35
4 MODELO PROPOSTO	59
4.1. Problema proposto	59
4.2. Considerações básicas	61
5 MRS LOGÍSTICA	62
5.1. Malha da MRS Logística	62
5.2. Planejamento da operação	64
5.3. Sistemas utilizados na MRS	68
5.4. Ferrovia do Aço	73
6 CONCEPÇÃO BÁSICA DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO	78
6.1. Sistema proposto	78
6.2. Procedimento de solução do sistema proposto	80



6.3. Geração do gráfico	82
7 APLICAÇÃO	88
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES	98
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
ANEXOS	102
ANEXO 1: Malha ferroviária brasileira	102
ANEXO 2: Solução dos conflitos do exemplo 1	104
ANEXO 3: Solução dos conflitos do exemplo 2	111

## Lista de figuras

Figura 1: Trens viajando em sentido contrário (cruzamento)	19
Figura 2: Trens viajando no mesmo sentido (ultrapassagem)	20
Figura 3: Tempo de ocupação de uma seção de bloqueio por um trem	23
Figura 4: Intervalo mínimo de partida entre trem de carga e trem rápido.	27
Figura 5: Intervalo mínimo de chegada entre trem rápido e trem de carga.	28
Figura 6: Método de otimização <i>Branch-and-Bound</i>	37
Figura 7: Procedimento para solução de conflitos.	43
Figura 8: Representação das viagens dos trens com uma matriz de horários de entrada nos trechos.	47
Figura 9: Representação das viagens dos trens dados os horários em todas estações.	48
Figura 10: Atrasos dos trens.	57
Figura 11: Ciclo de vagão	59
Figura 12: Malha da MRS Logística no Brasil	62
Figura 13: Detalhe da malha da MRS Logística	63
Figura 14: Centro de Controle Operacional	66
Figura 15: Formação do Programa de Atividades dos Trens	69
Figura 16: Ferrovia do Aço, com suas respectivas estações.	74
Figura 17: Sistema Proposto	78
Figura 18: Procedimento de solução	80
Figura 19: Tela de entrada do sistema proposto (Sisfer).	82
Figura 20: Tela para abrir arquivo da solução de conflitos.	83
Figura 21: Tela de aviso que a operação foi concluída.	83
Figura 22: Tela para ver a solução e programação de amanhã.	84
Figura 23: Gráfico com as soluções dos conflitos.	84
Figura 24: Opção de zoom.	84
Figura 25: Tela para confirmação do zoom.	85
Figura 26: Tela para entrada do valor para execução do zoom.	85
Figura 27: Opção de escala.	85
Figura 28: Tela para a confirmação da escala.	85
Figura 29: Tela para a modificação na escala do gráfico.	86
Figura 30: Tela de solução dos conflitos com a escala modificada.	86
Figura 31: Solução gráfica dos conflitos	90

Figura 32: Solução gráfica dos conflitos	94
Figura 33: Comparação da solução de horário de partida de trens.	95
Figura 34: Comparação da solução de horários de chegada dos trens	96
Figura 35: Mapa da malha ferroviária brasileira	102
Figura 36: Mapa multimodal do território brasileiro	102
Figura 37: Concessionárias brasileiras	103

## Lista de tabelas

Tabela 1: Valores para o cálculo do intervalo mínimo de tempo	29
Tabela 2: Resultado do cálculo de intervalos mínimos de tempo.	30
Tabela 3: Eventos e tempos padrões das atividades.	70
Tabela 4: Consulta das operações dos trens	71
Tabela 5: Velocidade máxima permitida na ferrovia do aço	75
Tabela 6: Consumo de combustível por parada	76
Tabela 7: Programa de atividades do trem (PAT)	77
Tabela 8: Situação inicial sem a solução dos conflitos.	89
Tabela 9: Comparação da solução de horário de partida de trens.	91
Tabela 10: Comparação da solução de horários de chegada dos trens	92
Tabela 11: Situação inicial sem a solução dos conflitos.	93
Tabela 12: Solução dos conflitos entre trens do exemplo 1.	110
Tabela 13: Solução dos conflitos entre trens do exemplo 1.	123