

**Pontifícia Universidade Católica**  
Do Rio de Janeiro



**Eduardo Lima Resende**

**Canal de Distribuição Reverso na Reciclagem de Pneus:  
Estudo de Caso**

**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: Nélio Domingues Pizzolato

Rio de Janeiro, março de 2004



**Eduardo Lima Resende**

**Canal de Distribuição Reverso na Reciclagem de Pneus:  
Estudo de Caso**

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.

**Nélio Domingues Pizzolato**  
Orientador  
DEI PUC-Rio

**José Eugênio Leal**  
DEI PUC-Rio

**Leonardo Junqueira Lustosa**  
DEI PUC-Rio

**Prof. José Eugênio Leal**  
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

DEI PUC-Rio, 31 de março de 2004

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

### **Eduardo Lima Resende**

Graduou-se na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (Brasil) em 2000 no curso de Engenharia de Computação. Foi bolsista pelo CNPq para desenvolver sistemas matemáticos na área de engenharia de materiais. Ingressou no mercado de trabalho no banco de Investimentos BBM. Saiu do banco para montar uma franquia da Varig Logística, empresa que presta serviços de transporte aéreo de cargas. Após o fechamento da franquia, ganhou bolsa de mestrado pelo CNPq para o curso de Engenharia de Produção pela PUC-RJ. Finalmente, ingressou novamente no mercado de capitais quando foi trabalhar no banco Pactual.

#### Ficha Catalográfica

Resende, Eduardo Lima

Canal de distribuição reverso na reciclagem de pneus : estudo de caso / Eduardo Lima Resende ; orientador: Nélio Domingues Pizzolato. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Industrial, 2004.

120 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. Logística reversa. 3. Canal reverso de distribuição. 4. Reciclagem de pneus. I. Pizzolato, Nélio Domingues. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Para minha querida mãe, meu pai, minha avó Elsa e  
meu avô Leo. Minha Eterna gratidão

## **Agradecimentos**

A PUC-RJ, pela oportunidade de cursar o mestrado.

Ao CNPq, que financiou a bolsa ao longo desses dois anos.

Ao Bruno Costa, pelo contato com a empresa BS Colway.

Aos membros da BS Colway e Petrobrás, pelas informações concedidas.

Aos meus amigos do mestrado, pelos momentos de descontração.

A minha família, por estar sempre ao meu lado.

Ao meu orientador Nélio Pizzolato, pelo apoio na realização do trabalho.

A todos que de alguma forma participaram direta ou indiretamente para a conclusão do estudo.

## Resumo

Resende, Eduardo Lima. **Canal de Distribuição Reverso na Reciclagem de Pneus: Estudo de Caso.** DEI PUC-Rio, 2004. 120p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Há mais de um século a humanidade usufrui de um invento essencial ao desempenho, economia e conforto à rodagem de veículos: o pneu. Entretanto, o pneu tem uma vida útil limitada, caracterizada pela redução de suas ranhuras – até o limite que comprometa a estabilidade do veículo. Uma vez ultrapassada a vida útil, sobra uma carcaça, constituída por materiais de alta resistência e toxicidade, que vem sendo, simplesmente, descartada e lançada à natureza. Em consequência, o pneu é considerado hoje um dos maiores problemas ambientais do mundo. Além de demorar até 600 anos para se decompor, um pneu pode causar diversos malefícios para a sociedade e o meio ambiente, quando dispostos inadequadamente. É nesse contexto que a logística reversa pós-consumo vem se desenvolvendo, ou seja, estudando maneiras de como um produto descartado pela sociedade pode retornar ao ciclo de negócios. Este trabalho apresenta um estudo do problema logístico reverso na reciclagem industrial por pirólise com xisto de pneus. O objeto de estudo será o programa Paraná Rodando Limpo, um projeto desenvolvido no estado do Paraná, que coleta e recicla pneus descartados. Além de descrever os agentes envolvidos, traçar e caracterizar a rede reversa desde a captação, transporte e reciclagem dos pneus, um estudo de otimização de rotas foi proposto para tornar o processo mais eficiente.

## Palavras-chave

Logística Reversa, Canal de Distribuição Reverso, Reciclagem de Pneus.

## Abstract

Resende, Eduardo Lima. **Reverse Distribution Channels in Recycling of Tires: A Case Study**. DEI PUC-Rio, 2004. 120p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

For more than a century, the world civilization has benefited from an invention to essential the performance, cost reduction, and comfort of vehicles: the tire. However, the tire has a limited useful life, characterized by the reduction of its grooves, up to a limit that jeopardizes the stability of the vehicle. Once such useful life is exceeded, a carcass constituted by high-resistance and toxicity materials is discharged and thrown away in the environment. As a consequence, today the tire is considered one of the largest environmental problems in the world. It takes more than 600 years for a tire to decompose, resulting, when not properly disposed, in several problems to the society and its environment. In this context the post-consumption reverse logistics is being developed, namely, studying ways for a product that has been discarded by the society returning to the business cycle. This work presents a study of a reverse logistics problem in the industrial recycling of tires by pyrolysis with shale. The object of study will be the Parana Rodando Limpo project (Parana running in a clean way) developed by the State of Parana, which is in charge of collecting and recycling tires that are discharged. The study describes all the involved agents, outlines and characterizes the reverse logistics flows including the collection, the transport and the recycling of the tires and, in addition, proposes a routing optimization study in order to improve the efficiency of the process.

## Keywords

Reverse Logistics; Reverse Distribution Channel; Tires Recycling.

## Sumário

1	Introdução	12
1.1.	Objetivos	14
1.2.	Estrutura da Dissertação	15
1.3.	Metodologia da Pesquisa	16
2	Logística Reversa	18
2.1.	Conceito	18
2.2.	Dimensão da Logística Reversa	19
2.3.	Fluxo Reverso de Materiais	22
2.4.	Áreas de atuação	23
2.5.	Logística Reversa e o Meio Ambiente	26
2.6.	Sinais de tendência a descartabilidade	30
2.7.	Logística Reversa como arma competitiva	32
2.8.	Modelos de Distribuição Reversa	35
2.9.	Tipologia do fluxo reverso de bens semiduráveis	41
3	Reciclagem de pneus	48
3.1.	O pneumático	48
3.2.	Composição	49
3.3.	Ciclo de vida do pneu	51
3.4.	Mercado de Pneus	55
3.5.	Métodos de reciclagem do pneu	58
4	Estudo de Caso	64
4.1.	O Projeto	64
4.2.	Objetivos do programa	66
4.3.	Atores do fluxo reverso de pneus do Paraná Rodando Limpo	67



5 Análise dos Dados	81
5.1. Considerações Gerais	81
5.2. Estrutura da Cadeia Reversa de Pneus Descartados	82
5.3. Otimização de rotas de coleta – Algoritmo de Clarke e Wright	88
5.4. Proposta de modelo de distribuição reversa	98
6 Considerações Finais	100
6.1. Considerações Gerais	100
7 Referências Bibliográficas	107
Apêndice A	110
Roteiro de Entrevista	110
Anexo A	113
Resolução CONAMA	113
Anexo B	118
Fotos do Projeto Paraná Rodando Limpo	118

## Lista de figuras

Figura 1: Logística Reversa – Área de atuação e etapas reversas	24
Figura 2: Destino do bem de pós consumo quando descartado	25
Figura 3 : Integração entre fluxo direto e reverso	36
Figura 4 : Gerenciamento de estoque com retorno	39
Figura 5 : Integração entre fluxo direto e reverso	41
Figura 6 : Tipologia do fluxo reverso de um bem semi durável	43
Figura 7 : Composição química média de um pneu	50
Figura 8 : Ciclo de vida do pneu	53
Figura 9 : Logística reversa do pneu no Paraná Rodando Limpo	70
Figura 10 : Processo de reciclagem de pneus na usina PETROSIX	79
Figura 11 : Estrutura da rede reversa no Estudo de Caso	83
Figura 12 : Distribuição reversa do Paraná Rodando Limpo	86
Figura 13 : Cidades paranaenses utilizadas no estudo de otimização	91
Figura 14 : Rota ótima sugerida pelo algoritmo Clarke – Wright	97

## Lista de tabelas

Tabela 1 : Percentual de retorno por ramo de negócio	23
Tabela 2: Retornos em situações estratégicas da firma	33
Tabela 3: Composição química média de um pneu	51
Tabela 4: Comparação dos materiais contidos em pneus	51
Tabela 5 : Rendimentos obtidos na reciclagem de pneus	80
Tabela 6 : Distância das cidades indicadas até Piraquara	92
Tabela 7 : Tabela de economias e distância entre as cidades	93
Tabela 8 : Total da frota e coleta estimada nas cidades paranaenses	94
Tabela 9 : Lista ordenada de economias.	95