



**Manuela Coelho dos Passos**

**Dimensionando uma Frota Heterogênea  
de Veículos Ótima em Tamanho e Composição**

**Dissertação de Mestrado**

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

Orientador: José Eugênio Leal

Co-orientador: Madiagne Diallo

Rio de Janeiro  
Setembro de 2008



**Manuela Coelho dos Passos**

**Dimensionando uma Frota Heterogênea de Veículos  
Ótima em Tamanho e Composição**

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

**Prof. José Eugenio Leal**

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do Carmo**

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. Licinio da Silva Portugal**

PET/COPPE/UFRJ

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 24 de setembro de 2008

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

### **Manuela Coelho dos Passos**

Graduou-se em Engenharia de Produção na PUC-Rio em 2005. Participou do Programa de Iniciação Científica no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) em 2001.

#### Ficha Catalográfica

Passos, Manuela Coelho dos

Dimensionando uma frota heterogênea de veículos ótima em tamanho e composição / Manuela Coelho dos Passos ; orientador: José Eugênio Leal ; co-orientador: Madiagne Diallo. – 2008.

86 f. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Inclui bibliografia

1. Engenharia industrial – Teses. 2. Frota. 3. Dimensionamento. 4. Heterogênea. I. Leal, José Eugênio. II. Diallo, Madiagne. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

## Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. José Eugênio Leal pela ajuda e compreensão em me orientar.

Ao meu co-orientador, Prof. Madiagne Diallo pela ajuda, compreensão e paciência em me orientar.

À PUC e ao CNPq, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos meus pais, incentivadores contumazes, por terem desde cedo me orientado na direção de uma sólida formação acadêmica.

Ao Luis, meu marido, por entender a importância desta conquista e me apoiar nos momentos mais difíceis desta caminhada.

Ao Paulo Mendes por me apresentar o problema de sua empresa.

À Sra. Claudia Scofano pelas informações práticas que foram essenciais para o estudo de caso.

À querida tia Neide que me forneceu o laptop.

Aos meus colegas da PUC-Rio.

A todos os professores e funcionários do Departamento pelos ensinamentos e pela ajuda.

## Resumo

Passos, Manuela Coelho dos; Leal, José Eugênio; Diallo, Madiagne. **Dimensionando uma Frota Heterogênea de Veículos Ótima em Tamanho e Composição**. Rio de Janeiro, 2008. 86p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta dissertação tem como objetivo propor modelos matemáticos e ferramentas computacionais de assessoria na tomada de decisão para o dimensionamento da frota ótima de veículos. O trabalho apresenta modelos que visam reduzir os custos de transporte para uma frota heterogênea de veículos composta por veículos próprios e terceirizados. Os modelos são baseados em problemas de “*Bin Packing*”, Roteirização de veículos e dimensionamento de frotas heterogêneas e foram moldados para atender as necessidades da empresa em estudo. Os resultados obtidos na aplicação de cada modelo foram comparados e as ferramentas computacionais utilizadas foram analisadas para identificar os pontos positivos e negativos. Este trabalho também propõe um modelo que compara a compra de novos veículos com a terceirização das entregas quando a frota própria não é suficiente para atender a demanda.

## Palavras-chave

Dimensionamento; frota; heterogênea; programação linear; Problema de *Bin Packing*.

## Abstract

Passos, Manuela Coelho dos; Leal, José Eugenio; Diallo, Madiagne. **Optimal Design of a Heterogeneous Vehicle Fleet**. Rio de Janeiro, 2008. 86p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This dissertation aims to propose mathematical models and computational tools to optimize the dimension of a heterogeneous vehicle fleet in his size and composition. This work shows models that intend to reduce transportation cost for a heterogeneous fleet compose by own and third vehicles. The models are based in problems such as BPP- Bin packing problem, VRP – Vehicle routing problem and linear programming. The problems have been molded to attend the necessities of the company in the study of case. The results achieved in the application of each model were compared and the computational tools had been analyzed to identify positive and negative points. This work also proposes a model that compares the purchase of new vehicles with the delivery by third company when the own fleet is not enough to attend the demand.

## Keywords

Dimension; fleet; heterogeneous; linear programming; *Bin Packing Problem*.

## Sumário

1.Introdução	12
1.1.Justificativa	12
1.2.Objetivo Geral	13
1.3.Objetivos Específicos	13
1.4.Metodologia de Trabalho	14
1.5.Estrutura do Trabalho	15
2.Fundamentação Teórica	16
2.1.Dimensionamento da frota - Kirby, Wyatt e Gould	16
2.2.O Problema de Roteirização de Veículos – VRP (Vehicle Routing Problem)	18
2.3.Problema de Bin Packing (The Bin Packing Problem - BPP)	22
3. Formulação	25
3.1.Formulação do modelo considerando a frota heterogênea baseado no modelo de Gould (1969)	25
3.2.Formulação do modelo de dimensionamento pelo problema de roteirização da frota de veículos	30
3.3.Determinação da composição e do tamanho da frota pelo problema de <i>bin packing</i>	32
4.Estudos de Caso	37
4.1.Simulação dos modelos para o caso de frota heterogênea limitada	37
4.2.Descrição do processo de venda a entrega	38
4.3.Variações no nível de demanda	39
4.4.Regões Críticas	39
5.Tratamento dos dados	41
5.1.Custo de transporte por km rodado	43
5.2.Identificação das Regiões	44
5.3.Identificação das distâncias	46
5.4.Receita de Vendas por Região	48
6.Simulações	50
6.1.Critério de seleção dos dias para a simulação	50
6.2.Critério de Agrupamento por Regiões	51
6.3.Restrições	51
6.3.1.Número de Veículos	51
6.3.2.Número de clientes por tipo de caminhão	52
6.4.Resultados das Simulações	53
7.Compra de novos veículos ou terceirização?	55

8.Conclusão	62
8.1.Comparação dos modelos	62
8.2.Comparação dos Resultados	63
8.3.Pontos Críticos	67
8.4.Proposta para novos estudos	68
9.Referências Bibliográficas	70



## Lista de Tabelas

Tabela 1: Rendimento dos veículos	43
Tabela 2: Consumo de componentes	43
Tabela 3: Distância e área dos municípios de Rio de Janeiro	45
Tabela 4: Distância e área das Regiões Adm. da cidade RJ	46
Tabela 5: Seleção dos dias	50
Tabela 6: Método de <i>BPP</i> por cliente – dia 310507	53
Tabela 7: Método de <i>BPP</i> por peso - dia 310507	53
Tabela 8: Método de <i>BPP</i> por peso/cliente - dia 310507	53
Tabela 9: Método de <i>BPP</i> por distância - dia 310507	54
Tabela 10: Método de <i>PLI</i> software OPL - dia 310507	54
Tabela 11: Comparação de métodos e ordenações – dia 310507	54
Tabela 12: Peso por taxa de ocupação	58
Tabela 13: Dados aquisição de veículos	58
Tabela 14: Custo de Oportunidade	59
Tabela 15: Custo Total	59
Tabela 16: Quantidade de veículos (80% de ocupação)	60
Tabela 17: Dados	60
Tabela 18: Comparação entre compra e terceirização	60
Tabela 19: Comparações de Modelos	63
Tabela 20: Erro	64
Tabela 21: Resultados Custos	64
Tabela 22: Identificação dos motivos	66
Tabela 23: Método de <i>BPP</i> por cliente – dia 2	79
Tabela 24: Método de <i>BPP</i> por peso - dia 2	79
Tabela 25: Método de <i>BPP</i> por peso/cliente - dia 2	79
Tabela 26: Método de <i>BPP</i> por distância - dia 2	79
Tabela 27: Método de <i>PLI</i> software OPL - dia 2	79
Tabela 28: Comparação de métodos e ordenações – dia 2	79
Tabela 29: Método de <i>BPP</i> por cliente - dia 3	79
Tabela 30: Método de <i>BPP</i> por peso - dia 3	80
Tabela 31: Método de <i>BPP</i> por peso/cliente - dia 3	80
Tabela 32: Método de <i>BPP</i> por distância - dia 3	80
Tabela 33: Método de <i>PLI</i> software OPL - dia 3	80
Tabela 34: Comparação dos métodos e ordenações – dia3	80
Tabela 35: Método de <i>BPP</i> por cliente - dia 4	80
Tabela 36: Método de <i>BPP</i> por peso - dia 4	80
Tabela 37: Método de <i>BPP</i> por peso/cliente - dia 4	80
Tabela 38: Método de <i>BPP</i> por distância - dia 4	81
Tabela 39: Método de <i>PLI</i> software OPL - dia 4	81
Tabela 40: Comparação dos métodos e ordenações – dia 4	81
Tabela 41: Método de <i>BPP</i> por cliente - dia 5	81

Tabela 42: Método de <i>BPP</i> por peso - dia 5	81
Tabela 43: Método de <i>BPP</i> por peso/cliente - dia 5	81
Tabela 44: Método de <i>BPP</i> por distância - dia 5	81
Tabela 45: Método de PLI software OPL - dia 5	82
Tabela 46: Comparação dos métodos e ordenações – dia 5	82
Tabela 47: Método de <i>BPP</i> por cliente - dia 6	82
Tabela 48: Método de <i>BPP</i> por peso - dia 6	82
Tabela 49: Método de <i>BPP</i> por peso/cliente - dia 6	82
Tabela 50: Método de <i>BPP</i> por distância - dia 6	82
Tabela 51: Método de PLI software OPL - dia 6	82
Tabela 52: Comparação dos métodos e ordenações – dia 6	83
Tabela 53: Método de <i>BPP</i> por cliente - dia 7	83
Tabela 54: Método de <i>BPP</i> por peso - dia 7	83
Tabela 55: Método de <i>BPP</i> por peso/cliente - dia 7	83
Tabela 56: Método de <i>BPP</i> por distância - dia 7	83
Tabela 57: Método de PLI software OPL - dia 7	83
Tabela 58: Comparação dos métodos e ordenações – dia 7	83
Tabela 59: Método de <i>BPP</i> por cliente - dia 8	84
Tabela 60: Método de <i>BBP</i> por peso - dia 8	84
Tabela 61: Método de <i>BPP</i> por peso/cliente - dia 8	84
Tabela 62: Método de <i>BPP</i> por distância - dia 8	84
Tabela 63: Método de PLI software OPL - dia 8	84
Tabela 64: Comparação dos métodos e ordenações – dia 8	84

## Anexos

Anexo 1: Mapa das Regiões Adm. do Rio de Janeiro	76
Anexo 2: Matriz das Regiões Adm. do Rio de Janeiro	77
Anexo 3: Matriz municípios vizinhos do Rio de Janeiro	78
Anexo 4: Tabelas	79
Anexo 5: Formulação da PLI utilizando o OPL Ilog Studio	85
Anexo 6: Exemplo de dados de entrada para o OPL	86