

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Mario Antonio Pinheiro Bitencourt**

**Componentes de um sistema computacional  
para análise de sistemas logísticos**

**Dissertação de Mestrado  
(Opção profissional)**

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  
Setembro de 2005



**Mario Antonio Pinheiro Bitencourt**

**Componentes de um sistema computacional  
para análise de sistemas logísticos**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre (opção profissional) 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. José Roberto de Souza Blaschek**  
CCE - PUC-Rio

**Prof. Nélio Domingos Pizzolato**  
Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. José Eugênio Leal**  
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico / PUC-Rio  
Departamento de Engenharia Industrial / PUC-Rio

Rio de Janeiro, 21 de setembro de 2005

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

### **Mario Antonio Pinheiro Bitencourt**

Graduou-se em Engenharia Civil pela UFRJ em 1977. Pós-graduado em Engenharia de Transportes pela COPPE/UFRJ em 1979. Formado em Analista de Sistemas na CCE/PUC-Rio em 1986. É funcionário público federal do Ministério da Fazenda, cedido à Agência Brasileira de Inteligência no cargo de Analista

Bitencourt, Mario Antonio Pinheiro

Componentes de um sistema computacional para análise de sistemas logísticos / Mario Antonio Pinheiro Bitencourt ; orientador: José Eugenio Leal. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Industrial, 2005.

191 f. ; 30 cm

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

Inclui referências bibliográficas

1. Engenharia Industrial – Teses 2. Sistemas logísticos 3. Métricas. 4. Sistema de zoneamento. 5. Lote ótimo. I. Leal, José Eugenio. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Para o meu pai e minha mãe.

## Agradecimentos

Em primeiro lugar aos que estão em primeiro lugar na minha vida. À minha esposa Giselda e aos meus filhos, Julia e Eric, pelo carinho e paciência em todas as horas.

À Agência Brasileira de Inteligência, pelo apoio e cooperação.

Aos funcionários da Biblioteca da PUC e do CCE, em especial Fabiana Gomes, pela presteza e consideração.

Ao amigo Werley Martins, pela ajuda e dicas no DELPHI 7.0.

Aos meus colegas de curso, particularmente Marcelo Lavoratto, pela pronta ajuda e explicações.

Aos professores do curso, em especial Scavarda, Epprecht, Nélio e Sílvio pelo brilhantismo de suas aulas.

Ao meu orientador Professor José Eugenio Leal, pela majestosa idéia do tema, pelo estímulo, pela sabedoria e por dosar minhas divagações.

Por fim, ao Professor Antônio Galvão Novaes, pela criatividade, pela antecipação às novidades nas pesquisas e pela sua genialidade. Que Deus continue o iluminando!

## Resumo

Bitencourt, Mario Antonio Pinheiro. **Componentes de um sistema computacional para análise de sistemas logísticos**. Rio de Janeiro, 2005. 191 p. Dissertação de Mestrado (Opção profissional) - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta dissertação aborda os diversos problemas de dimensionamento e análise de transportes, armazenagem e distribuição física numa cadeia logística. Para cada abordagem são apresentados exemplos numéricos resolvidos através de algoritmos programáveis. Estes algoritmos compõem um software desenvolvido em Delphi 7.0, destinado à instrução de disciplinas sobre Sistemas Logísticos em cursos de pós-graduação.

## Palavras-chave

Software; Sistemas Logísticos;.

## **Abstract**

Bitencourt, Mario Antonio Pinheiro. **Components of software for the analysis of logistics systems.** Rio de Janeiro, 2005. 191 p. MSc Dissertation - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This dissertation approaches several problems in the dimensioning and analysis of transport, storing and physical distribution in a logistics chain. For each approach, numeric examples solved through programmable algorithms are presented. These algorithms make up a software tool developed in DELPHI 7.0 intended to facilitate postgraduate instruction in the field of logistics systems.

## **Palavras-chave**

Software; Logistics Systems.

# Sumário

1	Introdução	15
2	Métricas espaciais	17
2.1.	Definições	17
2.2.	Ponto central	25
2.2.1.	Métrica Euclidiana	25
2.2.2.	Métrica Retangular	33
3	Distribuição espacial aleatória	43
3.1.	A distância entre pontos próximos	46
4	Sistemas de coleta/distribuição	55
4.1.	Estimativa dos tempos e das distâncias associados ao serviço	56
4.2.	Restrições de capacidade e tempo	72
4.2.1.	Restrição por capacidade física do veículo	72
4.2.2.	Limitação do tempo de ciclo por jornada de trabalho da tripulação	79
4.3.	Organização espacial em zonas	91
4.4.	Divisão de uma região em sub-regiões	99
4.5.	Dimensionamento da frota e do número de zonas	106
5	Estratégias de distribuição	116
5.1.	Conceitos de custos	117
5.1.1.	Compensações nos custos	117
5.1.2.	O conceito de custo total	119
5.1.3.	O conceito do sistema total	120

5.2. Transferência direta indústria-consumidor	130
5.2.1. Estoque na fábrica (fase 1)	131
5.2.2. Estoque em trânsito (fase 2)	131
5.2.3. Estoque no agente de comercialização (fase 3)	136
5.2.4. Transferência do Produto	138
5.2.5. Lote econômico	143
5.3. A transferência via depósito de triagem	152
5.3.1. Sistema diferenciado de distribuição	163
6 Conclusões	178
Referências Bibliográficas	182
Anexo I: Resultado do programa SISLOG/Macro-logística/Lote Econômico	185
Anexo II: Resultado do programa SISLOG/Macro-logística/Distribuição via depósito de triagem/análise parametrizada	187
Anexo III: Resultado do programa SISLOG/Macro-logística/ periodicidade de despacho	190

## Lista de figuras

Figura 1 – Distância Euclidiana e Retangular	18
Figura 2 – Entrada de dados do SISLOG/Métricas Espaciais/Métrica Euclidiana	29
Figura 3 – SISLOG/Métricas Espaciais/Métrica Euclidiana/Resultado	32
Figura 4 – Gráfico da função $f_1(x) = 1 x-10  + 1 x-15  + 1 x-18 $	34
Figura 5 - Gráfico da função $f_2(y) = 1 y-10  + 1 y-20  + 1 y-9 $	36
Figura 6 - Entrada de dados do <b>SISLOG/Métricas Espaciais/ Métrica Retangular/Método Fibonacci</b>	38
Figura 7- Resultado do <b>SISLOG/Métricas Espaciais/ Métrica Retangular/ Método Fibonacci</b>	39
Figura 8 – Resultado do <b>SISLOG/Métricas Espaciais/ Métrica Retangular/ Método da Derivada</b>	42
Figura 9 - Ilustração de uma distribuição de Poisson	50
Figura 10 - Ilustração de uma distribuição “spread”	51
Figura 11 - Ilustração de uma distribuição “clustering”	52
Figura 12 - Processo de “spread” de Rogers	53
Figura 13 - Processo de “clustering” de Rogers	54
Figura 14 – Sistema de coleta/distribuição de uma zona.	56
Figura 15 – Divisão de uma zona em faixas conforme Daganzo	62
Figura 16 – Distâncias Euclidiana e Retangular na zona de Daganzo	63
Figura 17 – Gráfico da probabilidade de dois pontos aleatórios na zona de Daganzo	64
Figura 18 – Sobra média por excesso de carga	73
Figura 19 – Sobra por excesso de carga na Distribuição normal padronizada	74
Figura 20 – Gráfico da função $g(\eta)$	78
Figura 21 – Restrições de tempo de ciclo	80

Figura 22 – Probabilidades de ocorrência de $H_0$ e $H_1$	81
Figura 23 – Zona retangular de Daganzo	91
Figura 24 – As zonas de NOVAES E GRACIOLLI [1999]	94
Figura 25 – Disposição das zonas conforme NOVAES E GRACIOLLI [1999]	95
Figura 26 - Diagrama de Voronoi.	97
Figura 27 – Zoneamento segundo NOVAES [1991]	99
Figura 28 – Região de distribuição	100
Figura 29 – Exemplo 6.3 do NOVAES [1989].	104
Figura 30 – Entrada de dados do <b>SISLOG/Coleta/Distribuição/ Zonas de Distribuição</b>	105
Figura 31 - Resultados do <b>SISLOG/Coleta/Distribuição/ Zonas de Distribuição</b>	105
Figura 32 – Entrada de dados para o exemplo 6.4 do NOVAES [1989]	107
Figura 33 – Resultado do <b>SISLOG/Coleta-distribuição/Dimensionamento da Frota</b>	114
Figura 34 – Variação do custo médio por parada- exemplo 6.4/NOVAES[1989]	114
Figura 35 – Estratégias de distribuição física.	116
Figura 36 – Custos X Total de armazéns	118
Figura 37 – Custos X Melhor serviço ao cliente	119
Figura 38 – Custos X Média de nível de estoque	120
Figura 39 – Exemplo de distribuição de Daganzo	121
Figura 40 – Transferência direta indústria-consumidor	130
Figura 41 – Estoque na fábrica	132
Figura 42 – Estoque em trânsito (fase 2)	134
Figura 43 – Estoque em trânsito (fase 2)	135
Figura 44 – Estoque no agente da comercialização (fase 3)	136
Figura 45 – Entrada de dados do <b>SISLOG/Macro-logística/Lote econômico</b>	147

Figura 46 – Resultado do Lote Ótimo do programa <b>SISLOG/Macro-logística/Lote econômico</b>	148
Figura 47 – Variação do Lote econômico para a transferência direta	149
Figura 48 - Entrada de dados do <b>SISLOG/Macro-logística/Parametrizado de custos</b>	150
Figura 49 - Resultado do <b>SISLOG/Macro-logística/Parametrizado de custos</b>	150
Figura 50 – Gráfico da análise Parametrizada de Custos do programa <b>SISLOG/Macro-logística/Lote econômico</b>	151
Figura 51 - Resultado da análise de sensibilidade do programa <b>SISLOG/Macro-logística/Lote econômico</b>	152
Figura 52 – Transferência via depósito de triagem	153
Figura 53 - Entrada de dados do <b>SISLOG/Macro-logística/Distribuição via depósito de triagem/estratégia ótima</b>	158
Figura 54 – Resultado do <b>SISLOG/Macro-logística/Distribuição via depósito de triagem/estratégia ótima</b>	158
Figura 55 - Entrada de dados do <b>SISLOG/Macro-logística/Distribuição via depósito de triagem/análise parametrizada</b>	159
Figura 56 - Resultado do <b>SISLOG/Macro-logística/Distribuição via depósito de triagem/análise parametrizada</b>	160
Figura 57 - Gráfico da análise Parametrizada de Custos do programa <b>SISLOG/Macro-logística/ Distribuição via depósito de triagem/análise parametrizada (fluxo:10t)</b>	160
Figura 58 - Gráfico da análise Parametrizada de Custos do programa <b>SISLOG/Macro-logística/ Distribuição via depósito de triagem/análise parametrizada (fluxo:60t)</b>	160
Figura 59 - Gráfico da análise Parametrizada de Custos do programa <b>SISLOG/Macro-logística/ Distribuição via depósito de triagem/análise parametrizada (fluxo:100t)</b>	161
Figura 60 - Resultado do <b>SISLOG/Macro-logística/Distribuição via depósito de triagem/ponto de transição</b>	162
Figura 61 – Transição entre alternativas de distribuição	163

Figura 62 – Entrada de dados de **SISLOG/Macro-logística/ Periodicidade de despacho**

176

Figura 63 – Resultado de **SISLOG/Macro-logística/ Periodicidade de despacho**

177

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Pontos do exemplo de métrica euclidiana de FRANCIS et al [1992]	30
Tabela 2 – Pontos do exemplo do SISLOG/Métricas Espaciais/Métrica Euclidiana	31
Tabela 3 – Pontos para o exemplo do método de Fibonacci	34
Tabela 4 – Entrada de dados para <b>SISLOG/Métricas Espaciais/Métrica Retangular/Método Fibonacci</b>	38
Tabela 5 - Entrada de dados para <b>SISLOG/Métricas / Métrica Retangular/ Método da Derivada</b>	42
Tabela 6 – Características das sub-regiões	107
Tabela 7 - Exemplo de distribuição de Daganzo	122
Tabela 8 – Resumo do exemplo de custos de distribuição de Daganzo	127
Tabela 9 – Fórmula simplificada de custos de Daganzo	129