

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Logística reversa no setor automobilístico brasileiro: uma aplicação para o
estado de São Paulo**

Nadja Nara Lima Heiderich

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba
2016**

Nadja Nara Lima Heiderich
Economista

**Logística reversa no setor automobilístico brasileiro: uma aplicação para o estado de
São Paulo**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011 e reevi

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ VICENTE CAIXETA FILHO**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Economia Aplicada

**Piracicaba
2016**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Heiderich, Nadja Nara Lima

Logística reversa no setor automobilístico brasileiro: uma aplicação para o estado de São Paulo / Nadja Nara Lima Heiderich. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.
179 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Logística reversa 2. Setor automobilístico 3. *End of Life Vehicle (ELV)* I. Título

CDD 338.476292
H465L

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por me acompanhar nesta trajetória, me livrando de todo o mal, me disciplinando e me ajudando a ser bem sucedida nos projetos em que me engajo.

À minha família pelo apoio e paciência nestes anos dedicados ao estudo.

Ao meu marido, Clovis, pela compreensão, força nos momentos difíceis, encorajamento e todo carinho e amor do mundo.

Ao meu filho, que me supriu de forças para concluir esta pesquisa.

Agradeço ao professor Caixeta, pela orientação, dedicação, paciência e confiança depositadas em mim, para que a conclusão desta pesquisa fosse possível.

À Maria Pinheiro, à Lilian Maluf e ao José Eduardo Branco pelas sugestões e críticas, que foram fundamentais para o direcionamento da pesquisa.

À equipe do Esalq – Log, sempre a postos para ajudar no que fosse possível, em especial, ao Thiago Péra.

À equipe da Renova Ecopeças, especialmente, ao Eduardo de Sá Silva e ao Fábio Frasson, pelas importantes contribuições ao trabalho.

Ao Sr. Marco Saltini (Anfavea), pela acessibilidade e pelos esclarecimentos tão importantes à pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS.....	15
LISTA DE SIGLAS.....	17
1 INTRODUÇÃO	19
1.1 O problema e sua importância.....	19
1.2 Objetivos.....	20
1.3 Estrutura do trabalho	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO: ECONOMIA DO BEM-ESTAR	23
2.1 Função de bem-estar social.....	23
2.2 Condição de ótimo de pareto	25
2.3 Externalidades	27
2.3.1 Soluções ao problema da externalidade.....	31
2.4 Bens públicos.....	35
3 LOGÍSTICA REVERSA DE AUTOMÓVEIS.....	41
3.1 Logística reversa.....	41
3.2 Logística reversa no setor automobilístico	43
3.2.1 União Europeia.....	45
3.2.2 Estados Unidos	50
3.2.3 Ásia oriental.....	52
3.2.4 Países em desenvolvimento	54
3.3 Logística reversa no setor automobilístico brasileiro	58
3.3.1 Legislação.....	59
3.3.2 Práticas adotadas.....	62
4 MATERIAL E MÉTODO.....	67
4.1 Pesquisa qualitativa	67
4.2 Pesquisa quantitativa	68

4.2.1	Aplicação empírica de modelos matemáticos para a logística reversa	68
4.2.2	Modelo proposto	70
4.2.2.1	Especificação do modelo	71
4.2.2.2	Representação diagramática	72
4.2.2.3	Representação matemática	73
4.2.3	Especificação dos dados.....	77
4.2.3.1	Delimitação da área de estudo.....	77
4.2.3.2	Oferta de <i>elvs</i>	79
4.2.3.3	Parâmetros para os sucateiros.....	83
4.2.3.4	Parâmetros ambientais.....	84
4.2.3.5	Parâmetros dos centros de reciclagem.....	85
4.2.3.6	Parâmetros dos centros de disposição final	89
4.2.3.7	Custo de transporte das origens de <i>elvs</i> aos sucateiros	90
4.2.4	Cenários para a modelagem proposta	93
4.2.4.1	Cenário 1	93
4.2.4.2	Cenário 2	93
4.2.4.3	Cenário 3	94
4.2.4.4	Cenário 4	96
4.2.4.5	Cenário 5	96
4.2.4.6	Cenário 6	97
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	99
5.1	Pesquisa qualitativa.....	99
5.1.1	Estudo de caso 1.....	99
5.1.2	Estudo de caso 2.....	101
5.1.3	Estudo de caso 3.....	102
5.1.4	Estudo de caso 4.....	104
5.1.5	Compilação dos resultados da pesquisa qualitativa	105
5.2	Modelagem matemática	107
5.2.1	Cenário 1	107
5.2.2	Cenário 2	110
5.2.3	Cenário 3.....	113
5.2.4	Cenário 4.....	116

5.2.5	Cenário 5.....	119
5.2.6	Cenário 6.....	122
5.2.7	Análise de sensibilidade	125
5.3	Discussão dos resultados	127
6	CONCLUSÕES.....	131
	REFERÊNCIAS	135
	APÊNDICES	141
	ANEXOS	147

RESUMO

Logística reversa no setor automobilístico brasileiro: uma aplicação para o estado de São Paulo

A presente pesquisa teve como principal objetivo propor uma estrutura inicial para a implantação da logística reversa no setor automobilístico brasileiro. Para tanto, foi utilizado o método de pesquisa misto, compreendendo tanto a pesquisa qualitativa como a quantitativa. Para a parte qualitativa foram aplicados questionários a empresas do setor automobilístico, uma representando as montadoras, outra representando as seguradoras, desmanches e uma empresa que opera com sucata, no intuito de captar a percepção das mesmas quanto ao tema. Para a parte quantitativa, o ferramental utilizado foi o método de programação linear, sendo a aplicação do modelo realizada para o estado de São Paulo, devido à sua representatividade no setor automobilístico brasileiro e às ações já encaminhadas, neste estado, no sentido de implantação de uma logística reversa de automóveis de forma padronizada. Foram especificados seis cenários, para melhor análise do modelo, considerando, diferentes disponibilidades na oferta de automóveis, na capacidade instalada de sucateiros e no número de sucateiros. Na parte qualitativa, os resultados apontaram para a divergência quanto à opinião dos agentes, sugerindo que não há um consenso formado quanto à implantação da logística reversa no setor automobilístico brasileiro. Na parte quantitativa, os resultados da aplicação do modelo matemático apontam para a viabilidade de implantação deste processo e para a necessidade de ampliação da capacidade de instalada para reciclagem de metais.

Palavras chave: Logística reversa; Setor automobilístico; *End of Life Vehicle (ELV)*

ABSTRACT

Reverse logistics in the Brazilian automotive sector: an application to the State of São Paulo

This research aimed at proposing an initial framework for the implementation of reverse logistics in the Brazilian automotive industry. For this, it was used the mixed research method, comprising both qualitative and quantitative research. For the qualitative part, questionnaires were applied to companies in the automotive sector, representing the automakers, another representing insurers, miscarriages and also a company that operates scrap in order to capture the perception of them for the subject. In the quantitative part, the tool used was the linear programming method, being the application made to State of São Paulo, due to its share in the Brazilian automotive industry and the actions already under way in this state, to implement reverse logistics vehicles in a standardized way. Six scenarios were specified, for better analysis of the model, considering different availabilities in car supply, the installed capacity of scrap and the number of scrap dealers. In the qualitative part, the results pointed to the divergence for the views of the agents, suggesting that there is no consensus formed about the implementation of reverse logistics in the Brazilian automotive industry. In the quantitative part, the results of the application of the mathematical model point out to the implementation of this process feasibility and the need for the increase in the installed capacity for metal recycling.

Keywords: Reverse logistics; Automotive sector; End of Life Vehicle (ELV)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ótimo geral de Pareto.....	26
Figura 2 – Equilíbrio de mercado na presença de externalidades	30
Figura 3 – Produção ótima de um bem público.....	39
Figura 4 – Fluxo de materiais para reciclagem e disposição de <i>ELV</i> na União Europeia.	46
Figura 5 – Taxas de reuso e recuperação, reuso e reciclagem de <i>ELVs</i> , em países da Europa, em 2011.....	49
Figura 6 – Cenário de reciclagem e partes relacionadas de <i>ELV</i> , em Taiwan.....	52
Figura 7– Estado atual da indústria de reciclagem e desmanche, na China	54
Figura 8 – Procedimento de gerenciamento de <i>ELVs</i> , no Irã	56
Figura 9 – Fluxo dos <i>ELVs</i> e de materiais a partir dos mesmos	73
Figura 10 – Estimativa da frota de automóveis nos estados do Brasil, em percentagem	77
Figura 11 – Regiões Administrativas do estado de São Paulo	79
Figura 12 – Gerenciamento de <i>ELVs</i> no Brasil	105
Figura 13 – Análise Swot	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tamanho e participação relativa da frota de automóveis nos municípios do estado de São Paulo	78
Tabela 2 – Número de sinistros de automóveis de passeio por perda total, por região do estado de São Paulo, no 1º semestre de 2015	80
Tabela 3 – Número de automóveis leiloados nas Regiões Administrativas do estado de São Paulo, em 2015	81
Tabela 4 – Oferta de <i>ELVs</i> em cada região administrativa, em toneladas.....	82
Tabela 5 – Número e capacidade dos sucateiros no estado de São Paulo, em t/ano	83
Tabela 6 – Parâmetros ambientais	84
Tabela 7 – Composição dos materiais recicláveis, em termos do peso total de um automóvel.....	85
Tabela 8 – Número de centros de reciclagem nas Regiões Administrativas do estado de São Paulo, por tipo de material, em 2015	86
Tabela 9 – Capacidade média anual dos centros de reciclagem, por tipo de material, em t/ano, no estado de São Paulo, em 2015	87
Tabela 10 – Capacidade de reciclagem das Regiões Administrativas do estado de São Paulo, em t/ano, por tipo de material, em 2015	88
Tabela 11 – Preço de venda dos materiais para os recicladores, R\$/t, em 2015	89
Tabela 12 – Localização e capacidade das unidades de tratamento de resíduos, no estado de São Paulo, em t/ano	90
Tabela 13 – Capacidade instalada dos sucateiros para o Cenário 2	93
Tabela 14 – População e participação relativa nas Regiões Administrativas do estado de São Paulo, em 2003	95
Tabela 15 – Frota de automóveis com ano de fabricação inferior ao ano de 2002, em cada Região Administrativa do estado de São Paulo	96
Tabela 16 – Montante de <i>ELVs</i> usado no Cenário 5, em t/ano.....	97
Tabela 17 – Fluxos de <i>ELVs</i> da origem aos sucateiros para o Cenário 1, em toneladas	108
Tabela 18 – Fluxos de materiais dos sucateiros aos recicladores para o Cenário 1, em toneladas	109
Tabela 19 – Fluxos de resíduos dos sucateiros às unidades de tratamento para o Cenário 1, em toneladas	109
Tabela 20 – Fluxos de <i>ELVs</i> da origem aos sucateiros para o Cenário 2, em toneladas	110
Tabela 21 – Fluxos de materiais dos sucateiros aos recicladores para o Cenário 2, em toneladas	111
Tabela 22 – Fluxos de resíduos dos sucateiros às unidades de tratamento para o Cenário 2, em toneladas	113
Tabela 23 – Fluxos de <i>ELVs</i> da origem aos sucateiros para o Cenário 3, em toneladas	114
Tabela 24 – Fluxos de materiais dos sucateiros aos recicladores para o Cenário 3, em toneladas	115
Tabela 25 – Fluxos de resíduos dos sucateiros às unidades de tratamento para o Cenário 3, em toneladas	116

Tabela 26 – Fluxos de <i>ELVs</i> da origem aos sucateiros para o Cenário 4, em toneladas.....	117
Tabela 27 – Fluxos de materiais dos sucateiros aos recicladores para o Cenário 4, em toneladas.....	117
Tabela 28 – Fluxos de resíduos dos sucateiros às unidades de tratamento para o Cenário 4, em toneladas.....	118
Tabela 29 – Fluxos de <i>ELVs</i> da origem aos sucateiros para o Cenário 5, em toneladas.....	120
Tabela 30 – Fluxos de materiais dos sucateiros aos recicladores para o Cenário 5, em toneladas.....	121
Tabela 31 – Fluxos de resíduos dos sucateiros às unidades de tratamento para o Cenário 5, em toneladas.....	122
Tabela 32 – Fluxos de <i>ELVs</i> da origem aos sucateiros para o Cenário 6, em toneladas.....	123
Tabela 33 – Fluxo de materiais dos sucateiros aos recicladores para o Cenário 6, em toneladas.....	124
Tabela 34 – Fluxos de resíduos dos sucateiros às unidades de tratamento para o Cenário 6, em toneladas.....	124
Tabela 35 – Consolidação dos resultados dos cenários 1 a 6.....	125
Tabela 36 – Capacidade ociosa dos sucateiros e recicladores, em toneladas	127
Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas	151
Tabela 38 – Custo de transporte das Regiões Administrativas aos potenciais municípios receptores de resíduos	174
Tabela 39 – Custo de transporte entre as Regiões Administrativas do Estado de São Paulo	178

LISTA DE SIGLAS

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

ANRAP – Associação Nacional dos Remanufaturadores de Autopeças

ASR – *Auto Shredder Residue*

ATF – *Authorized Treatment Facility*

CEFET - MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CMgE – Custo Marginal Externo

CMgP – Custo Marginal Privado

CMgS – Custo Marginal Social

Denatran – Departamento Nacional de Trânsito

Detran.SP – Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo

ELV – *End of Life Vehicle*

EPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

EPR – Responsabilidade Estendida ao Produtor

FENSEG – Federação Nacional de Seguros Gerais

ICMS – Imposto sobre Mercadorias e Serviços

IPVA – Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores

JICA – Agência Internacional do Japão

PIB – Produto Interno Bruto

RFMB – *Recycling Fund Management Board*

SMA – Secretaria de Meio Ambiente

SSP – Secretaria de Segurança Pública

SUSEP – Superintendência de Seguros Privados

TEPA – *Taiwan Environmental Protection Administration*

1 INTRODUÇÃO

1.1 O problema e sua importância

Apenas recentemente, o correto descarte de veículos automotores passou a fazer parte da pauta ambiental e social da maioria dos países produtores, tanto desenvolvidos como em desenvolvimento. Devido à crescente pressão, o processo da logística reversa de veículos vem ganhando espaço cada vez maior, sendo apontado como uma possível solução ao correto gerenciamento dos veículos em fase do pós-consumo.

Entretanto, o estado da arte com respeito a este problema é distinto conforme as características dos diversos países. Alguns possuem leis específicas, que transferem a responsabilidade ao produtor no pós-consumo; já em outros, essa responsabilidade não está bem definida, deixando o próprio mecanismo de mercado como agente regulador.

No Brasil, apesar do setor automobilístico se configurar como importante elemento do PIB Industrial, não há uma cultura de gerenciamento de veículos em fim da vida, nem leis que transfiram às montadoras nacionais a responsabilidade quanto ao produto no pós-venda. Segundo informação da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea), a participação da indústria automobilística no PIB Industrial bateu um recorde, em 2010, ao alcançar 19,5%.

Um fator que dificulta a implantação da logística reversa no setor automobilístico brasileiro é a questão do mercado de veículos usados e dos desmanches clandestinos, sendo que alguns passos já foram dados no sentido da reversão deste problema. Como tentativa à redução do índice de roubos e furtos, criou-se a lei do desmanche, que permite apenas que desmanches regularizados possam operar, exigindo a comprovação da procedência de peças e de componentes automotivos comercializados.

Outro fator limitante que se coloca diz respeito à falta de conhecimento quanto aos processos utilizados na logística reversa de veículos. São raros os trabalhos acadêmicos que abordem o tema no Brasil, justificado, talvez, pela desorganização e pelas escassas iniciativas existentes na vida real ou pelo lado do setor público, que ainda não observa um delineamento explícito sobre qual política deva ser seguida, de maneira a promover uma gestão mais adequada deste problema.

Algumas iniciativas pontuais vêm sendo adotadas, tanto pelo poder público, como pela iniciativa privada, principalmente, no estado de São Paulo, foco de estudo nesta pesquisa, devido à sua relevância para o setor automobilístico brasileiro.

Entretanto, tais ações carecem de um direcionamento, de maneira a padronizá-las, tornando-as mais eficientes, culminando em ganhos de escala e expansão.

Apesar da complexidade do tema e devido à escassez de trabalhos relacionados ao mesmo, o estudo da implantação da logística reversa no setor automobilístico brasileiro torna-se relevante tanto por questões inerentemente ambientais e para promoção do bem-estar social, como para a melhor compreensão do setor, havendo a possibilidade de se transformar em ganhos de competitividade dos produtores nacionais, nos diversos setores envolvidos, uma vez que há uma tendência mundial na adoção desse tipo de sistema.

1.2 Objetivos

O objetivo central do presente estudo é propor uma estrutura inicial para a implantação de logística reversa de automóveis no Brasil, através de modelagem matemática de otimização, procurando servir como ferramental de apoio para a tomada de decisão dos agentes econômicos envolvidos neste processo. Como objetivos secundários, pretende-se: 1) revisar os diversos modelos de logística reversa adotados no mundo; 2) abordar a situação do gerenciamento dos automóveis em fim da vida útil, no Brasil; 3) demonstrar como o modelo matemático de otimização proposto pode ser aplicado, através de aplicação para o estado de São Paulo, de maneira a auxiliar o planejamento estratégico de reciclagem de *ELVs*.

1.3 Estrutura do trabalho

Esta pesquisa é estruturada em cinco capítulos, além desta introdução. No capítulo 2 é apresentado o referencial teórico sobre a Teoria do Bem-estar Social, tratando das ineficiências de mercado causadas pelas externalidades e bens públicos, que são problemas relacionados aos veículos em fim da vida útil. No Capítulo 3 é realizada uma revisão de literatura sobre do que trata a logística reversa, enfatizando a logística reversa de automóveis, bem como os modelos de logística reversa para *ELVs* adotadas no mundo, abordando a situação do Brasil dentro do tema. No capítulo 4 define-se a metodologia utilizada, através do método de pesquisa mista, utilizando aplicação de questionários para a parte qualitativa e o

método de programação linear para a parte quantitativa. No Capítulo 5 se encontram os resultados da pesquisa e discussão dos mesmos. Por fim, no Capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões relacionadas ao desenvolvimento desta tese.

2 REFERENCIAL TEÓRICO: ECONOMIA DO BEM-ESTAR

2.1 Função de bem-estar social

A economia do bem-estar surgiu, não para explicar eventos observáveis, mas para avaliar o desejo de instituições e os supostos resultados das escolhas econômicas. É muito comum se falar a respeito dos “benefícios para a sociedade”, ou de surgir indivíduos que representem os desejos de determinado grupo social. É comum, também, se ouvir que “o congestionamento nas estradas é muito grande”, ou que “determinada tarifa ou imposto causa uma grande distorção em termos de alocação de recursos” (SILBERBERG, 1990).

Essas afirmações sugerem a existência de certa harmonia entre os interesses de determinados elementos representativos num grupo e o próprio grupo, e que tais considerações possam ser extrapoladas, de maneira a representar os interesses deste grupo. Implica-se, desta forma, a existência de uma função de preferências individuais, que representem a utilidade ou o bem-estar deste grupo como um todo (SILBERBERG, 1990).

Esse tipo de função foi primeiramente abordado por Bergson (1938), possuindo o seguinte formato

$$W = f(U^1, \dots, U^n) \quad (1)$$

onde, U^1, \dots, U^n representam as funções de utilidade de cada indivíduo de um grupo ou de toda a economia.

A função de bem-estar social fornece um método de se classificar as diferentes alocações com base apenas nas preferências individuais dos agentes econômicos, sendo crescente na utilidade de cada indivíduo (VARIAN, 2012).

Arrow (1963) apresenta cinco condições que qualquer função de bem-estar social deva seguir:

- 1) a função de bem-estar social pode ser definida para todos os conjuntos de ordenação das preferências individuais, que obedecem algum tipo de hipótese sobre comportamentos individuais, como é o caso da convexidade de preferências;

- 2) a função de bem-estar social deve reagir na mesma direção das preferências individuais, conforme hajam alterações destes valores, ou seja, deve descrever o bem-estar e não o mal-estar;
- 3) a terceira condição descreve a independência de alternativas irrelevantes, onde a ordenação de duas alternativas permanece inalterada quando da adição ou remoção de uma alternativa qualquer;
- 4) a função de bem-estar social não pode ser imposta;
- 5) a função de bem-estar social não pode ser ditatorial.

Entretanto, se for possível satisfazer as três primeiras condições, não há como a função de bem-estar social não ser imposta ou ditatorial. Isso porque, em uma democracia não existe uma maneira perfeita de tomar decisões sociais, nem de agregar as preferências individuais para construir uma preferência social. Para isso, torna-se necessário abrir mão de uma das três primeiras condições. Esse resultado é chamado de Teorema da Impossibilidade de Arrow (VARIAN, 2012).

Outra interpretação deste resultado deriva da noção de que mais é preferido a menos. Existe uma fronteira de possibilidades para os consumidores em uma sociedade. Qualquer movimento ao longo desta fronteira impactará em ganhos para alguns indivíduos e perdas para outros. Não é possível se afirmar que retirando um ganho de um indivíduo e transferindo para outro, o bem-estar social seja superior, sem uma medida de comparação entre os ganhos para alguns e perdas para outros (SILBERBERG, 1990).

Diante da impossibilidade de se construir uma função de bem-estar social que condiga com estas condições, optou-se por um critério mais fraco para avaliar esse tipo de situação. Este critério é chamado de Condição de Pareto, o qual afirma que: um estado social **a** é preferido a outro estado social **b**, se pelo menos um indivíduo estiver melhor em **a** do que em **b** e ninguém estiver pior (SILBERBERG, 1990).

Desta forma, se um estado **a** for preferido a **b**, no sentido de Pareto, diz-se que **a** seja Pareto - superior a **b**. Ao longo de uma determinada fronteira de possibilidades da economia, que não apresente nenhum ponto Pareto – superior, qualquer movimento ao longo da mesma, causa uma perda para pelo menos um indivíduo. Os pontos onde esta circunstância acontece são chamados de ótimo de Pareto (SILBERBERG, 1990), que são abordados na próxima seção.

2.2 Condição de ótimo de Pareto

Numa situação em que se considere os consumidores 1 e 2, e a produção dos bens x e y , os pontos ótimos no sentido de Pareto, surgem a partir da solução de maximização do seguinte problema:

$$\text{Max } U_2(x_2, y_2) \quad (2)$$

sujeito a

$$U_1(x_1, y_1) = U_1^0 \quad (3)$$

$$h(x_1 + x_2, y_1 + y_2) = 0 \quad (4)$$

onde, a eq. (1) representa a função de utilidade do consumidor 2, a eq. (2) representa a função de utilidade do consumidor 1 e a eq. (3) representa a função da fronteira de possibilidades de produção dos bens x e y .

Solucionando através do método do multiplicador de Lagrange, chega-se ao seguinte resultado¹:

$$\frac{U_1^x}{U_1^y} = \frac{U_2^x}{U_2^y} = -\frac{\partial y}{\partial x} \quad (5)$$

Isso significa que, para se atingir o ótimo de Pareto, para o consumo e produção simultaneamente, a taxa marginal de substituição entre os dois bens deve ser a mesma para todos os indivíduos e deve, ao mesmo tempo, ser igual ao custo marginal de produção de um bem em relação ao outro bem.

Graficamente, a condição geral para o ótimo de Pareto pode ser visualizada através da Figura 1:

¹ Para derivação completa vide Silberberg (1990).

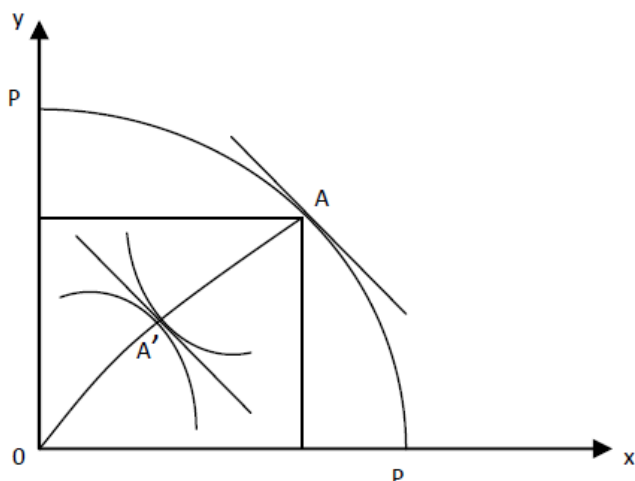


Figura 1 - Ótimo geral de Pareto

Fonte: Silberberg (1990)

A curva PP representa a fronteira de possibilidades de produção dos bens x e y . A partir do ponto A, que representa o custo marginal de se produzir o bem x , o diagrama da caixa de Edgeworth² é construído. A curva que cruza a caixa de Edgeworth é a curva de contrato, demonstrando os pontos onde os ganhos com as trocas entre os dois bens, para os dois consumidores, se exaurem, sendo todos ótimos no sentido de Pareto. Entretanto, apenas um destes pontos é adequado para a situação geral de ótimo de Pareto. No caso, o ponto A', onde a taxa marginal de substituição entre os dois bens iguala a inclinação da reta tangente em A.

Para cada ponto da fronteira de possibilidades de produção, uma nova caixa de Edgeworth pode ser construída, de maneira que seja possível encontrar outros pontos para a condição geral de ótimo de Pareto. Assim, uma grande fronteira de utilidade pode ser construída a partir dos conjuntos de ótimos de Pareto. A escolha de qual ponto seja o melhor para a sociedade implica julgamento de valor, estando fora do escopo da economia positiva (SILBERBERG, 1990).

Outro ponto importante a ser ressaltado quanto à condição de ótimo de Pareto, se refere a dois teoremas que derivam das condições de maximização apresentadas.

² A caixa de Edgeworth é uma ferramenta gráfica que pode ser utilizada para analisar a troca de dois bens entre duas pessoas, até que os ganhos de troca sejam exauridos, visualizados pela condição de tangência das curvas de indiferença destes dois indivíduos.

O primeiro teorema, conhecido como Primeiro Teorema da Teoria Econômica do Bem-Estar, garante que todos os equilíbrios de mercado são eficientes no sentido de Pareto, pois irão esgotar todos os ganhos com as trocas (VARIAN, 2012).

Entretanto, este teorema não é válido na presença de interdependência das funções de utilidade dos consumidores e da interdependência das funções de produção dos produtores (SILBERBERG, 1990). Este problema é conhecido como o de externalidades, sendo objeto de estudo da próxima seção.

Assim, na ausência de externalidades, em uma economia perfeitamente competitiva, nenhum indivíduo é apto a aumentar seus ganhos, sem com isso fazer com que alguém esteja em pior situação.

O Segundo Teorema da Teoria Econômica do Bem-estar afirma que existe uma alocação em competição perfeita para todo ótimo geral de Pareto. Isto é, começando a análise em qualquer ponto na fronteira de possibilidades de produção, existe uma solução competitiva que leva a um ótimo de Pareto (SILBERBERG, 1990).

Este teorema implica que os problemas de distribuição e eficiência possam ser separados. Assim, quaisquer que sejam os critérios a respeito da distribuição justa de bem-estar, pode-se utilizar os mecanismos de mercado para alcançá-la (VARIAN, 2012).

Porém, essa proposição gera certa confusão quando se aborda discussões sobre política econômica. Se as políticas econômicas interferirem nas decisões de preços, gerarão ineficiência nos mercados, pois afetará as escolhas dos consumidores, dado que a decisão marginal de se consumir mais ou menos depende da distribuição de preços (VARIAN, 2012).

De outro modo, se o governo decidir interferir na dotação inicial dos agentes, como por exemplo, taxando um consumidor e transferindo para outro, não haverá perda de eficiência, uma vez que os impostos se baseiam na dotação inicial e não nas escolhas do consumidor (VARIAN, 2012).

2.3 Externalidades

Quando as ações de um indivíduo afetam, positiva ou negativamente, o meio ambiente de outro agente, diz-se que há uma externalidade. As externalidades podem ser divididas em externalidades positivas ou negativas e externalidades de consumo ou de produção.

Uma externalidade é considerada negativa quando incorre em um malefício ou custo para outro agente, ou seja, um efeito externo a quem o causou. Uma externalidade positiva ocorre quando se gera um benefício para outro agente.

As externalidades de consumo refletem os custos ou benefícios gerados a um agente pelas ações de consumo de outro agente. As externalidades de produção refletem os custos ou benefícios gerados pelas ações de produção de uma firma a outros agentes.

De acordo com Varian (1992), o Primeiro Teorema da Teoria Econômica do Bem-Estar não se aplica quando da presença das externalidades, pois existem outros fatores com que os agentes estão preocupados, mas que não podem ser precificados corretamente. Assim, a alocação eficiente no sentido de Pareto só pode ser atingida se os agentes se depararem com o correto sistema de preços, de acordo com as suas ações.

Do mesmo modo, Motta (2006) ressalta que:

(...) a eficiência econômica exige que se assinale o “preço correto” aos recursos ambientais. Internalizando os custos (benefícios) ambientais via preços das externalidades nas atividades de produção ou consumo, é possível obter uma melhoria de eficiência com maior nível de bem-estar. Assim, a demanda por recursos ambientais poderia ser induzida via preços. Um imposto sobre o uso do recurso ambiental serviria para este fim desde que refletisse o custo marginal ambiental gerado por este uso. Esta é a proposta da taxa pigouviana (...). Diante deste sobrepreço, os preços relativos dos bens internalizariam a externalidade e, assim, estariam restauradas as condições ótimas de alocação de recursos (MOTTA, 2006, p.183).

Portanto, mesmo que estejam garantidas as demais condições institucionais para se alcançar um sistema puro de mercado, na presença de externalidades os bens são ofertados ou consumidos em quantidades que não são ótimas. Se há a presença de externalidades positivas o mercado irá produzir/consumir quantidades abaixo da eficiente. Havendo externalidades negativas, o mercado irá produzir/consumir quantidades acima da eficiente (PERMAN et al., 2003).

Entretanto, Tietenberg e Lewis (2012) ressaltam que existe um tipo especial de externalidades que não promove a ineficiência causada pelas demais: as externalidades pecuniárias. Este tipo de externalidade possui a capacidade de transmitir os efeitos externos via alteração de preços. Um exemplo seria uma firma que se muda para uma nova área, ocasionando elevação dos preços de aluguel. Este aumento representa um efeito externo, mas não gera uma falha de mercado, por estar refletindo a escassez da terra.

A ineficiência de mercado das externalidades deriva da relação entre as ações não intencionais e a falta de pagamento/compensação. As ações não intencionais geram, como consequência, impactos externos que não são seguidos de qualquer recompensa (no caso das externalidades positivas) ou de qualquer penalidade (no caso das externalidades negativas) (PERMAN et al., 2003).

Como as ações externas são não intencionais e não se recebem qualquer tipo de recompensa/punição, que no mercado podem ser expressos através de valores monetários, os agentes não as consideram em suas tomadas de decisão, gerando a ineficiência de mercado (PERMAN et al., 2003).

Varian (1992) ilustra o problema da externalidade de produção demonstrando a interação entre duas firmas. A firma 1 produz o bem x , vendendo-o em um mercado competitivo. Entretanto, ao realizar esta atividade, impõe um custo externo $e(x)$ à firma 2, que, por exemplo, poderia ser um nível de poluição associado à produção do bem x .

Sendo o p o preço do bem x e $c(x)$ o custo total de se produzir o bem x . E desconsiderando a produção da empresa 2, por simplificação, os lucros das duas firmas podem ser definidos por:

$$\pi_1 = \max_x px - c(x) \quad (6)$$

$$\pi_2 = -e(x) \quad (7)$$

Assim, a condição de primeira ordem para o equilíbrio de mercado para o bem x , é dada por $p = c'(x)$.

No entanto, o bem x está sendo produzido em quantidade superior à ótima, pois a firma 1 ao maximizar os lucros leva em conta apenas os custos privados desta produção $c(x)$, ignorando os custos sociais (os custos privados somados aos custos externos da produção do bem x).

Para alcançar o nível eficiente de produção, as duas firmas poderiam se fundir, de maneira a internalizar a externalidade. Desta forma, o lucro da firma integrada passaria a ser descrito por:

$$\pi = \max_x px - c(x) - e(x), \quad (8)$$

apresentando como condição de primeira ordem

$$p = c'(x) + e'(x) \quad (9)$$

Com isso, a quantidade produzida do bem x passa a ser ótima, onde a condição de equilíbrio determina a igualdade entre o preço do bem x e o custo marginal social (CMgS), expresso pela soma entre o custo marginal privado (CMgP) e o custo marginal externo (CMgE).

Graficamente, o equilíbrio de mercado na presença de externalidades pode ser ilustrado pela Figura 2:

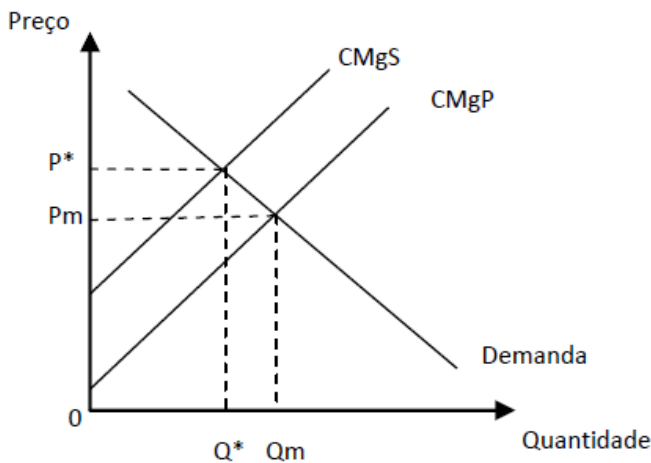


Figura 2 - Equilíbrio de mercado na presença de externalidades

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Tietenberg e Lewis (2012).

Nota-se que se em determinado mercado onde exista a presença de externalidade e não seja possível fazer com que as empresas que participem do mesmo, internalizem este custo externo, a condição de maximização de lucros leva a uma produção (Q_m) superior à social

ótima (Q^*). Uma vez incorporado o CMgE desta atividade, o preço de mercado se eleva de P_m para P^* , pois o CMgS é superior ao CMgP.

2.3.1 Soluções ao problema da externalidade

Existem algumas soluções tanto públicas como privadas para fazer com que os custos ou benefícios das externalidades sejam internalizados.

A primeira possibilidade seria colocar uma taxa (t) sobre cada unidade de poluição gerada pela empresa 1, que depende diretamente da quantidade produzida do bem x . Assim, a função de lucro da empresa 1 seria modificada para:

$$\pi_1 = \max_x \quad px - c(x) - (t \times x) \quad (10)$$

tendo como condição de primeira ordem para a maximização do lucro da empresa 1,

$$p = c'(x) + t. \quad (11)$$

Sob a hipótese de convexidade da função custo, pode-se considerar $t = e'(x)$, o que leva à empresa 1 à escolha ótima do nível de produção do bem x , internalizando o problema da externalidade, como demonstrado na eq. (9).

Essa taxa é conhecida como imposto de Pigou³, em homenagem ao primeiro autor que abordou o tema. Entretanto, para que esta taxa seja aplicada de maneira eficiente, seria necessário conhecer o nível ótimo da externalidade, representado por $e'(x)$. Conhecendo-se o nível ótimo de poluição, seria mais prático dizer diretamente à empresa 1 o quanto produzir, do que cobrar um imposto (VARIAN, 2012).

³ PIGOU, A. **The economics of welfare**. London: Macmillan. 1920.

Outra solução seria considerar a falta de um mercado para a externalidade, adicionando à empresa 2 um mercado onde possa expressar sua demanda por redução de poluição, de maneira que a eficiência de mercado seja atingida (VARIAN, 1992). Esta solução foi proposta por Arrow (1970).

Considerando que se o preço de mercado para a poluição for r , a empresa 1 decidirá o quanto venderá de poluição, expresso por x_1 e a empresa 2 o quanto deseja comprar, expresso por x_2 , as eqs. (6) e (7) podem ser reescritas como se segue:

$$\pi_1 = \max_{x_1} p x_1 + r x_1 - c(x_1) \quad (12)$$

$$\pi_2 = \max_{x_2} -r x_2 - e(x_2) \quad (13)$$

Assim, as condições de primeira-ordem para maximização dos lucros das duas empresas são:

$$p + r = c'(x_1) \quad (14)$$

e

$$-r = e'(x_2). \quad (15)$$

Quando o mercado por poluição estiver em equilíbrio, $x_1 = x_2$, de modo que estas condições de primeira ordem equivalem à apresentada na eq. (9).

Nesse exemplo, a empresa 1 possuía o direito de poluir e a empresa 2 deveria pagar pelas unidades de redução de poluição que desejasse. Mesmo que os direitos de propriedade tivessem sido distribuídos de maneira contrária, onde a empresa 2 possuísse o direito à não existência de poluição e a empresa 1 precisasse adquirir a permissão para poluir, isso também implicaria um resultado eficiente (VARIAN, 2012).

Esse resultado foi demonstrado por Coase (1960), através do Teorema de Coase, onde se afirma que, se os direitos de propriedade estiverem bem definidos, os custos de transação forem irrisórios e poucas partes estiverem envolvidas, não importa qual o arranjo inicial dos direitos de propriedade, as partes negociarão de maneira que a externalidade seja internalizada e os ganhos de mercado sejam maiores para ambas as partes.

Por exemplo, no caso da empresa 1 possuir a permissão para poluir, a empresa 2 barganhará o direito de poluir da empresa 1, através do pagamento de valores monetários, até o ponto em que o benefício marginal de haver a redução de uma unidade de poluição seja igual ao custo marginal de se adquirir a propriedade do direito à poluição.

Entretanto, o Teorema de Coase é de difícil aplicabilidade, pois uma boa parte dos problemas de externalidades envolvem situações onde os direitos de propriedade não estão bem definidos; normalmente, o número de partes envolvidas é grande, fazendo como que os custos de transação sejam crescentes; muitas vezes, as externalidades envolvem os chamados males públicos⁴ (PERMAN et al., 2003). Nestes casos, deve-se haver a intervenção governamental para a solução das externalidades.

Por fim, Varian (1994) demonstra uma possível solução ao problema das externalidades através de um mecanismo de compensação. Partindo do pressuposto que o imposto de Pigou, de maneira geral, não seja adequado para resolver o problema das externalidades, devido ao regulador não possuir acesso completo à informação, o mecanismo de compensação resolve este problema através de um método que induz os participantes a revelarem a informação necessária para que seja definido o imposto de Pigou ótimo.

O método funciona por meio de dois estágios. No primeiro, as empresas 1 e 2 anunciam o imposto de Pigou, que pode ou não ser eficiente. A empresa 1 deve pagar à empresa 2 a taxa informada pela empresa 2 (t_2) e a empresa 2 recebe a taxa anunciada pela empresa 1 (t_1). Adicionalmente, cada empresa paga uma multa dependendo da diferença entre os valores anunciados por elas. O formato da função desta multa é irrelevante. Apenas deve ser igual a zero quando $t_1 = t_2$ e positivo, caso contrário. Varian (1994) escolheu a forma quadrática. Os lucros das empresas 1 e 2 são:

⁴ A explicação sobre males públicos se encontra no tópico 2.4.

$$\pi_1 = \max_x px - c(x_1) - t_2 x - (t_1 - t_2)^2 \quad (16)$$

$$\pi_2 = \max_x t_1 x - e(x_2) - (t_2 - t_1)^2 \quad (17)$$

A condição de primeira ordem para a empresa 1 é igual a

$$p = c'(x) + t_2, \quad (18)$$

que determina a escolha ótima de x em função de t_2 , denotado por $x(t_2)$. Sendo $x'(t_2) < 0$, quanto maior o imposto que a empresa 2 anunciar, menos a empresa 1 deverá produzir. Assim, se a empresa 1 acredita que a empresa 2 venha a escolher t_2 , o melhor para a empresa 1 será escolher t_1 . A multa, então, será minimizada quando

$$t_1 = t_2. \quad (19)$$

Considerando o fato de t_2 não exercer influência direta na maximização dos lucros da empresa 2, apenas de maneira indireta através da influência de t_2 sobre a escolha ótima de produção da empresa 1, diferenciando o lucro da empresa 2, com respeito a t_2 e igualando a zero, tem-se:

$$\pi'_2(t_2) = [t_1 - e'(x)]x'(t_2) - 2(t_2 - t_1) = 0 \quad (20)$$

Combinando as eqs. (18), (19) e (20), chega-se a:

$$p = c'(x) + e'(x) \quad (21)$$

que é a condição de ótimo social para o caso das externalidades.

O mecanismo funciona da seguinte maneira: se a empresa 1 imagina que a empresa 2 reportará um elevado valor de imposto, então a empresa 1 poderá ser multada pela divergência dos valores, anunciando, assim, um alto valor. Se a empresa 1 anuncia um alto valor, a empresa 2 terá uma grande recompensa pela externalidade, desejando que a empresa 1 produza mais do bem x . Entretanto, a única maneira de a empresa 2 conseguir incentivar a empresa 1 a produzir mais é reportando um valor baixo de imposto, o que é contraditório.

Desta maneira, o equilíbrio ocorre no único ponto onde a empresa 2 seja exatamente compensada, na margem, pela externalidade gerada pela empresa 1.

2.4 Bens públicos

Existe uma classe de bens onde o consumo pode ser compartilhado por mais de um agente, sem, entretanto, haver redução em sua disponibilidade. Tal classe de bens é conhecida como bens públicos, diferentemente dos bens privados que podem ser consumidos por apenas um agente (SILBERBERG, 1990).

Os bens privados são caracterizados pela exclusividade e pela rivalidade, conforme a possibilidade de se excluir pessoas do seu uso e, quando do seu consumo, a quantidade disponível para os demais consumidores se reduz (VARIAN, 1992).

Já os bens públicos são caracterizados pela não exclusividade e pela não rivalidade, simultaneamente, ou seja, não se podem excluir consumidores do seu uso e o fato de existirem consumidores usufruindo deste bem, não altera a quantidade disponível para os demais agentes. Como exemplos destes bens podem ser mencionados: a proteção policial, bombeiros, defesa nacional, rodovias federais, transmissão de rádio e TV aberta, ar puro (VARIAN, 1992).

Segundo Tietenberg e Lewis (2012), vários recursos comuns ambientais são bens públicos, desde, uma paisagem charmosa, ar puro, água limpa e diversidade biológica, até os “males” públicos, como o ar poluído, água poluída.

Como os bens públicos são não rivais, o custo marginal de prover este bem para outro consumidor, em termos de recursos utilizados, é zero. Assim, seus custos médios estão para sempre em declínio (SILBERBERG, 1990).

Essa característica faz emergir um problema para as suposições da economia do bem-estar, pois a alocação eficiente no sentido de Pareto é atingida somente quando todos os bens e serviços são vendidos ao custo marginal de produção. Assim, se estes bens forem vendidos ao custo marginal, não haverá receita para custeá-lo. Caso seja cobrada alguma taxa sobre outros bens para financiá-lo, os mesmos não mais serão vendidos a um preço igual ao custo marginal, retirando a economia da alocação eficiente no sentido de Pareto (SILBERBERG, 1990).

De acordo com Motta (2006), o problema dos bens públicos surge da indefinição dos direitos de propriedade para os mesmos, uma vez que, direitos de propriedade bem definidos são a chave para o sistema de preços, refletindo no processo de valoração dos bens.

Os bens públicos fazem parte de um tipo especial de externalidade consumo, onde todos são obrigados a consumir a mesma quantidade do bem, apesar de cada cidadão poder avaliar de maneira diversa a quantidade que deseja consumir de determinado bem. Por exemplo, não é possível comprar quantidades diferentes de iluminação pública (VARIAN, 2012).

Desta forma, a quantidade de bens públicos a ser produzida deve levar em conta a disposição a pagar de cada consumidor, com cada qual podendo consumir a totalidade dos bens produzidos.

Apesar de se assumir que o bem público seja vendido ao custo marginal zero, isso não quer dizer que sua produção não incorra em custos, mas que o custo de se produzir uma unidade adicional para um consumidor individual, uma vez produzido este bem, seja zero.

Conforme demonstra Silberberg (1990), para o caso de dois consumidores, o nível ótimo de produção pode ser alcançado maximizando-se a função de utilidade de um dos agentes, sujeito à utilidade do outro e à fronteira de possibilidade de produção da economia.

Considerando como x o bem público e que ambos os consumidores possam consumir simultaneamente a totalidade deste bem, então,

$$x_1 = x_2 = x \quad (22)$$

e sendo y o bem privado, compreendido pela soma das demandas dos dois consumidores, descrito por

$$y_1 + y_2 = y \quad (23)$$

o ótimo de Pareto para o problema pode ser alcançado maximizando:

$$U_2(x, y_2) \quad (24)$$

sujeito a

$$U_1(x, y_1) = U_1^0 \quad (25)$$

e

$$g(x, y) = 0 \quad (26)$$

onde:

$U_1(x, y_1)$ e $U_2(x, y_2)$ são as funções de utilidade do consumidor 1 e do consumidor 2, respectivamente;

$g(x, y)$ representa a fronteira de possibilidade de produção da economia.

Seja a solução representada pela eq. (27)⁵ dada por:

$$\frac{U_2^x}{U_2^y} + \frac{U_1^x}{U_1^y} = \frac{g^x}{g^y} \quad (27)$$

Interpretando que a sentença antes da igualdade represente as taxas marginais de substituição (ou as avaliações marginais, do bem público x) e a sentença após a igualdade

⁵ Para derivação completa deste problema vide Silberberg (1990).

como sendo a taxa marginal de transformação do bem y em x (ou como o custo marginal de se abrir mão do bem y para a obtenção do bem x), isto significa que a soma dos benefícios marginais de cada consumidor pelo bem público é igual ao custo marginal para obtê-lo.

Generalizando para o caso de n consumidores, a condição de Pareto para a produção do bem público se torna:

$$\sum_{i=1}^n TMS_i = Cmg \quad (28)$$

Graficamente, essa condição pode ser demonstrada pela soma vertical das curvas de demanda de cada consumidor. A Figura 3 mostra as curvas de demanda individuais dos consumidores A e B por um bem público e a produção ótima do mesmo.

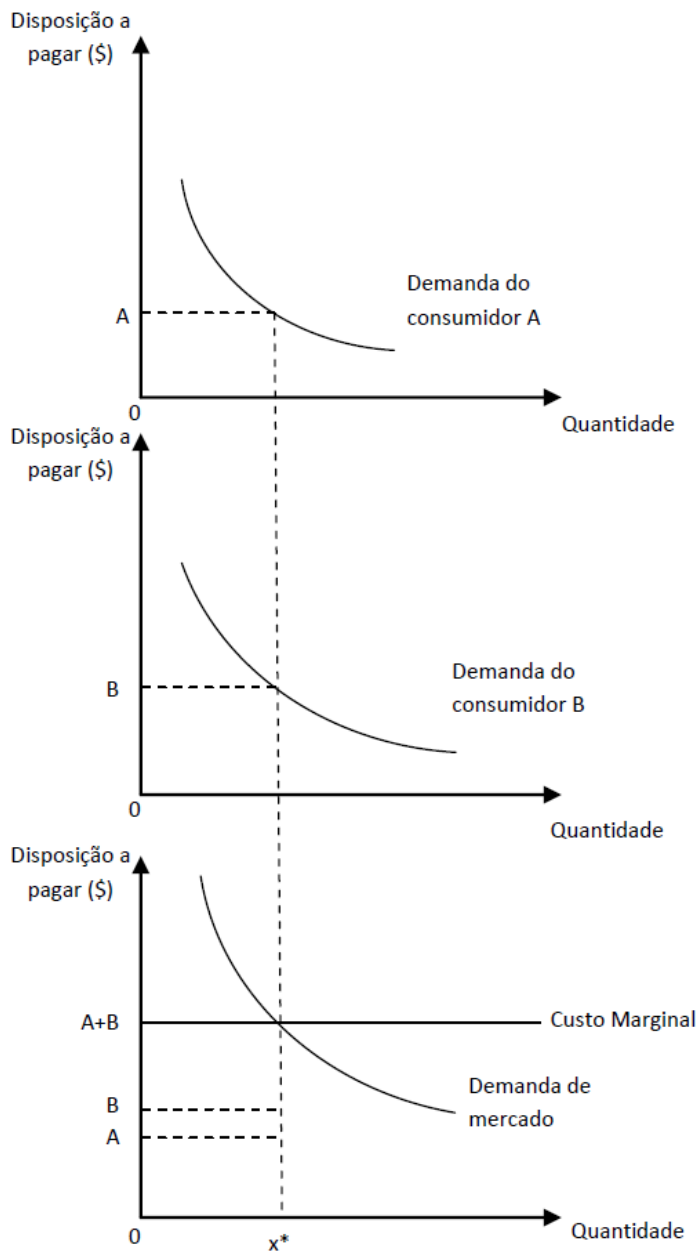


Figura 3 - Produção ótima de um bem público

Fonte: Adaptado de Tietenberg e Lewis (2012).

O trecho $0A$ mostra a disposição a pagar pelo bem público do consumidor A, sendo o trecho $0B$ a disposição a pagar do consumidor B. Assim, o nível de produção que maximiza os ganhos sociais é dado pela soma vertical das disposições a pagar dos consumidores, caracterizado pelo trecho $0A+B$. No ponto onde ocorre a intersecção da curva de demanda do

mercado com o custo marginal de se produzir o bem público, determina-se a quantidade ótima de produção do bem.

O bem público não pode ser eficientemente provido pela iniciativa privada, pois cada consumidor possui uma disposição diferente a pagar. Sendo assim, o produtor deveria cobrar preços diferentes a cada um, de maneira a arrecadar valor suficiente para prover x^* .

Entretanto, sendo o bem público não excludente, os consumidores possuem um incentivo a não revelar suas preferências com relação ao bem público, de maneira a captar uma externalidade positiva de outros consumidores que estejam contribuindo com o bem. Portanto, não se gera receita suficiente para que o bem seja ofertado de maneira ótima.

Essa ineficiência gera o problema do carona, onde consumidores usufruem da oferta do bem público sem contribuir para a sua provisão. Por conta da não exclusividade e da não rivalidade do bem público, acabam existindo consumidores que recebem toda a oferta do bem, através do que fora adquirido pelos demais.

3 LOGÍSTICA REVERSA DE AUTOMÓVEIS

3.1 Logística Reversa

No campo do estudo e prática da logística, os agentes envolvidos sempre deram maior ênfase à logística tradicional objetivando atender ao consumidor final, de maneira a minimizar custos e maximizar lucros, sem levar em conta a responsabilidade do pós-consumo no ciclo de vida do produto, chamado de logística reversa (GOVIDAN et al., 2012).

A legislação brasileira, através da lei 12.305/2010, entende que a logística reversa seja um:

(...) instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010, p.3).

Apesar de não ser uma nova prática, apenas recentemente essa temática vem sendo incorporada nas organizações, devido à atenção dada pelas pressões sociais, agendas governamentais, literatura acadêmica e pelo público em geral. Estes, crescentemente têm pressionado as empresas a assumir a responsabilidade por qualquer externalidade negativa que suas atividades venham a causar (STOLKA, 2014).

Mesmo empregada, na maior parte das vezes, de maneira impositiva, percebeu-se em alguns casos ser menos custosa a remanufatura de produtos usados do que a produção a partir da matéria-prima (LEE; LAM, 2012). Como consequência deste processo, tem crescido o número de empresas que adotam esta ferramenta como uma maneira de auferir maiores lucros, ao aumentar a competitividade de maneira sustentável, além de melhorar sua imagem perante o público consumidor (AGRAWAL; SINGH; MURTAZA, 2015).

Um ponto importante a ser destacado se refere à diferenciação entre logística verde e logística reversa, que segundo Stolka (2014), ainda causa certa confusão. A logística verde contempla todas as práticas da logística tradicional, porém, incorporando técnicas de gestão que minimizem os impactos ambientais nas diferentes estratégias de distribuição, poupe o uso de recursos nas atividades de logística, redução de resíduos e correto descarte dos mesmos, sendo prioridade a imagem da empresa.

Já a logística reversa se concentra na economia de dinheiro e criação de valor pela reutilização e revenda de materiais, de maneira a cobrir perdas de lucro e redução de custos operacionais, restringindo a utilização de matéria prima, sendo classificada como desenvolvimento sustentável (STOLKA, 2014).

Assim, tanto a logística verde como a logística reversa se configuram como possíveis soluções para o problema das externalidades, pois visam incorporar à logística os custos externos da distribuição dos bens e das relações pós-consumo, tanto em âmbito social, como ambiental, respeitando-se, é claro, seus campos de ação.

O processo da logística reversa é contemplado, basicamente, por quatro processos, segundo Agrawal, Singh e Murtaza (2015):

- aquisição do produto: em primeiro lugar, existe o processo de aquisição de produtos usados, pelo varejista, que decide se o produto deve retornar à cadeia para processamento, ou se deve ser devolvido ao consumidor depois de algum reparo. Esta etapa é muito importante pois, devido à incerteza em relação ao tempo, quantidade e qualidade do produto, o sucesso da logística reversa é testado.

- coleta: os produtos são, então, coletados e enviados para as unidades fabris, para posterior inspeção, separação e disposição. A partir deste momento, a empresa detém a posse do produto. A empresa fabricante pode utilizar três métodos de coleta: diretamente do consumidor final, dos varejistas ou de agentes do terceiro setor. A decisão sobre qual método escolher depende diretamente da estrutura de custos envolvida e da quantidade disponível para coleta.

- inspeção e classificação: como o consumidor retorna o produto por razões conhecidas e desconhecidas, em condições variáveis, torna-se necessária a inspeção destes produtos para a devida classificação. A classificação, antes do desmanche e da remanufatura, depende dos custos de transporte, disposição e desmanche, além da qualidade do produto recebido.

- disposição: o próximo passo a ser considerado se refere à escolha do tipo de processamento que o produto irá passar. De acordo com a literatura, técnicas mais comuns são reuso, reparo, remanufatura, reciclagem e disposição final.

Agrawal, Singh e Murtaza (2015) levantaram na literatura existente, quais seriam as principais barreiras à implantação da logística reversa. Dentre elas, podem ser destacadas: a falta de conhecimento e experiência; falta de planejamento; restrições financeiras; atitudes da

alta administração e políticas empresariais; resistência a mudanças; falta de treinamento e educação; falta de regulação governamental (podendo as mesmas variar de acordo com o setor e país em análise).

Para sanar algumas destas barreiras, uma opção adotada seria a terceirização. Como a logística reversa, normalmente, não faz parte do escopo principal de atuação das empresas, tornar-se parceira de outra entidade que lide exclusivamente com a área pode trazer benefícios, tal como a redução de custos. É especialmente indicada para empresas com devoluções elevadas e variáveis mas com um ciclo de vida do produto curto, bem como, quando há a necessidade de uma infraestrutura complexa para a procura e captura de dados, equipamento especial para processamento das devoluções e processos de manufatura não padronizados, que exijam especialistas treinados (AGRAWAL; SINGH; MURTAZA, 2015).

3.2 Logística Reversa no setor automobilístico

Uma das preocupações relacionadas aos impactos ambientais no setor automobilístico é o correto gerenciamento e destinação de veículos que já estão no fim do ciclo vida, os chamados *End-of-life Vehicles (ELVs)*.

Na busca por soluções ao problema com relação aos *ELVs*, vários países, tanto desenvolvidos quanto em desenvolvimento, têm se debruçado sobre a questão. Em alguns, o governo assume a dianteira, estabelecendo leis e diretrizes a serem seguidas, enquanto que em outros, este papel cabe à iniciativa privada, através dos mecanismos de mercado.

Entretanto, mesmo nos países onde o governo esboça uma preocupação ambiental a respeito dos *ELVs*, a execução e fiscalização das leis e diretrizes ficam aquém da intenção ao qual foram propostas.

Taiwan, por exemplo, promulgou sua primeira lei de disposição de resíduos, em 1974, a *Waste Disposal Act*. Porém, a disposição de *ELVs* era feita pela iniciativa privada, sem qualquer regulação. A partir de 1988, uma emenda a esta lei passou a responsabilidade aos produtores, importadores e revendedores das tarefas de reciclagem, separação e disposição, de produtos de difícil disposição, que contivessem componentes que demorariam a se decompor ou que possuíssem substâncias perigosas. Somente em 1994 foram publicadas as “*End of life vehicle recycling and disposal rules*”, responsáveis por uma série de mecanismos para que o

sistema de processamento e reciclagem de *ELVs* fosse gradualmente estabelecido no país (CHEN; HUANG; LIAN, 2010).

Os países da União Europeia também estão na vanguarda quanto à solução deste problema. A *European Council Directive 2000/53/EC* veio impor certos desafios à indústria automobilística instalada na União Europeia, passando ao produtor a responsabilidade quanto ao reaproveitamento dos materiais que compõem estes veículos, além da responsabilidade de produção de novos veículos voltados para a futura reciclagem (BLANAS; KOUKOMIALUOS; KYLINDRI, 2012).

Esta medida afeta inclusive as montadoras estrangeiras que atuam neste mercado, tendo agora que se adequar a este novo cenário, especialmente, as indústrias de países que exportam veículos para os mercados europeus, como, por exemplo, Coreia, Japão e montadoras europeias que produzem fora da Europa (CRUZ-RIVERA; ERTEL, 2009).

A China, por outro lado, ainda não conseguiu estabelecer um sistema eficiente de logística reversa de *ELVs*. Desde 2001, o governo chinês tem emitido regulações e políticas severas para a reciclagem de produtos automotivos; entretanto, tais medidas são de difícil execução, impedindo o desenvolvimento da indústria de remanufatura, além do fato de que as empresas de desmanche e reciclagem são confrontadas por pressões financeiras e suporte inadequado (WANG; CHEN, 2013).

Não apenas os países desenvolvidos, mas também os países em desenvolvimento⁶ estão envolvidos no estudo da melhor maneira para a adoção da logística reversa, levando em conta as características próprias do setor automobilístico de seus países. Como exemplo, podem ser citados os trabalhos realizados em países como o México (CRUZ-RIVERA; ERTEL, 2009), Egito (HARRAZ; GALAL, 2011), Irã (MAHMOUDZADEH; MANSOUR; KARIMI, 2013), China (WANG; CHEN, 2013) e Malásia (AMELIA et al., 2009).

Abre-se, então, um vasto campo de estudos sobre logística reversa neste setor. Passa-se ao produtor a responsabilidade de prevenção de resíduos gerados por veículos automotivos, obrigando-o a garantir e financiar o retorno destes produtos e sua reciclagem (CRUZ-RIVERA; ERTEL, 2009).

⁶ Países em desenvolvimento segundo a classificação do Fundo Monetário Internacional – FMI. **World Economic Outlook: Recovery Strengthens Remains Uneven**, April, 2014. Disponível em: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2014/01/pdf/text.pdf>. Acesso em: 19 abr 2014.

Ainda, segundo Cruz-Rivera e Ertel (2009), países em desenvolvimento, como o México, com uma indústria de reciclagem rudimentar e não consolidada, precisam incrementar sua estrutura e atividades a fim de enfrentar os desafios e oportunidades crescentes em termos dos problemas ambientais e gerenciamento de produtos em fim do ciclo de vida.

Exceto por alguns casos onde exista o descompasso entre a elaboração de políticas e a execução das mesmas, os sistemas adotados têm mostrado progresso em sua maior parte. Apesar dos cenários para a reciclagem de *ELVs* variarem, nos diferentes países os agentes envolvidos são praticamente os mesmos: coletores de matéria-prima, desmanches, unidades de trituração, instalações de disposição final, recicladores, revendedores de produtos reutilizados e consumidores (CHENG et al., 2012). O desafio que se coloca passa a ser a identificação das peculiaridades envolvidas no mercado automobilístico, ao qual se planeja estabelecer um sistema de logística reversa eficiente. Os próximos itens abordam as diversas práticas adotadas para a execução da logística reversa de *ELVs*, em diversos países.

3.2.1 União Europeia

O marco para a logística reversa de *ELVs* na Europa se deu com a *European Council Directive 2000/53/EC* (EUROPEAN PARLIAMENT COUNCIL, 2000), quando os produtores foram impulsionados a produzir veículos voltados para a reciclagem, ou seja, todo o processo de desenvolvimento dos automóveis, desde o desenho, deveria facilitar a posterior reciclagem e reuso (BLANAS; KOUKOMIALUOS; KYLINDRI, 2012).

De acordo com Rogers e Tibben-Lembke (1998, p.2), a logística reversa para *ELVs* é definida como “o processo de planejamento, implementação e controle do custo efetivo do fluxo eficiente de matérias-primas em processo de inventário, dos produtos acabados e informações relacionadas, desde o ponto de consumo até o ponto de origem para efeitos de recapturar valor ou descarte adequado”. Ou seja, se refere a todos os métodos e técnicas que visem ao retorno e à destinação adequada do produto no pós-consumo.

A *Directive 2000/53/EC* (EUROPEAN PARLIAMENT COUNCIL, 2000) pode ser resumida em seis partes básicas: prevenção, coleta, reuso e recuperação, tratamento, coleta e

disseminação de informações e implantação. Os países-membros devem incentivar os produtores de veículos a reduzir o nível de substâncias tóxicas, levando em consideração a facilidade no desmanche, reuso e recuperação de *ELVs*, aumentando assim a quantidade utilizada de materiais recicláveis em novos veículos (KONZ, 2009).

Tanto ao produtor como ao consumidor são atribuídas responsabilidades. Ao consumidor cabe o cancelamento do registro do veículo, devendo obter o certificado de destruição do *ELV*, que atesta que o veículo tenha sido comprado por uma *Authorized Treatment Facility (ATF)*. Os países-membros devem garantir que o consumidor disponha este veículo gratuitamente, cabendo ao produtor arcar com todos, ou uma parte, dos custos inerentes ao sistema de coleta (KONZ, 2009).

A partir de janeiro 2006, o reuso e a recuperação de *ELVs* deveria ser de no mínimo 85%, ou de 80% de reuso e reciclagem. Para janeiro de 2015, estes objetivos deveriam ser elevados, respectivamente, a 95% e 85%. A Figura 4 mostra como deve ocorrer o fluxo de materiais durante o processo de recuperação de *ELVs*.

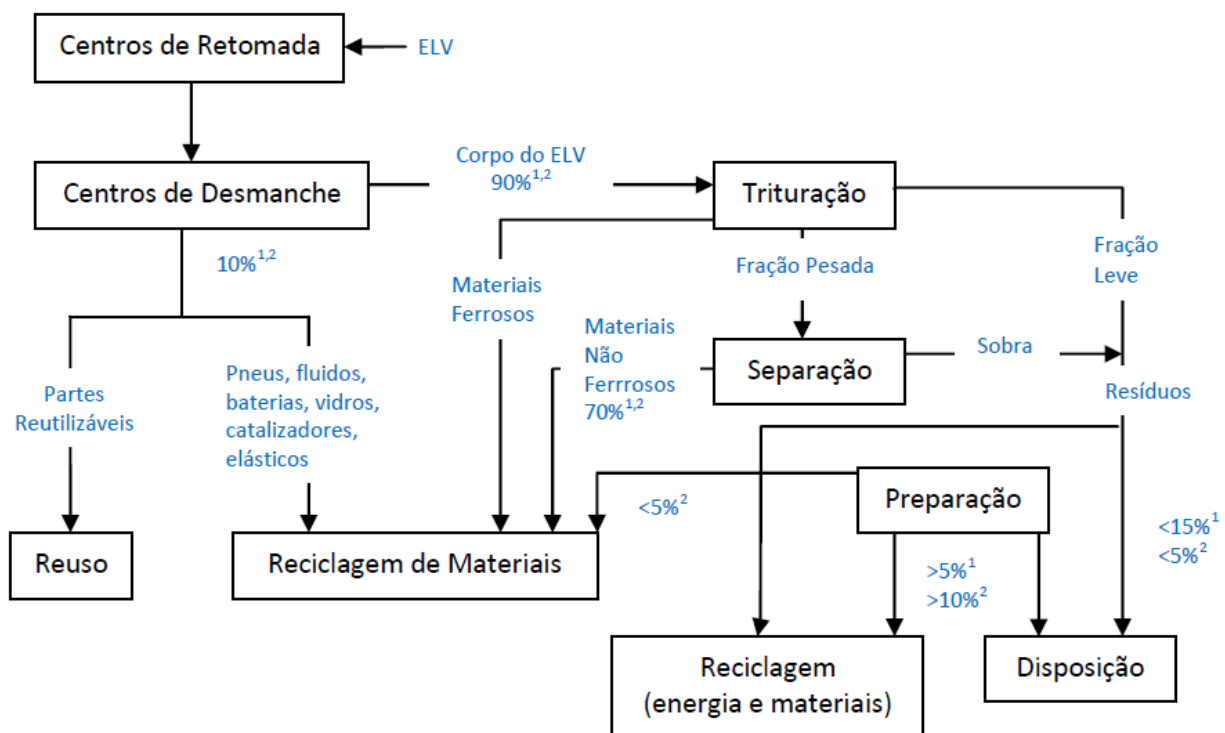


Figura 4 – Fluxo de materiais para reciclagem e disposição de *ELV* na União Europeia. (1) percentual para 2006, (2) percentual para 2015

Fonte: Cruz-Rivera e Ertel (2009).

Entretanto, Blanas, Koukomialuos e Kylindri (2012) identificaram assimetrias na capacidade de produção e reprodução entre os países-membros da União Europeia e os produtores de veículos. São poucas as unidades de desmanche que são operadas por produtores de veículos, nenhuma possuindo investimento em remanufatura.

A comparação dos níveis de produção e distribuição de manufaturas e remanufaturas na Europa indica que alguns países economicamente fracos parecem seguir mais os interesses de curto prazo dos produtores do que o desenvolvimento nacional de estratégias de logística reversa, que seria a favor dos seus próprios interesses econômicos de crescimento sustentável. O país que possui a maior quantidade de remanufaturas, a Dinamarca, com o maior grau de desenvolvimento de logística reversa, não coincidentemente, apresenta as mais elevadas taxas de importação de veículos (BLANAS; KOUKOMIALUOS; KYLINDRI, 2012).

Blanas, Koukomialuos e Kylindri (2012) acreditam que a aplicação da *Directive 2000/53/EC* para se alcançar elevados níveis de reuso oferecerá às áreas menos desenvolvidas uma possibilidade de investir em operações de logística reversa intensivas em trabalho, não apenas economizando energia, como gerando trabalho intensivo em conhecimento.

Konz (2009) também realiza uma análise crítica à *Directive 2000/53/EC*. Dentre as críticas apontadas podem ser citadas: apesar de ser menos rígida do que uma lei formal, não oferece condições aos países-membros de efetuarem ajustes, conforme as suas realidades; não prevê como os países podem conseguir recursos para implantá-la, não restando alternativa a não ser retirar recursos de outras áreas; existência de riscos financeiros para os produtores de veículos, uma vez que em momentos de crise a venda de automóveis novos se reduz, enquanto que a oferta de *ELVs* pode continuar a mesma (o custo com a disposição de *ELV* continua, mas a compensação deste custo pela venda de carros novos não ocorre); por necessitar de operação em larga escala, não se torna atrativa para comunidades locais; como cada país membro pode realizar alterações, os produtores de veículos podem ver seus custos crescerem por tentar atender à exigência de cada lugar; por fim, é argumentado que a *Directive 2000/53/EC* acabou por promover atividades irregulares, pois apesar do número de veículos abandonados ter caído em 83%, acredita-se que tenha sido devido ao aumento de desmanches ilegais, uma vez que é mais lucrativo dispor *ELVs* ilegalmente do que através de *ATFs*.

O autor também ressalta três qualidades da *Directive 2000/53/EC*. A primeira delas atém-se ao fato de que os produtores de veículos têm alcançado os alvos do índice de reciclagem de cada veículo produzido, sendo que alguns modelos aparecem próximos de alcançar os alvos de 2015. Esse sucesso deve-se à indústria automotiva que, apesar de ser historicamente resistente às legislações que regulam as destinações de *ELVs*, abraçou a causa, comportamento que pode ser atribuído em parte à manutenção de uma imagem ambientalmente correta. A Figura 5 mostra as taxas de recuperação e de reciclagem alcançadas pelos países da Europa, em 2011.

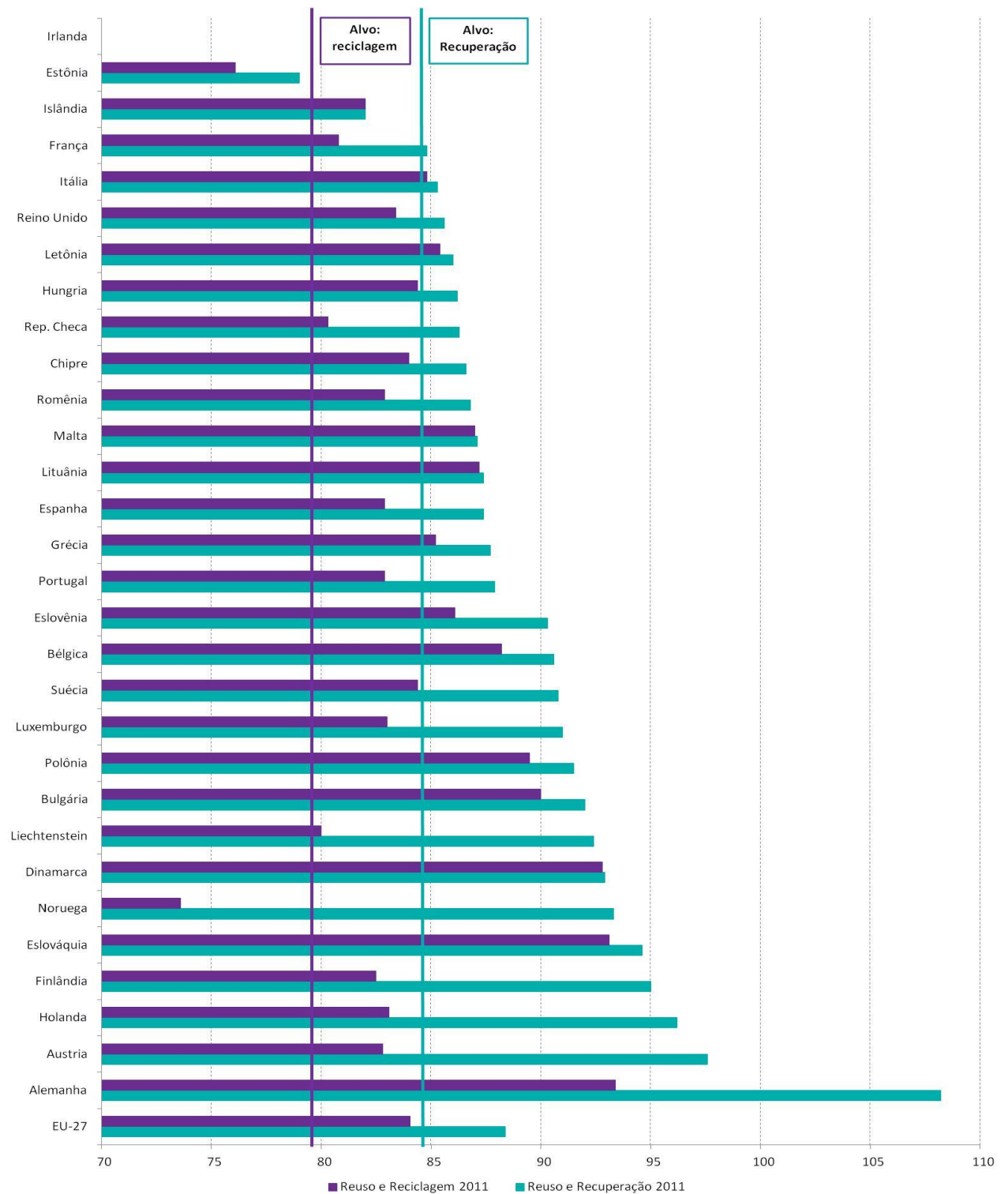


Figura 5 – Taxas de reuso e recuperação, reuso e reciclagem de *ELVs*, em países da Europa, em 2011

Fonte: Eurostat (2014).

Percebe-se que, em 2011, a maioria dos países da Europa conseguiu atingir as metas propostas a partir de 2006, sendo que países como Alemanha, Áustria, Holanda e Finlândia

alcançaram os níveis propostos, para 2015, nas taxas de reuso e recuperação e Alemanha, Eslováquia e Dinamarca, nas taxas de reuso e reciclagem. A média dos 27 países que faziam parte da União Europeia, em 2011, mostra que as taxas perseguidas, a partir de 2006, estavam sendo alcançadas.

Em segundo lugar, Konz (2009) aponta que antes da *Directive 2000/53/EC*, a indústria de componentes de segunda mão não tinha incentivo ao desmanche de peças recicláveis, por não terem valor neste mercado. Estes componentes, agora, acarretam economia de matéria-prima e energia na produção de peças de reposição.

Por fim, houve a proibição do uso de substâncias tóxicas na produção de automóveis, como o chumbo, mercúrio, cádmio e cromo hexavalente, além de uma aceleração no desenvolvimento de processos difíceis de reciclagem, como o caso dos pneus. Com os grandes esforços necessários para incrementar a reciclagem e reuso de materiais como vidros, plásticos e outros materiais, a reciclagem de *ELVs* aumentou significativamente nos últimos anos.

3.2.2 Estados Unidos

Os EUA têm divergido das normas internacionais de gerenciamento de resíduos sólidos. Existe uma série de problemas com o modelo atual de tratamento e disposição final de resíduos automotivos, não existindo uma lei padrão, cabendo aos estados definirem suas próprias leis (KONZ, 2009).

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), ao invés de se empregar o termo Responsabilidade Estendida ao Produtor, prefere-se utilizar o termo “gestão de produtos”, apelando a todas as partes envolvidas no ciclo de vida do produto (produtores, fabricantes, varejistas, consumidores e trituradores) para a redução dos impactos ambientais causados pelo mesmo. Assim, o foco da maioria dos programas de manejo de produtos relacionados com veículos a nível nacional, nos EUA, tem sido relacionado a medidas voluntárias para tratar contaminantes de interesse particular (como pneus e interruptores de mercúrio) ou para metas de reciclagem ainda mais específicas (*US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY*, 2014).

Apesar disso, são estimados no país 7.000 unidades de reciclagem de veículos processando mais de 11 milhões de *ELVs* por ano (KONZ, 2009). Segundo a *Steel Recycling*

Institute (2014), os automóveis são o produto de consumo mais reciclado no país. A cada ano, a indústria do aço recicla mais de 18 milhões de toneladas de aço de carros que já não estão aptos para trafegar, o que seria equivalente a quase 18 milhões de carros novos.

Staudinger e Keoleian (2001) explicam o processo de gerenciamento nos EUA:

- **Desmontagem:** os desmanches são separados em dois tipos distintos, os desmanches de peças de alto valor e os depósitos de sucata. Os primeiros retiram as peças de maior valor para revenda e o restante do *ELV* ou é enviado diretamente à unidade de trituração ou é vendido ao depósito de sucata. Os depósitos de sucata são unidades que utilizam baixa tecnologia, que essencialmente armazena *ELVs*, gradualmente removendo e vendendo peças a oficinas próximas ou diretamente a consumidores. Nos depósitos de sucata, a procedência dos veículos não é confiável, sendo suas localizações atreladas às periferias das vilas e cidades.

- **Trituração:** após o desmanche o *ELV* é enviado para a unidade de trituração onde, depois de triturado, é separado entre metais ferrosos e materiais não ferrosos. Antes da trituração verifica-se se materiais perigosos (como pilhas, tanque de gás, líquidos) foram removidos.

- **Separação e processamento de materiais pós-trituração:** dois tipos de separação são realizados. No primeiro tipo, são separados os materiais ferrosos dos não ferrosos, através do processo de separação magnética. No segundo tipo, são separados os metais não ferrosos dos materiais que não contêm ferro, através de várias técnicas, tipicamente, separação através de ar. Basicamente, metais ferrosos (ferro e aço) correspondem de 65 a 70% do peso; metais não ferrosos (alumínio, aço inoxidável, cobre, bronze, chumbo, magnésio, cromo e níquel) correspondem de 5 a 10% do peso; o restante, de 20 a 25% do peso, corresponde ao *Auto Shredder Residue - ASR*, resíduo que corresponde a outros materiais como plásticos, vidro, borracha, espuma, carpetes, têxteis etc.

- **Disposição do *ASR* em aterros sanitários:** o *ASR* é considerado como material não recuperável e é enviado para aterros para disposição final. A redução deste fluxo de resíduos pela recuperação e reciclagem de plásticos contidos no *ASR* é de suma relevância para o aprimoramento do processo de recuperação de *ELVs*.

3.2.3 Ásia Oriental

Taiwan foi um dos primeiros países a adotar práticas de logística reversa de resíduos, apresentando, portanto, um dos sistemas mais desenvolvidos.

Sob regulação, o tratamento e reciclagem de *ELVs* são sujeitos a permissões específicas das agências administrativas. Os negócios de tratamento e reciclagem devem obter registro no governo local para que possam ser qualificados aos subsídios de reciclagem provenientes do *Recycling Fund Management Board (RFMB)* da *Taiwan Environmental Protection Administration (TEPA)* (CHENG et al., 2012). A Figura 6 mostra o processo de reciclagem de *ELVs* em Taiwan.

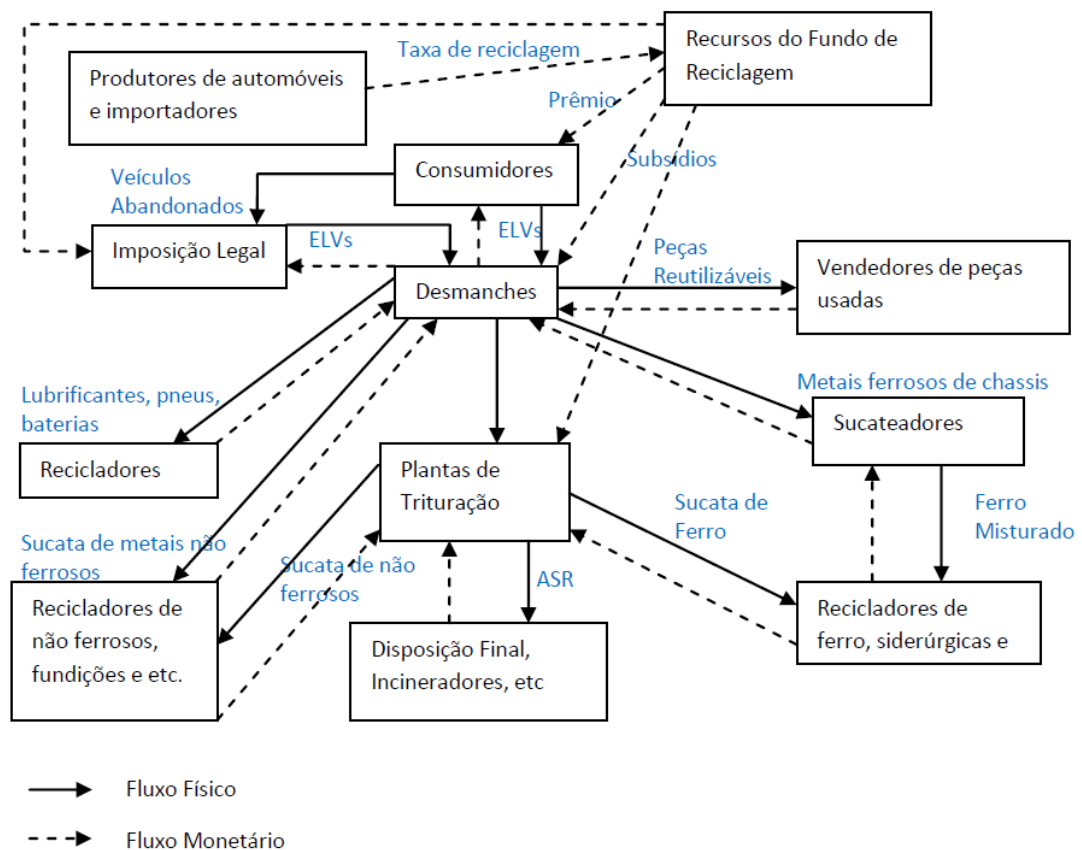


Figura 6 – Cenário de reciclagem e partes relacionadas de *ELV*, em Taiwan

Fonte: Cheng et al. (2012).

Os desmanches devem reportar mensalmente ao *RFMB* a quantidade de *ELVs* processados, bem como o tipo e quantidade de itens regulados de reciclagem recuperados. As unidades de trituração devem inserir seus dados diariamente. O volume de resíduos de veículos, a quantidade de itens reciclados e o peso dos materiais recuperados são auditados e verificados por empresas terceirizadas, contratadas pelo *RFMB* (CHENG et al., 2012).

No Japão, a preocupação com os *ELVs* transpareceu com a promulgação da lei para reciclagem dos mesmos, em 2005. Ela aumentou a responsabilidade do produtor e padronizou o gerenciamento governamental de *ELVs*. Dentre as responsabilidades para os produtores de automóveis estão: prover os projetos de veículos baseados na reciclagem e as informações para desmanche, receber resíduos (*air bags*, Freon e *ASR* dos seus veículos e de importados), reciclar os resíduos recebidos, registrar os resíduos reciclados, especificar o padrão de reciclagem e publicá-lo antes de o veículo ser vendido, marcar o nome da empresa e outras informações requeridas antes da venda do veículo (WANG; CHEN, 2013).

Na Coreia, o sistema de reciclagem foi introduzido em 2007, pelo *The Act for Recycling of Electrical and Electronic Equipment and Automobiles*. Esta lei estabeleceu taxas de recuperação e reciclagem no montante de 80% e 85%, respectivamente, passando para 85% e 95% a partir de 2015 (WANG; CHEN, 2013). Entretanto, esta lei é muito rígida e a maioria dos produtores domésticos tem dificuldades em segui-la (CHE et al. 2008 apud CHE; YU; KEVIN, 2011).

Dentre os países pertencentes à Ásia Oriental, abordados nesta revisão, a China é o único país em desenvolvimento. Não apenas economicamente, mas também na execução de políticas referentes ao correto gerenciamento de *ELVs*.

Apesar das severas regulações e políticas para a reciclagem de produtos automotivos, adotadas pelo governo chinês, desde 2001, essas são de difícil implantação, prejudicando o desenvolvimento da indústria para a remanufatura de *ELVs*. Além disso, na adoção da Responsabilidade Estendida ao Produtor (EPR) falta a definição da responsabilidade entre os produtores automotivos e as empresas de reciclagem (WANG; CHEN, 2013).

Por exemplo, a lei chinesa prevê que as montadoras devam fornecer um guia para o correto desmanche de veículos e outras informações relevantes. Entretanto, os produtores automotivos ignoram essa responsabilidade e as empresas de desmanche, de igual modo, ignoram a provisão dessa informação. Isso acarreta uma baixa técnica de desmanche, reutilização de recursos e proteção ambiental (WANG; CHEN, 2013). A Figura 7 mostra o atual estado da indústria de desmanche e reciclagem, na China.

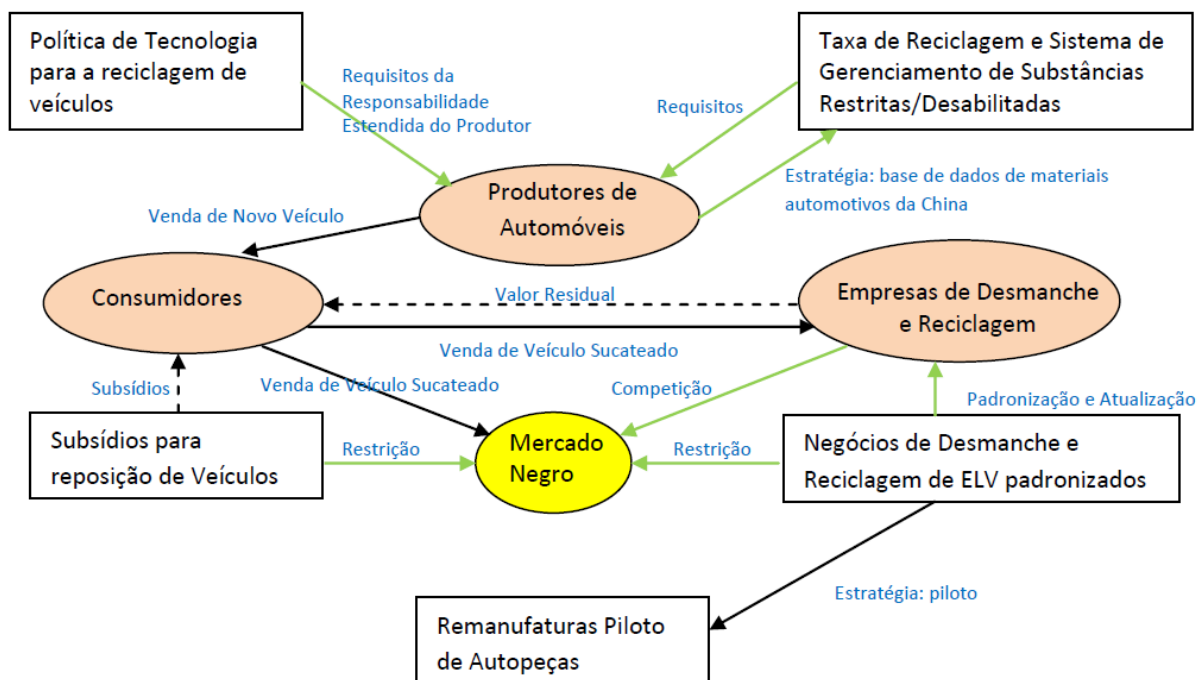


Figura 7– Estado atual da indústria de reciclagem e desmanche, na China

Fonte: Wang e Chen (2013).

Percebe-se que o esquema de desmanche e reciclagem neste país já está praticamente estabelecido; entretanto, apresenta gargalos, principalmente, no que se refere à padronização das ações relevantes a cada agente envolvido, à existência do mercado negro e às remanufaturas estarem ainda em fase piloto.

3.2.4 Países em desenvolvimento

Dos países em desenvolvimento abordados, aqui, nesta pesquisa, o que mais tem se preocupado com a implantação de uma logística reversa de *ELVs*, de maneira eficiente, é o Irã. De acordo com a política adotada recentemente pelo governo, aproximadamente 1.400.000 *ELVs*, por ano, devem ser retirados da frota de veículos (MAHMOUDZADEH; MANSOUR; KARIMI, 2013).

Após ser estabelecida uma lei, em 2009, a remoção de *ELVs* da frota de veículos foi formalmente iniciada no Irã. Esta lei enfatiza três atividades: uma agência do governo (*Institute of Management of Fuel and Transportation*) age como terceirizada, sendo responsável pela coleta, desmanche, reciclagem e reuso de certa quantidade de *ELVs*, de maneira eficiente; incentivos financeiros por parte do governo aos consumidores; produtores

de veículos oferecem opções flexíveis de venda a este tipo de cliente (MAHMOUDZADEH; MANSOUR; KARIMI, 2013).

Segundo Mahmoudzadeh, Mansour e Karimi (2013), os produtores de veículos se sentem incentivados a abraçar a causa, pois quanto mais *ELVs* retiram do mercado, maiores as possibilidades de reposição da frota com veículos recém-lançados.

A agência do governo utiliza a infraestrutura existente de unidades de desmanche e de reciclagem, de maneira a atingir o menor custo possível. A Figura 8 mostra o processo de gerenciamento de *ELVs*, no Irã.

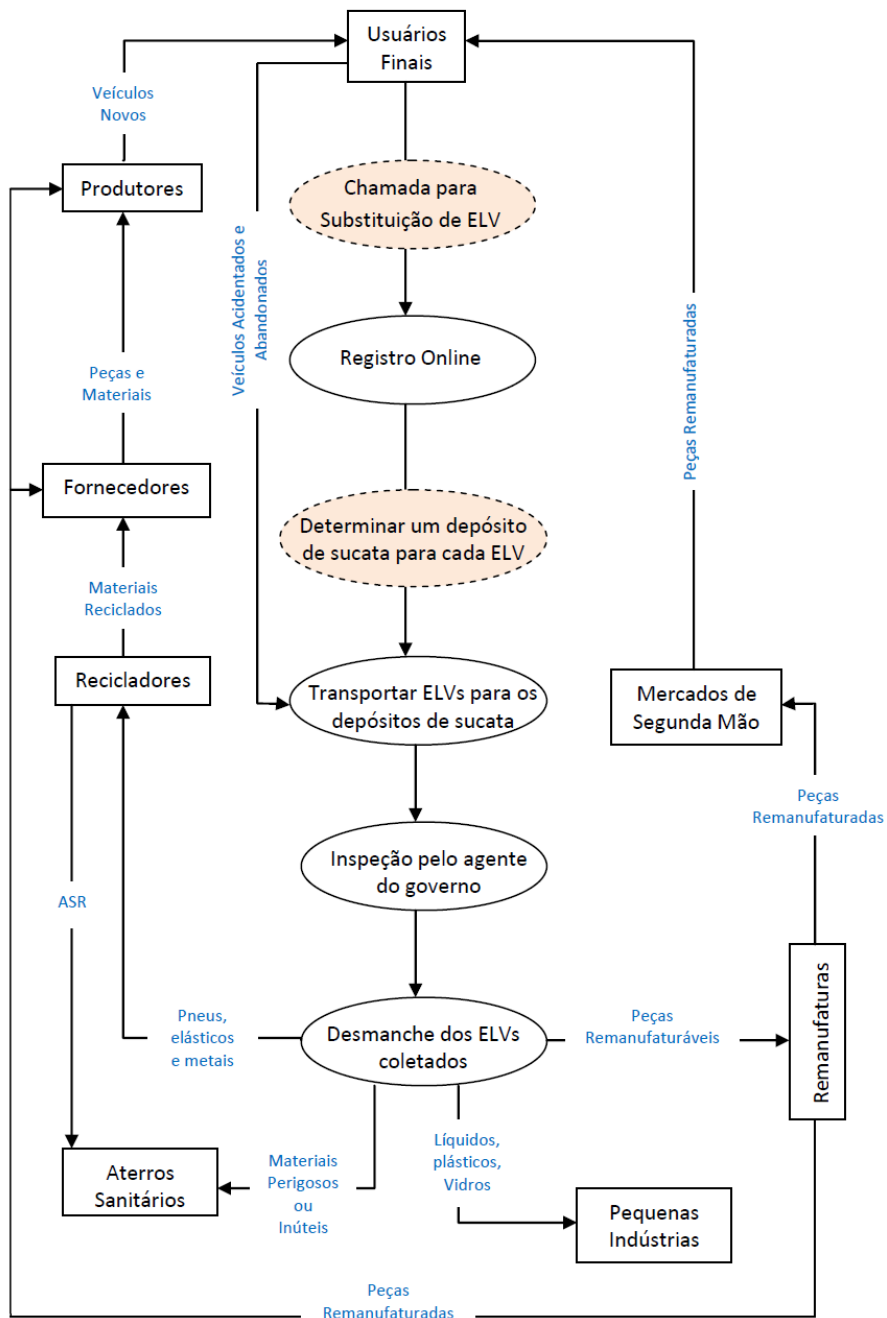


Figura 8 – Procedimento de gerenciamento de *ELVs*, no Irã

Fonte: Mahmoudzadeh, Mansour e Karimi (2013).

O primeiro passo ocorre quando os consumidores são incentivados a oferecer seus carros ou trocar por um novo, possível pela cooperação entre governo, banco central e produtores de veículos, através de incentivos financeiros, empréstimos e opções flexíveis de venda. Os consumidores devem então se registrar num sistema *online* por um período pré-estabelecido. A terceirizada aloca cada *ELV* para o depósito de sucata mais adequado. Após o

período de registro, a terceirizada possui um rol de *ELVs* para processar durante um ano. Esse mecanismo de registro auxilia a terceirizada a reduzir a incerteza do processo (MAHMOUDZADEH; MANSOUR; KARIMI, 2013).

Posteriormente ao desmanche, os materiais que permanecem são: peças remanufaturáveis (no Irã, por conta da atual condição da frota de *ELVs*, ainda não aparecem peças remanufaturáveis), materiais recicláveis (em sua maior parte metais, mas também, pneus e elásticos), materiais não recicláveis, mas usáveis (outros metais, plásticos, líquidos e vidros, que são reutilizados em outras indústrias, como artigos para joalherias e relojoarias, decoração, tintas, químicas). Por último, sobram os materiais não reutilizáveis e os perigosos, *ASR* (estes são descartados em áreas específicas) (MAHMOUDZADEH; MANSOUR; KARIMI, 2013).

Após encaminhar os materiais para as unidades de tratamento devidas, a parte principal da logística reversa foi finalizada pela terceirizada, não cabendo à mesma responsabilidades nas etapas posteriores, que se resumem a processos de produção e oferta convencionais (MAHMOUDZADEH; MANSOUR; KARIMI, 2013).

A Malásia, por outro lado, apesar da produção de veículos ser crescente devido aos bem sucedidos esforços do governo em promover um setor automobilístico viável e competitivo, não tem se atentado com o impacto ambiental causado pelo sucesso desta política. Ainda não foram estabelecidas leis para o gerenciamento de *ELVs* (AMELIA et al., 2009).

Para captar a percepção do setor a este problema, Amelia et al. (2009) entrevistaram uma fábrica de automóveis e uma fábrica de componentes automotivos. Ambos afirmaram que não usam e não são a favor da utilização de peças ou componentes reutilizados, apesar de admitirem que essa prática pudesse gerar redução de custos. As principais barreiras ao reuso foram identificadas como a percepção do consumidor quanto à qualidade dos produtos reutilizados, falta de conhecimento e tecnologia para desenvolvimento da reutilização com qualidade e a falta de um programa de pesquisa e desenvolvimento no reuso.

O Egito enfrenta problema parecido, uma vez que a frota de veículos egípcios tenha crescido 200%, de 2003 a 2007. Mais de 25% dos veículos registrados contam com mais de 30 anos, ou seja, o registro de novos carros não tem significado baixa em veículos velhos. Isso

ocorre porque tais carros são vendidos em mercados de usados, continuando o estágio de uso (HARRAZ; GALAL, 2011).

Segundo Harraz e Galal (2011), as práticas envolvendo recuperação e reuso de *ELVs* são escassas e não sistemáticas, resumindo-se a pequenas oficinas e depósitos de sucata. A única iniciativa do governo é o incentivo financeiro para a renovação da frota de táxis antigos, de maneira a melhorar a qualidade do ar, no Cairo.

No México, existe a prática de gerenciamento de *ELVs*, mas orientada pelas condições do mercado, onde a maioria dos operadores almeja apenas obter a maior lucratividade. Esse gerenciamento não regularizado, nem padronizado, acarreta más práticas, com efeitos negativos sobre o real valor de recuperação dos *ELVs*, como por exemplo, a contaminação dos materiais por fluidos perigosos, o que causa sérios problemas ambientais. Neste sentido, apenas os materiais que apresentam algum valor ou que servem para revenda são desmanchados. O resto é enviado para unidades de trituração e aterros (CRUZ-RIVERA; ERTEL, 2009).

3.3 Logística reversa no setor automobilístico brasileiro

Segundo o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), a frota de automóveis, no Brasil, aproxima-se dos 50 milhões de veículos. Destes, cerca de 55% dos automóveis estão na região Sudeste e o equivalente a 34% se encontra somente no estado de São Paulo (BRASIL, 2015).

Nos próximos 20 anos espera-se que a frota de automóveis chegue a 95,2 milhões. Apesar da discussão nas grandes metrópoles sobre a questão da mobilidade, existe um movimento no sentido da descentralização, com um aumento das vendas nas demais regiões brasileiras. Entre 2007 e 2013, o crescimento das vendas na cidade de São Paulo foi de apenas 6%; já nas cidades com até 5 mil habitantes (um total de 1.252 municípios), o crescimento chegou a 142% (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES, 2015).

Apesar de o Brasil se apresentar como o 8º maior produtor mundial de automóveis (OICA, 2015), o país ainda não possui um modelo padronizado para o gerenciamento de *ELVs*. Em 2009, do total de sucata ferrosa reciclada no Brasil, apenas 19% derivou de veículos. Este número está muito aquém do seu potencial, uma vez que, em 2010, para cada

100 veículos retirados de circulação, apenas 2 foram destinados para reciclagem (SINDICATO DAS EMPRESAS DE SUCATAS DE FERRO E AÇO, 2014).

Entretanto, há certo avanço quanto a mudanças legais, que apontam para uma melhora neste quesito. Existem também, algumas práticas pontuais sendo adotadas, tanto para os veículos em si, como para suas partes e componentes; tanto por órgãos do governo, como pela iniciativa privada; tanto por obediência a determinada regulação, como por força do mercado.

No caso dos pneus inservíveis, por exemplo,

(...) o processo de regulamentação instituído pelo CONAMA impulsionou a estruturação de uma logística reversa de pneus inservíveis. Ainda recente e com algumas dificuldades práticas, esta cadeia constitui uma alternativa para minimizar um relevante passivo ambiental, criando uma solução interessante através de um novo ambiente institucional que permitisse a criação de uma estrutura composta por empresas fabricantes de pneumáticos, instituições focadas no assunto, prefeituras municipais e empresas de pré-tratamento e destinadoras. Nesse sentido, a cadeia de logística reversa de pneus é ampla, envolvendo, inclusive a participação da sociedade nas fases iniciais (BARTHOLOMEU; CAIXETA-FILHO, 2011, p.73).

Observando, então, o caso dos pneus inservíveis, talvez se possa inferir que o processo de regulamentação seja o grande fator impulsionador para a estruturação da logística reversa de automóveis no Brasil, podendo refletir na participação conjunta dos diversos segmentos da sociedade relacionados de alguma maneira com o setor.

3.3.1 Legislação

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei 12.305/2010, foi o marco regulatório para as questões envolvendo o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos, no Brasil. De acordo com a mesma, a responsabilidade deve ser compartilhada entre os geradores de resíduos, ou seja, fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, cidadãos, e titulares de serviços de limpeza e de manejo de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Esta política prevê que, no ciclo de vida do produto, a responsabilidade compartilhada tem como objetivo promover o aproveitamento dos resíduos sólidos, direcionando-os para sua cadeia produtiva ou para outras cadeias produtivas. Entretanto, são poucos os setores

obrigados a estruturar e implantar sistemas de logística reversa, tais como: agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas e produtos eletrônicos (BRASIL, 2010).

Percebe-se que alguns dos setores obrigados a estruturar e implantar a logística reversa (baterias, pneus, óleos lubrificantes) fazem parte do setor automobilístico por entrarem na confecção do produto final automotivo, mas o automóvel em si não é contemplado por esta lei, de maneira precisa.

No estado de São Paulo, ficou a cargo da Resolução SMA nº 38/2011 a incorporação desta responsabilidade no pós-consumo, com uma lista de setores a serem obrigados a implantar um sistema de logística reversa de maneira mais ampla. Estes setores se referem a aqueles onde o produto no pós-consumo resulte em resíduos perigosos (óleo lubrificante automotivo, óleo comestível, filtro de óleo lubrificante automotivo, baterias automotivas, pilhas e baterias, produtos eletrônicos, lâmpadas contendo mercúrio e pneus), ou cujas embalagens plásticas, metálicas ou de vidro, após o consumo, resultem em resíduos de grande impacto ambiental (alimentos, bebidas, produtos de higiene pessoal, de perfumaria e cosméticos, produtos de limpeza, agrotóxicos e óleo lubrificante automotivo) (SÃO PAULO, 2011).

Na Resolução SMA nº 45/2015, definem-se as diretrizes para a implantação e operacionalização da responsabilidade pós-consumo no estado de São Paulo, ampliando um pouco mais a gama de setores exigidos a implantar a logística reversa, incorporando os setores de medicamentos domiciliares, lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e de luz mista. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) condiciona o cumprimento desta Resolução para a emissão ou renovação da licença de operação dos setores contemplados pela mesma (SÃO PAULO, 2015a).

Apesar de não se ter nada concreto, no Brasil, em relação à política direcionada à logística reversa de *ELVs*, algumas ações embrionárias começam a fazer parte das decisões governamentais. No início de 2014, o governo do estado de São Paulo sancionou a Lei 15.276/14, que regulamenta a atividade dos desmanches localizados no estado, sendo os mesmos obrigados a se credenciar e prestar relatório mensal ao Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo (DETRAN.SP), das peças comercializadas (SÃO PAULO, 2014a). Em, 20 de maio de 2014, a presidente Dilma Rousseff sancionou a Lei 12.977, que regula e disciplina a atividade de desmontagem de veículos automotores, onde a atividade de desmanche só poderá ser realizada por empresa especializada, devidamente cadastrada e fiscalizada pelo órgão de trânsito competente, onde todas as peças comercializadas e

destinadas a sucata devem ser cadastradas em um banco de dados nacional (de conhecimento público) e comercializadas via emissão de nota fiscal (BRASIL, 2014).

A Lei 12.977/14, conhecida como Lei do Desmanche, foi criada com o intuito de proporcionar uma redução nos furtos e roubos de automóveis, uma vez que a procedência dos veículos a serem desmanchados deverá ser comprovada. Com a aplicação desta lei, regulando-se os desmanches, torna-se possível a posterior estruturação de um modelo de logística reversa para *ELVs*, sendo uma das dificuldades existentes até então a existência de um vasto mercado ilegal para peças de automóveis furtados e roubados. De acordo com Portaria Detran nº 1.215/14, somente empresas credenciadas poderão participar de leilões para adquirir veículos com a finalidade de desmanche ou reciclagem de peças (SÃO PAULO, 2014b).

De acordo com o DETRAN.SP, em 1º de julho de 2015, após um ano da Lei do Desmanche ter entrado em vigor, no Estado de São Paulo, foi possível observar alguns resultados. O índice de roubos de veículos, em maio de 2015, sofreu uma queda de 28,49%, em comparação ao mesmo mês do ano anterior; já o índice de furtos, diminuiu em 18,02%. Neste período, 1.523 empresas do setor de desmanche solicitaram credenciamento junto ao Departamento de Trânsito, sendo que, apenas 1.047 tiveram o pedido deferido. As demais, por não terem apresentado a documentação completa conforme previsto na legislação, tiveram seus pedidos negados (SÃO PAULO, 2015b).

Quanto à fiscalização, em esforços conjuntos com a Secretaria de Segurança Pública (SSP), a Secretaria da Fazenda e as prefeituras locais, até julho de 2015, foram fechados 671 estabelecimentos irregulares, de um total de 1.132 fechados em todo o estado de São Paulo. Entre as penalidades para as empresas irregulares estão: a interdição do estabelecimento, perda das peças, multa, cassação da inscrição no cadastro de contribuintes do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e responder a processo administrativo junto ao DETRAN.SP (SÃO PAULO, 2015b).

No início do segundo semestre de 2015, tornou-se disponível o sistema *online* do DETRAN.SP, onde as empresas credenciadas devem etiquetar e cadastrar as peças que serão comercializadas, com informações do veículo de origem e nota fiscal de entrada e saída (SÃO PAULO, 2015b).

3.3.2 Práticas adotadas

Para fornecer uma destinação adequada aos veículos apreendidos, que não possuem direito a documentação, em fim da vida útil ou considerados como sucata, o Detran.SP realiza periodicamente leilões. Como já mencionado, a Portaria Detran nº 1.215/14 determina que apenas as empresas de desmonte e reciclagem de veículos devidamente cadastradas pelo Detran.SP poderão adquiri-los.

De acordo com esta Portaria, são considerados veículos automotores em fim da vida útil, sem direito a documentação e destinados ao desmonte ou reciclagem aqueles que: forem considerados como irrecuperáveis ou sinistrados de grande monta; ou possuem data de fabricação superior a 20 anos. São considerados como sucata veicular, sem direito a documentação e destinados à reciclagem, os veículos automotores total ou parcialmente incendiados, enferrujados, ou amassados, de maneira a ser inviável o reaproveitamento de peças; que estiverem repartidos; forem considerados pelo avaliador do leilão em péssimas condições; estarem totalmente desmontados; que não forem passíveis de identificação ou quando não for possível demonstrar a legitimidade de propriedade. Os veículos destinados à reciclagem deverão ser descontaminados e compactados antes de se proceder ao transporte, sob penas da lei (SÃO PAULO, 2014b).

O Detran.RS, além de realizar o leilão dos veículos apreendidos, destina, ele mesmo, para a reciclagem aqueles que não podem ser leiloados por possuírem algum tipo de restrição administrativa, jurídica ou policial. Desde 2009, quando o projeto começou, já foram destinados à reciclagem 22,3 mil veículos e sucatas, o que representa 8,7 toneladas a menos para o estado custear com o armazenamento (RIO GRANDE DO SUL, 2015).

Nas fases de captação, separação e reciclagem, especificamente, podem ser citadas as ações promovidas pelas seguradoras de automóveis, empresas de reciclagem, Gerdau e pela futura atuação do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG).

Algumas seguradoras, dentre elas o Grupo BB, Mapfre e a Porto Seguro, têm desenvolvido iniciativas para a destinação adequada dos veículos que saem de circulação por acidente ou por fim da vida útil.

No Grupo BB e Mapfre, os veículos definidos como perda total são encaminhados para um dos pátios da seguradora, onde são retirados os componentes soltos, direcionados para empresas de reciclagem, por meio da Ecopalace, empresa especializada na separação e destinação final de veículos. A carcaça do automóvel é enviada para a indústria siderúrgica

que procederá à reciclagem do aço (ALEXANDRE, 2013). Segundo Alexandre (2013), cada tonelada de aço produzida com sucata pode evitar a extração de 1.140 quilos de minério de ferro e 154 quilos de carvão, consumindo apenas a terça parte da energia que uma tonelada gerada a partir do minério de ferro normalmente consome.

A Ecopalace não apenas é parceira de seguradoras, como também trabalha diretamente com oficinas mecânicas. A empresa se propõe a captar, separar e oferecer uma destinação adequada aos componentes automotivos, enviando para empresas de reciclagem os resíduos sólidos e sucata. Ao final deste processo é emitido um certificado de responsabilidade ambiental (ECOPALACE, 2015).

Já a Porto Seguro, através da sua empresa controlada Renova Ecopeças, tem apostado no reuso de peças (85% do automóvel) e reciclagem (10% do automóvel). O processo da Renova Ecopeças é caracterizado por 8 passos, que vão desde a baixa do veículo no Detran até a venda das peças ao consumidor final, passando por todo um controle e fiscalização com nanotecnologia para assegurar a procedência e qualidade das mesmas (RENOVA ECOPEÇAS, 2015).

No primeiro passo, analisa-se a documentação do automóvel para assegurar a sua procedência, efetuando-se a baixa do mesmo, para evitar posteriores atividades ilícitas, como carros dublê⁷. Em seguida, passa-se à etapa de descontaminação, onde óleos, gases e fluidos são retirados de maneira segura e ambientalmente adequada, sendo encaminhados para empresas especializadas na reciclagem destes fluidos. O automóvel segue para a desmontagem, onde são retirados, em sequência, peças móveis de lataria, tapeçaria, vidros, componentes mecânicos, itens de segurança e monobloco. As peças desmontadas são classificadas em A (peças ótimas para reuso, como porta, faróis e painéis), B (peças com pequenas avarias, que serão vendidas a um preço mais baixo) e C (todas as demais peças que não podem ser reaproveitadas, como itens de segurança, baterias, pneus, que são encaminhadas aos seus próprios fabricantes ou para empresas especializadas na reciclagem destes componentes) (RENOVA ECOPEÇAS, 2015).

⁷ Veículo com mesmas características e placas de outro veículo, de tal maneira que infrações ou crimes recaem sobre o veículo imitado.

Nas peças do tipo C, a bateria, itens da suspensão e caixa de direção retornam ao fabricante. Os vidros serão reutilizados na fabricação de garrafas, as peças plásticas podem retornar como partes do carro ou outros objetos de plástico. Os pneus reciclados se transformam em asfalto, piso de quadra e solado de borracha, o óleo vira óleo básico mineral refinado e as peças de metal avariadas são prensadas, podendo retornar à indústria automotiva ou se transformar em vergalhões para a construção civil (RENOVA ECOPEÇAS, 2015).

Em seguida, as peças do tipo A e B são marcadas de maneira única e inviolável, ganhando uma nova nota fiscal, sendo catalogadas e armazenadas para posterior venda ao consumidor final, que pode tanto ser pessoa física ou jurídica (por exemplo, oficina de reparo). As peças do tipo C são descaracterizadas, armazenadas em contêineres e direcionadas aos fabricantes ou empresas especializadas, que procederão à reciclagem das mesmas (RENOVA ECOPEÇAS, 2015).

Segundo Garfinkel (2015), a capacidade de desmontagem da Renova Ecopeças está em 500 veículos/mês, sendo possível aumentar essa capacidade para 1.500 veículos, se forem utilizados três turnos de produção. Mesmo operando em capacidade máxima, ainda não é possível atender, em sua totalidade, ao volume de automóveis pertencentes à própria Porto Seguro.

Com a Resolução 336/16, o mercado de peças de reuso poderá se expandir. Essa resolução dispõe sobre as regras e os critérios para a utilização da modalidade de seguro popular, que prevê a utilização de peças provenientes de reuso para recuperação de veículos sinistrados. Com isso, o potencial de demanda para este mercado deve se elevar significativamente, oferecendo oportunidades de negócios para novas empresas (BRASIL, 2016).

A Gerdau, empresa do segmento de siderurgia brasileiro, recicla todos os anos cerca de 14 milhões de toneladas de sucata ferrosa, transformando-a em aço, para diversas utilidades. A maior parte da sucata é proveniente de fogões, geladeiras e carros velhos (GERDAU, 2015). Especificamente em relação a veículos, desde 2008, mais de 30 mil automóveis, caminhões e ônibus já foram reciclados pela Gerdau. Os mesmos são adquiridos através de leilões, de unidades do Detran de oito estados, tendo capacidade para triturar o equivalente a 200 carros por hora (RIO GRANDE DO SUL, 2015). A Gerdau também possui parceria com a Federação Nacional de Seguros Gerais (FENSEG), para a reciclagem de veículos com perda total. Estes, primeiro passam por processo de descontaminação, retirada

de fluidos, vidros e baterias, sobrando apenas a sucata ferrosa que será destinada à siderúrgica (FREITAS, 2015).

Em parceria com a Agência Internacional do Japão (JICA) e a empresa Kaiho Sangyo, o CEFET-MG planeja abrir o primeiro Centro de Treinamento de Reciclagem Veicular da América Latina. O projeto tem início previsto para o ano de 2016, com um aporte de US\$ 1 milhão pela JICA, para a compra de maquinário e equipamentos, do intercâmbio de professores e profissionais especializados e na montagem da planta piloto. O processo considera a reciclagem de todos os componentes, desde o cobre dos fios, o plástico dos painéis, o tecido dos bancos, o ouro e a prata usados nos computadores de bordo, óleo e combustível residual, pneus e borrachas, vidros e painéis, até sobrar apenas a carcaça, que é vendida como sucata (FRANCIA, 2014).

Podem ser citadas, também, as práticas de remanufatura de autopeças, dentre elas, as encabeçadas pela Associação Nacional dos Remanufaturadores de Autopeças (ANRAP), uma associação criada em 1994 com o objetivo de demonstrar aos clientes e companhias o conceito da remanufatura. As empresas associadas possuem um selo de qualidade da ANRAP, que garante qualidade dos produtos remanufaturados (SAAVEDRA et al., 2013).

Atualmente, as empresas associadas à ANRAP realizam a remanufatura de motores, motores de partida, embreagens, compressores, freios a disco, caixas de direção, turbinas e caixas de câmbio. Os produtos remanufaturados são comercializados através de rede de distribuidores, rede de centros técnicos ou lojas de varejo, muitas vezes com base de troca. O consumidor leva a peça de vida útil exaurida mas em bom estado, adquirindo o produto remanufaturado⁸.

Segundo Germano (2015), a remanufatura é um tema relevante dentro da reciclagem automotiva, uma vez que proporciona a redução de gases do efeito estufa, consumo de matéria-prima, energia, água e geração de resíduos, além de contribuir para a geração de emprego e sustentabilidade do setor. Pelo lado do consumidor, a utilização de peças automotivas remanufaturadas aumentaria a vida útil do automóvel, promoveria o menor custo e maior segurança na manutenção do veículo, pois os produtores seguem na remanufatura as

⁸ Fonte: <http://www.anrap.org.br/site/anrap/>. Acesso em: 15 set. 2015.

mesmas rígidas normas de produção dos itens, garantindo a procedência e originalidade do produto.

Dado o exposto, percebe-se que as ações relacionadas à logística reversa no setor automobilístico brasileiro são insuficientes e ainda em fase embrionária. O potencial das mesmas pode tanto ser fomentado, como restringido, dependendo do ambiente ao qual este novo setor em formação se depara. Se não houver incentivos suficientes unicamente através das forças de mercado, talvez o devido amparo legal possa estabelecer os incentivos apropriados.

4 MATERIAL E MÉTODO

Como método de pesquisa optou-se pela técnica de métodos mistos, que emprega a coleta de dados associada às duas formas de pesquisa: a qualitativa e a quantitativa. Segundo Creswell (2007), esse tipo de técnica é utilizado quando, para o melhor entendimento de um problema, não seja suficiente o emprego de apenas uma das duas formas de pesquisa.

Espera-se que o método escolhido proporcione uma melhor compreensão das características e similaridades presentes no setor automotivo brasileiro, de maneira a auxiliar numa melhor proposta para a implantação da logística reversa no setor.

Na parte qualitativa são apresentados os procedimentos adotados na pesquisa. Para a parte quantitativa, foi desenvolvido um modelo matemático, através de programação linear, buscando propor uma possível estrutura para a implantação, de maneira ordenada, da logística reversa no setor automotivo brasileiro.

4.1 Pesquisa qualitativa

Para a parte qualitativa, procurou-se entrar em contato com os principais representantes dos setores que possuam algum tipo de relação com o setor automotivo, bem como com as empresas montadoras diretamente. Portanto, desde representantes de montadoras, fabricantes e fornecedores de autopeças, seguradoras até desmanches.

Entretanto, apenas 11 empresas aceitaram participar da pesquisa, correspondendo a quatro setores diferentes.

No primeiro setor, chamado de Estudo de caso 1, foi entrevistado um órgão representativo das montadoras de automóveis; no segundo, chamado de Estudo de caso 2, tem-se a uma companhia representativa no mercado de seguros, que direciona veículos salvados⁹ para destinação adequada, através de um desmanche. Em ambos os casos, os informantes ocupam cargos da alta gerência nestas companhias.

⁹ Veículos que passam a pertencer à seguradora após o pagamento da indenização ao segurado, por conta de sinistro.

Nos Estudos de caso 3 e 4 foram entrevistadas empresas de pequeno porte. No Estudo de Caso 3 aparece a união das entrevistas em 8 desmanches e, no Estudo de caso 4, em uma empresa do ramo de sucatas.

O modelo de questionário aplicado pode ser visualizado no Anexo A, estruturado por meio de questões abertas, de maneira a tentar capturar a maior gama de informações de cada entrevistado. Neste questionário são abordados temas como o panorama atual, a recepção com relação à lei do desmanche e à implantação da logística reversa no setor.

Almeja-se, com estas entrevistas, captar a percepção e opinião dos participantes com relação à possível implantação e consolidação da logística reversa no setor automobilístico brasileiro. Adicionalmente, busca-se traçar um esboço da estrutura atual de gerenciamento dos veículos em fim da vida útil.

4.2 Pesquisa quantitativa

Nesta seção realiza-se uma revisão dos trabalhos que utilizaram empiricamente o método de programação linear a problemas relacionados à logística reversa e a apresentação do modelo matemático para o gerenciamento de fluxos de *ELVs*, na logística reversa.

4.2.1 Aplicação empírica de modelos matemáticos para a logística reversa

São apresentados nesta seção alguns exemplos de aplicações empíricas de modelos matemáticos que utilizaram métodos de programação para o problema de logística reversa.

Schultmann, Zumkeller e Rentz (2006) procuraram otimizar as rotas de veículos que operam em desmanches de *ELVs*, na Alemanha, através de programação inteira e mista. O modelo foi aplicado para três cenários previstos para o ano de 2015, com relação ao número de desmanches, que têm apresentado uma tendência de concentração no país. O primeiro cenário considerou que o número de desmanches tenha permanecido aos níveis de 2006, que era equivalente a 1.202 desmanches; o segundo que tenha caído a 840 e o terceiro a 500. Os resultados mostraram não haver muitas mudanças em relação aos três cenários.

Cruz-Rivera e Ertel (2009) utilizaram um modelo de localização, através de programação inteira e mista para definir a localização ótima de instalações relacionadas à logística reversa de *ELVs* gerados no México, analisando os serviços de coleta, despoluição e desmanche. O modelo foi aplicado a três cenários diferentes. Cada cenário diferenciava-se do

outro com relação à abrangência de coleta de *ELVs*. Os três cenários consideraram 100%, 90% e 75% de cobertura, respectivamente. Os resultados mostraram que o terceiro cenário possui mais chances de acontecer no México, no curto prazo, devido ao baixo investimento requerido e por conta da ausência de planos de gerenciamento e legislação orientada à produção.

Harraz e Galal (2011) utilizaram o método programação não linear e inteira por metas, objetivando desenhar a rede de logística reversa para *ELVs*, no Egito. Em tal modelo, foram considerados dois tipos de unidades: centros de coleta e desmanche e centros de remanufatura. Em termos operacionais, considerou-se que os *ELVs* seriam comprados do consumidor final pelos centros de desmanche. Tais *ELVs* seriam desmanchados em peças e componentes, que por sua vez, receberiam destinação de acordo com critérios tecnológicos, econômicos e sociais adequados, dentre as possibilidades consideradas no modelo, como reuso, remanufatura, reciclagem ou disposição final. As variáveis de decisão estavam caracterizadas em dois tipos: a escolha da localização dos centros de coleta e de desmanche e centros de remanufatura, além das quantidades para as diferentes opções de *ELVs*.

Cardoso, Barbosa-Póvoa e Relvas (2013) formularam um modelo de programação inteira e mista para o desenho da cadeia de suprimentos integrada com a logística reversa, considerando simultaneamente produção, distribuição e atividades de logística reversa. Foram definidos três cenários, incorporando incerteza na demanda. O objetivo do modelo foi maximizar o valor presente líquido e os resultados detalharam o tamanho e a localização das plantas, atacadistas e varejistas, definição do processo de instalação e estabelecimento dos fluxos de ida e reversos. O modelo foi aplicado a uma cadeia de suprimentos representativa na Europa.

Mahmoudzadeh, Mansour e Karimi (2013) elaboraram um modelo de programação inteira e mista para determinar a localização ótima de depósitos de sucata, para processamento de *ELVs*, no Irã, bem como as alocações e fluxos de materiais ótimos. Baseados na idade, os *ELVs* foram categorizados em três níveis de qualidade com diferentes fluxos de produtos derivados. Dois cenários foram analisados: o cenário A com respeito aos níveis de qualidade dos *ELVs* e o cenário B com base nas taxas de remanufatura e reciclagem a serem adotadas futuramente. Os resultados apontaram para uma tendência de especialização no processo de alocação, ou seja, a maioria dos depósitos de sucata seria aberta para atender a um ou a dois

níveis de qualidade. Com a análise dos cenários A e B, intensificou-se essa tendência à especialização.

4.2.2 Modelo proposto

A modelagem adotada neste estudo além de envolver a solução de um problema de transporte, considera uma abordagem multicritério, envolvendo os três pilares de sustentabilidade: econômico, ambiental e social, de maneira que seja adequada para países em desenvolvimento, como o Brasil, onde são considerados os problemas de disponibilidade de dados e falta de regulação ambiental.

Esta modelagem foi baseada na proposta desenvolvida por Harraz e Galal (2011), considerando algumas adaptações que melhor se alinhem à realidade com que se depara a logística reversa de automóveis no estado de São Paulo, que é o objeto de aplicação nesta pesquisa.

Neste trabalho, foi apreciada apenas a reciclagem como alternativa de gerenciamento deste produto. No lugar dos desmanches como receptores dos veículos foram considerados os sucateiros.

Um fator extremamente limitante a esta pesquisa foi a obtenção dos dados primários, referentes ao processo de desmanche de automóveis para reuso de peças. Das poucas empresas que já desempenham essa atividade de maneira padronizada, uma parte optou por não participar da pesquisa e das que optaram por participar, acabaram se recusando a passar informações mais precisas, apesar dos incansáveis esforços despendidos neste sentido.

Igualmente, tais dados não puderam ser obtidos por vias secundárias uma vez que o mercado de desmanche de veículos foi recentemente regulamentado, através da Lei do Desmanche nº.12.977/14, não existindo ainda qualquer base de dados disponível para acesso ao público.

Diante do exposto, optou-se por considerar apenas a reciclagem de veículos como alternativa ao gerenciamento de veículos em fim de vida, uma vez que a inclusão dos desmanches no modelo poderia comprometer a sua estrutura e aplicação, no que se refere à sua adequação à realidade.

Entretanto, a alternativa do uso de desmanches não pode ser de todo desprezada no entendimento do funcionamento do processo de logística reversa de *ELVs*, no Brasil, devido à sua relevância, tanto que a Lei do Desmanche nº.12.977/14 veio com o intuito de regularizar a

situação dos desmanches clandestinos, dentre os seus principais objetivos. Assim, na parte qualitativa aparecem descritas as informações que foram obtidas durante a pesquisa realizada com agentes do setor.

Outra diferença com relação ao trabalho de Harraz e Galal (2011) se refere à dimensão ambiental da modelagem, onde se propõe como benefício ambiental apenas a maximização da reciclagem e minimização do montante disposto sem algum tipo de tratamento. Aqui, apresenta-se como benefício ambiental, adicionalmente, a possibilidade de redução das emissões de CO₂ e da redução do consumo de energia elétrica no processo de produção do aço.

Por fim, neste trabalho considera-se ainda a capacidade instalada presente de sucateiros, procurando otimizar os fluxos, entrando na modelagem questões referentes à obtenção da localização ótima de instalações apenas em um dos cenários propostos.

4.2.2.1 Especificação do modelo

O objetivo central do modelo utilizado neste estudo é otimizar o número de *ELVs* adquiridos como sucata para processamento e os fluxos de materiais direcionados para os sucateiros, reciclagem e disposição final. Foi considerada a existência de três tipos de instalações: os sucateiros, os centros de reciclagem e os centros de disposição.

A modelagem matemática baseia-se na consideração do fluxo de venda de *ELVs* aos sucateiros pelos proprietários, oficinas, seguradoras ou leilões de carros apreendidos, que recebem um reembolso por isso.

Nos sucateiros, são retirados materiais recicláveis e não recicláveis dos *ELVs*, restando apenas a carcaça, que é prensada e triturada. Em seguida, os materiais recicláveis são enviados para as empresas de reciclagem, por tipo de material; os metais resultantes da carcaça prensada e triturada são enviados para empresas de siderurgia para reciclagem do aço e os resíduos são enviados para os centros de disposição final, para a correta destinação dos mesmos.

Espera-se que os fluxos dependam dos custos de transporte entre os pontos de origem e destino (ofertantes de *ELV* – sucateiros, sucateiros – centros de reciclagem, sucateiros – centros de disposição final) e da capacidade de recepção de *ELVs* pelos sucateiros, de materiais recicláveis pelos centros de reciclagem, por tipo de material, e dos resíduos pelos centros de disposição.

O modelo proposto considera os três pilares de sustentabilidade, adaptado do formato apresentado por Harraz e Galal (2011), da maneira que se segue:

- a) Dimensão Econômica: exposta pela consideração dos custos e receitas envolvidas no processo. Vale destacar que, assim como na dimensão ambiental, podem ser elencadas a possibilidade de se poupar recursos naturais e a redução das externalidades geradas na sociedade pelo uso de automóveis em fim da vida útil elevando desta maneira, o bem-estar social.
- b) Dimensão Ambiental: para representação dos efeitos na dimensão ambiental optou-se pela contribuição na função objetivo pela redução de emissões de CO₂ a cada veículo em fim da vida útil que passa pelo processo da logística reversa. Adicionalmente, considerou-se a possibilidade da economia de energia elétrica referente ao processo de reciclagem dos metais presentes nos *ELVs*.
- c) Dimensão Social: pela implantação da logística reversa, entende-se implicitamente, que exista uma melhora social, devido à criação de novos empregos, gerando renda, além do desenvolvimento humano que se segue à padronização das operações com produtos em fim de vida.

4.2.2.2 Representação diagramática

A Figura 9 mostra esquematicamente o fluxo de veículos enviados a cada sucateiro, a partir dos próprios proprietários, oficinas, adquiridos em leilões de veículos apreendidos e os salvados provenientes das seguradoras. Nos sucateiros, os veículos são reduzidos a duas parcelas: destinados à reciclagem e destinados à disposição final. O material destinado à reciclagem é direcionado aos centros de reciclagem, por tipo de material, de acordo com percentuais preestabelecidos para cada veículo que entra no processo.

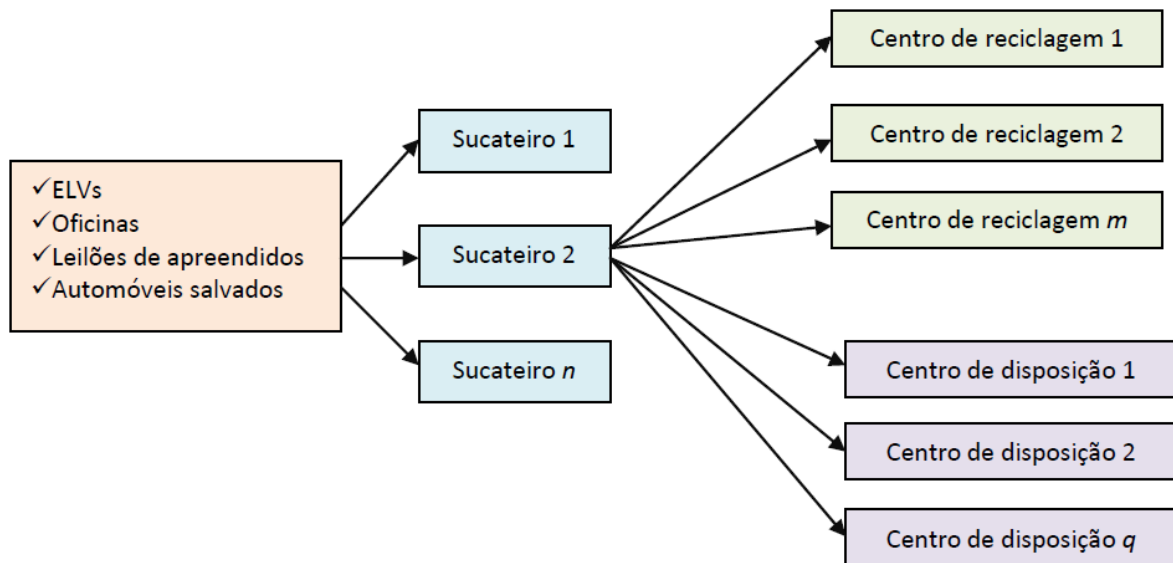


Figura 9 – Fluxo dos *ELVs* e de materiais a partir dos mesmos

Fonte: Elaboração própria.

4.2.2.3 Representação matemática

Este modelo foi elaborado assumindo-se algumas premissas: os custos de transporte para recicladores são incorridos pelo respectivo agente; as localizações e capacidades das unidades são conhecidas; as receitas e custos dos recicladores não foram considerados no processo de otimização do modelo, apenas dos sucateiros; os custos dos sucateiros se restringem ao valor de aquisição do automóvel, do transporte dos mesmos do ponto de origem até a localização de cada sucateiro e, por fim, de disposição final e transporte daquilo que não é enviado para reciclagem.

Índices:

i : localização da origem de *ELVs*

j : localização dos sucateiros

k : localização dos recicladores

l : localização dos centros de disposição

t : tipo de material reciclável

Parâmetros:

β_t : percentual de cada tipo de material t presente no *ELV*

α : percentual do *ELV* não reaproveitado, direcionado para disposição final

δ : percentual de metais presente no *ELV*

F_{ij} : custo do transporte das sucatas da origem em i até os sucateiros em j , por tonelada

ps : preço médio de compra do *ELV* adquirido como sucata

$pr_{j,k,t}$: preço de venda do sucateiro em j para o reciclador em k , por tipo de material t

CD_{jl} : custo de disposição dos resíduos resultantes, do sucateiro localizado em j para cada centro de disposição localizado em l , por tonelada

RC : redução da produção de CO_2 , por *ELV* reciclado, em toneladas

RE : redução do consumo de energia elétrica, por tonelada de aço reciclado, em kWh

Cs_j : capacidade do sucateiro localizado em j

Cr_{kt} : capacidade do reciclador localizado em k , do material t

Ce_l : capacidade do centro de disposição localizado em l

ELV_i : máximo disponível de *ELVs*, em cada localidade i , em toneladas

Variáveis de decisão:

x_{ij} : número de *ELVs* sucateados transportados da localidade i para o sucateiro localizado em j

xr_{jkt} : parcela do *ELV* destinada para reciclagem do sucateiro localizado em j para o centro de reciclagem, do material t , na localização k , em toneladas

e_{jl} : parcela do *ELV* transformada em resíduo, no sucateiro localizado em j , enviado para disposição final na localidade l

Função Objetivo

$$\text{MAX } Z \quad (29)$$

$$Z = \text{RECEITA} + \text{REDUÇÃO DE CO}_2 + \text{REDUÇÃO DE ENERGIA} - \text{CUSTO DE AQUISIÇÃO} - \text{CUSTO DE TRANSPORTE} - \text{CUSTO DE DISPOSIÇÃO} \quad (30)$$

$$\text{RECEITA} = \sum_{k=1}^o \sum_{t=1}^p pr_t \times xr_{kt} \quad (31)$$

$$\text{REDUÇÃO DE CO}_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n RC \times x_{ij} \quad (32)$$

$$\text{REDUÇÃO DE ENERGIA} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n RE \times x_{ij} \times \delta \quad (33)$$

$$\text{CUSTO DE AQUISIÇÃO} = \sum_{i=1}^m ps \times x_{ij} \quad (34)$$

$$\text{CUSTO DE TRANSPORTE} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{ij} \times x_{ij} \quad (35)$$

$$\text{CUSTO DE DISPOSIÇÃO} = \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^q e_{j,l} \times CD_{j,l} \quad (36)$$

Restrições consideradas:

a) restrição sobre a oferta de *ELVs*

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq ELV_i, \text{ para todo } i \quad (37)$$

b) o fluxo de *ELVs* recebidos pelos sucateiros não deve ser superior à capacidade de cada um

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq CS_j, \text{ para todo } j \quad (38)$$

c) equilíbrio entre o fluxo de materiais para reciclagem a partir de cada sucateiro e o volume recebido por reciclador, de cada tipo de material

$$\sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^p x_{ij} \times \beta_t = \sum_{k=1}^o \sum_{t=1}^p xr_{jkt}, \text{ para todo } j \quad (39)$$

d) fluxo de materiais enviados aos centros de reciclagem não deve ser superior à sua capacidade, por tipo de material

$$\sum_{j=1}^n xr_{jkt} \leq Cr_{kt}, \text{ para todo } k \text{ e } t \quad (40)$$

e) o fluxo de resíduos a partir de cada sucateiro para os centros de disposição deve ser igual ao volume gerado de resíduos em cada localização

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \times \alpha = \sum_{l=1}^q e_{jl}, \text{ para todo } j \quad (41)$$

f) o fluxo de resíduos a partir dos sucateiros para cada centro de disposição final não deve ser superior à capacidade dos mesmos

$$\sum_{j=1}^m e_{jl} \leq Ce_l, \text{ para todo } l \quad (42)$$

g) Restrições Não negativas

$$x_{ij}, xr_{jkt}, e_{jl} \geq 0 \quad (43)$$

A estrutura matemática foi compilada e processada através da linguagem de otimização GAMS (2015), apresentada no Apêndice A.

4.2.3 Especificação dos dados

4.2.3.1 Delimitação da área de estudo

Nesta pesquisa, a modelagem proposta bem como sua aplicação segue como modelo o estado de São Paulo, devido à representatividade da sua frota de automóveis, comparativamente aos demais estados brasileiros, além de ser um dos únicos estados do Brasil com ações que extravasam as diretrizes definidas pelo Governo Federal e com aparente expansão com respeito à logística reversa de automóveis.

Como já mencionado anteriormente, estima-se que aproximadamente 34% da frota de automóveis no Brasil pertença ao estado de São Paulo, sendo equivalente às frotas dos estados de Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul juntos, os quais são, nesta ordem, os próximos estados com maior frota, como pode ser visualizado na Figura 10.

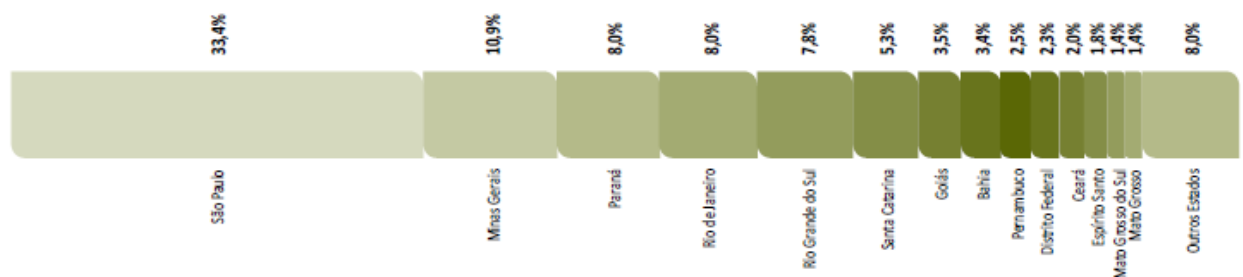


Figura 10 – Estimativa da frota de automóveis nos estados do Brasil, em percentagem

Fonte: ANFAVEA (2015).

Quanto ao restante da frota brasileira, os demais 22 estados correspondem juntos a 31,6% da frota de veículos automotivos.

Desta forma, tanto a elaboração como a utilização de dados para a aplicação do modelo proposto dizem respeito apenas ao Estado de São Paulo.

A distribuição da frota de veículos também se apresenta de forma assimétrica entre os municípios deste estado. Dos 645 municípios pertencentes ao estado de São Paulo, apenas 10 deles correspondem à metade da frota, como pode ser visualizado na Tabela 1.

Tabela 1 – Tamanho e participação relativa da frota de automóveis nos municípios do estado de São Paulo

Município	Tamanho da Frota	Participação (%)
São Paulo	5.318.961	31,6
Campinas	586.182	3,48
Guarulhos	414.208	2,46
São Bernardo do Campo	387.428	2,30
Santo André	356.985	2,12
Sorocaba	290.078	1,72
Ribeirão Preto	283.916	1,69
São José dos Campos	281.779	1,67
Osasco	269.533	1,60
São José do Rio Preto	199.889	1,19
Demais Municípios	8.445.671	50,17
Total	16.834.630	100

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Brasil (2015).

A participação dos demais 635 municípios, que juntos compreendem a outra metade da frota, individualmente, correspondem a um valor inferior a 1%.

Pode-se notar ainda que o município de São Paulo detém cerca de 30% da frota de veículos, ou seja, aproximadamente um terço dos automóveis adquiridos no estado de São Paulo se concentra em um único município.

Devido a essa pulverização da frota na maior parte dos municípios do estado de São Paulo, optou-se por agrupá-los de acordo com a Região Administrativa ou Mesorregião à qual fazem parte, como mostra a Figura 11, para efeito de aplicação do modelo.



Figura 11 – Regiões Administrativas do estado de São Paulo

Fonte: São Paulo (2016a).

Assim, as localidades consideradas para origem de automóveis em fim de vida, sucateiros e recicladores, obedecem à divisão realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, no agrupamento dos municípios, que para o estado de São Paulo envolve 15 regiões: Araçatuba, Baixada Santista, Barretos, Bauru, Campinas, Central, Franca, Marília, Presidente Prudente, Registro, Ribeirão Preto, São José dos Campos, São José do Rio Preto, São Paulo e Sorocaba.

4.2.3.2 Oferta de *ELVs*

Para a oferta de *ELVs* considerou-se apenas os veículos sinistrados com perda total, como sendo uma aproximação para a categoria dos automóveis salvados das empresas de seguro, além dos veículos leiloados como sucata nos leilões organizados pelo Detran.SP.

Não foi possível considerar as oficinas de reparo, pois não foram obtidas informações sobre o volume de material que segue das oficinas para as empresas de sucata ou reciclagem.

De igual forma, não foram considerados os *ELVs* provenientes diretamente do consumidor final, devido à complexidade e à falta de legislação no Brasil para se lidar com o problema, uma vez que não se tem especificação sobre qual parte envolvida deve arcar com os custos da baixa deste tipo de veículo.

Para os veículos sinistrados foram utilizadas as informações fornecidas semestralmente através do Sistema Autoseg, da Superintendência de Seguros Privados (SUSEP), para o primeiro semestre de 2015.

Os dados fornecidos pelo Sistema Autoseg estão agregados em cinco regiões: Vale do Paraíba e Ribeira; Litoral Norte e Baixada Santista; Região Metropolitana de São Paulo; Grande Campinas; Ribeirão Preto. Estas informações foram fornecidas, no primeiro semestre de 2015, pelas companhias seguradoras à SUSEP.

A Tabela 2 mostra o volume de veículos de passeio que apresentou sinistro por perda total, no primeiro semestre de 2015.

Tabela 2 – Número de sinistros de automóveis de passeio por perda total, por região do estado de São Paulo, no 1º semestre de 2015

Região	Perda Total
Vale do Paraíba e Ribeira	1.204
Litoral Norte e Baixada Santista	285
Região Metropolitana de São Paulo	5.419
Grande Campinas	1.294
Ribeirão Preto	4.019
Total	12.221

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de SUSEP (2015).

Em primeiro lugar aparece a Região Metropolitana de São Paulo com 5.419 automóveis sinistrados, seguida da Região Metropolitana de Ribeirão Preto com 4.019. Na sequência aparecem a Região da Grande Campinas (1.294), Vale do Paraíba e Ribeira (1.204) e, por fim, Litoral Norte e Baixada Santista com 285 sinistros. Houve assim um total de 12.221 sinistros nas regiões estudadas pela SUSEP, no primeiro semestre de 2015.

Vale salientar que estes valores correspondem à ocorrência de sinistros em cada região e que os automóveis não necessariamente foram emplacados nesses lugares.

Para os veículos leiloados, foram utilizadas as informações contidas nos editais de leilões de veículos cadastrados como sucata, realizados pelo Detran.SP, em 2015.

A Tabela 3 mostra o volume de automóveis leiloados como sucata em diversos municípios do estado de São Paulo, através dos editais do Detran.SP, em 2015, agrupados de acordo com as Regiões Administrativas deste estado.

Tabela 3 – Número de automóveis leiloados nas Regiões Administrativas do estado de São Paulo, em 2015

Regiões Administrativas	Número de automóveis
Registro	0
Santos	51
São José dos Campos	1.458
Sorocaba	534
Campinas	2.098
Ribeirão Preto	209
Bauru	163
São José do Rio Preto	188
Araçatuba	280
Presidente Prudente	620
Marília	72
Central	28
Barretos	250
Franca	69
São Paulo	7.835
Total	13.855

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de São Paulo (2016b).

Durante o ano de 2015 foram leiloados cerca de 14.000 automóveis como sucata, metade deste valor apenas na Região Administrativa de São Paulo. Campinas aparece em segundo lugar com cerca de 2.000 automóveis, seguido de São José dos Campos com 1.458. As demais Regiões Administrativas apresentaram valores bem inferiores.

Sendo a Lei do Desmanche recente e não havendo ainda uma série histórica dos dados para estes leilões, nada se pode inferir, ainda, sobre algum padrão que estes leilões venham a apresentar sobre a oferta de sucata de automóveis.

Para esta pesquisa, as informações da SUSEP são unidas às informações do Detran.SP, relacionando as regiões apresentadas pela SUSEP às Regiões Administrativas do Estado de São Paulo correspondentes, para que seja possível haver adição aos dados fornecidos pelo Detran.SP para veículos leiloados. Adicionalmente, como os dados dos sinistros são referentes ao semestre, foram dobrados para corresponder ao ano completo.

A Tabela 4 mostra como estes dados foram utilizados na modelagem, considerando a oferta de veículos em fim da vida útil em termos expressos em toneladas. Para se expressar o volume dos automóveis em toneladas, foi considerado um veículo com peso de 1,3 toneladas.

Tabela 4 – Oferta de *ELVs* em cada região administrativa, em toneladas

Regiões Administrativas	Número de automóveis	Volume em toneladas
Registro	0	0
Santos	621	807,3
São José dos Campos	3.866	5.025,8
Sorocaba	534	694,2
Campinas	4.686	6.091,8
Ribeirão Preto	8.247	10.721,1
Bauru	163	211,9
São José do Rio Preto	188	244,4
Araçatuba	280	364
Presidente Prudente	620	806
Marília	72	93,6
Central	28	36,4
Barretos	250	325
Franca	69	89,7
São Paulo	18.673	24.274,9
Total	38.297	49.786,1

Fonte: Elaboração própria.

É possível verificar que a Região Administrativa de São Paulo respondeu por quase metade dos veículos sinistrados por perda total e leiloados como sucata, no estado de São Paulo.

Optou-se por alimentar o modelo com os *ELVs* expressos em toneladas, e não em quantidades, devido à posterior desagregação, por tipo de material, direcionado para reciclagem e disposição final, que também está expressa em toneladas, diante das capacidades de recepção de cada unidade produtiva.

4.2.3.3 Parâmetros para os sucateiros

Consideram-se todas as Regiões Administrativas como sendo candidatas à recepção dos veículos em fim da vida útil. Para isso, leva-se em conta a capacidade instalada no estado de São Paulo de estabelecimentos que operam com sucata de metais.

A Tabela 5 mostra o número de sucateiros presentes no estado de São Paulo, de acordo com o cadastro de sucateiros que trabalham apenas com metais, presentes no sítio do Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE), chegando-se à capacidade instalada de cada região.

Tabela 5 – Número e capacidade dos sucateiros no estado de São Paulo, em t/ano

Região Administrativa	Número de sucateiros*	Capacidade**
Santos	3	122.727,27
São José dos Campos	2	81.818,18
Campinas	11	450.000,00
Ribeirão Preto	2	81.818,18
São José do Rio Preto	1	40.909,09
Marília	1	40.909,09
Central	1	40.909,09
São Paulo	42	1.718.181,82
Total	63	2.577.272,73

Fonte: *CEMPRE (2015a).

**SIDINESFA, (2014).

Para estabelecer a capacidade de recepção de *ELVs* em cada região administrativa foi realizada uma ponderação do número de estabelecimentos de sucata presentes em cada uma, pela capacidade média de cada estabelecimento.

A capacidade média de cada estabelecimento foi definida de acordo com a capacidade dos estabelecimentos filiados ao Sindicato das Empresas de Sucata de Ferro e Aço (SIDINESFA), 2014. Este sindicato possui 48 empresas cadastradas em todo o Brasil, com uma capacidade total instalada de 300.000 t/mês, o que equivaleria a 3.600.000 t/ano.

Entretanto, apenas quatro empresas detêm 50% desta capacidade, correspondendo a 1.800.000 t/ano. Então, as demais 44 empresas deteriam uma capacidade instalada individual

equivalente a 40.909,09 t/ano, se os 50% restantes forem distribuídos igualmente entre as mesmas.

Para o preço dispendido na aquisição dos veículos levou-se em conta o valor atualmente pago pelos sucateiros nos leilões do Detran.SP, algo da ordem de R\$ 100,00 a tonelada. Este valor foi obtido a partir dos dados da parte qualitativa desta pesquisa.

Não foram atribuídos valores diferentes para as regiões, considerando o mesmo valor para todas. Talvez seja possível que de acordo com as características particulares das estruturas de custo de cada empresa, esse valor venha a variar. Pela ausência de informações, neste sentido, é que se optou por considerar o mesmo valor.

4.2.3.4 Parâmetros Ambientais

A Tabela 6 mostra alguns parâmetros que são utilizados no modelo, relacionados à dimensão ambiental: a redução de consumo da energia elétrica e de emissão de CO₂.

Tabela 6 – Parâmetros ambientais

Informação	Valor	Unidade
Redução de consumo de energia elétrica*	0,16	kWh
Redução de CO ₂ **	3,7	t/ELV

Fontes: * Alexandre (2013) e SIDINESFA (2014).

** Renova Ecopeças (2015).

Segundo Alexandre (2013), a reciclagem de aço gera uma economia de energia de cerca de um terço com relação à produção com matéria-prima. Desta maneira, como a produção de aço no Brasil utiliza em média 0,482 kWh por tonelada produzida (SIDINESFA, 2014), a reciclagem deste material gera em torno de 0,16 kWh de economia de energia.

De acordo com a Renova Ecopeças (2015), para cada automóvel desmanchado e direcionado de maneira sustentável para outra atividade, o que no caso desta pesquisa se restringe à reciclagem, considera-se uma redução de emissão de CO₂ na atmosfera no montante de 3,7 t.

4.2.3.5 Parâmetros dos centros de reciclagem

Para se direcionar à reciclagem os materiais, é necessário conhecer a composição média de um automóvel. A Tabela 7 mostra essa composição em termos percentuais e em termos do peso total de um automóvel medido em quilogramas.

Tabela 7 – Composição dos materiais recicláveis, em termos do peso total de um automóvel

Material	%	Peso (kg)
Metais	70	910
Plástico	11	143
Borracha	7	91
Vidro	4	52
Produtos de Recobrimento	3	39
Fluídos	1	13
Tecidos	1	13
Outros	3	39
Total	100	1.300

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa qualitativa.

A composição de materiais apresentada na Tabela 3 considera um automóvel com peso médio de 1.300 kg. Percebe-se que, em sua maior parte, o veículo é composto por metais (70%), seguido por plástico (11%), borracha (7%) e vidro (4%), sendo o restante do peso do automóvel (8%) compreendido por produtos de recobrimento, fluídos, tecidos e outros materiais.

Com respeito à reciclagem de automóveis, para este trabalho foram obtidas informações apenas dos metais, plástico, borracha e vidro. Assim, por falta de informações relativas ao número de empresas de reciclagem e/ou preço de venda do restante dos materiais, a saber, produtos de recobrimento, fluidos, tecidos e outros (considerados como produtos a serem enviados para disposição final, correspondendo a 8% do *ELV*). Entende-se por borracha, os pneus dos automóveis.

Para se estipular o número máximo de recicladores por tipo de material reciclável, em cada região, foi considerado o total de instalações existentes, a partir do total de recicladores cadastrados no Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE), dos municípios

pertencentes a essas regiões. A Tabela 8 mostra o número de instalações de reciclagem, por tipo de material.

Tabela 8 – Número de centros de reciclagem nas Regiões Administrativas do estado de São Paulo, por tipo de material, em 2015

Região Administrativa	Pneu	Metal	Vidro	Plástico
Registro	0	0	0	0
Santos	2	2	3	10
São José dos Campos	1	4	1	14
Sorocaba	2	5	4	24
Campinas	3	7	3	61
Ribeirão Preto	0	1	0	6
Bauru	0	0	1	6
São José do Rio Preto	1	1	2	9
Araçatuba	0	0	0	4
Presidente Prudente	0	1	1	4
Marília	0	2	2	5
Central	0	0	1	5
Barretos	0	0	0	1
Franca	0	0	1	1
Itupeva	0	0	0	0
São Paulo	9	68	35	261
Total	18	91	54	411

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados da CEMPRE (2015a).

É possível verificar que o maior número de instalações se encontra na Região Metropolitana de São Paulo e que o tipo de material com maior número de instalações é o plástico.

Percebe-se ainda que o material que apresenta o menor número de instalações de reciclagem, no estado de São Paulo, é o pneu inservível. Segundo Bartholomeu e Caixeta-Filho (2011), existe um gargalo com relação à logística reversa de pneus inservíveis, no Brasil, no que se refere à infraestrutura de coleta e destinação existente, que parece não estar bem dimensionada.

Os autores argumentam que um dos fatores para a ocorrência deste problema refere-se ao fato de grande parte das empresas de destinação já existirem anteriormente à implantação da cadeia de logística reversa deste produto, cuja atividade principal era outra, que não a

destinação de pneus. Isto fez com que boa parte destas empresas se localizasse longe dos principais centros geradores de pneus.

Sabe-se que cada empresa possui capacidade instalada distinta; entretanto, neste estudo, a capacidade instalada será considerada a mesma para todas as unidades e igual à média encontrada, por tipo de material. A Tabela 9 mostra a capacidade anual, em toneladas, que estas instalações de reciclagem assumem no modelo.

Tabela 9 – Capacidade média anual dos centros de reciclagem, por tipo de material, em t/ano, no estado de São Paulo, em 2015

Material	Capacidade
Pneu*	15.333
Metal**	15.000
Vidro***	3.540
Plástico****	4.200

Fontes: * Elaboração própria, a partir dos dados da CEMPRE (2015b).

** RECICLAR (2015).

*** Pinto - Coelho (2009).

****TOTAL PET (2015).

De acordo com CEMPRE (2015b), em todo o Brasil existem 30 empresas que reciclam pneu, com uma capacidade instalada de cerca de 460.000 t/ano. Ou seja, em média, cada empresa teria capacidade para reciclar 15.333 t/ano.

Com relação à capacidade instalada para a reciclagem de metais, considerou-se uma usina de reciclagem que recicla o montante de 15.000 t/ano, devido à falta de informações sobre a capacidade instalada total no Brasil.

Em 2007, a reciclagem de vidro no Brasil correspondia a cerca de 460.000 t. Como existem cerca de 130 empresas, pode-se inferir que cada uma delas recicle cerca de 3.540t/ano (PINTO - COELHO, 2009). Segundo Pinto - Coelho (2009), isto é totalmente factível, pois uma miniusina de beneficiamento com esta capacidade não requer grandes investimentos.

Para o material plástico, foi considerado o volume de 4.200 t/ano de uma usina de reciclagem de plásticos de PET.

Sendo assim, considera-se a capacidade instalada de cada região composta pela conciliação entre o número de empresas em cada uma delas e a capacidade instalada provável de cada uma. A Tabela 10 mostra a capacidade de reciclagem de cada uma das Regiões Administrativas consideradas neste estudo.

Tabela 10 – Capacidade de reciclagem das Regiões Administrativas do estado de São Paulo, em t/ano, por tipo de material, em 2015

Região Administrativa	Pneu	Metal	Vidro	Plástico
Registro	-	-	-	-
Santos	30.666	30.000	10.620	42.000
São José dos Campos	15.333	60.000	3.540	58.800
Sorocaba	30.666	75.000	14.160	100.800
Campinas	45.999	105.000	10.620	256.200
Ribeirão Preto	-	15.000	-	25.200
Bauru	-	-	3.540	25.200
São José do Rio Preto	15.333	15.000	7.080	37.800
Araçatuba	-	-	-	16.800
Presidente Prudente	-	15.000	3.540	16.800
Marília	-	30.000	7.080	21.000
Central	-	-	3.540	21.000
Barretos	-	-	-	4.200
Franca	-	-	3.540	4.200
Itupeva	-	-	-	-
São Paulo	137.997	1.020.000	123.900	1.096.200
Total	275.994	1.365.000	191.160	1.726.200

Fonte: Elaboração própria.

Com base no cruzamento das informações do número de estabelecimentos com a provável capacidade instalada, percebe-se que a capacidade instalada dos materiais acompanha o percentual presente nos automóveis. Nos automóveis, metais são seguidos de plásticos, borracha e vidros. Para a capacidade instalada, em ordem decrescente de capacidade, aparecem plástico e metais, seguidos de borracha e vidros.

Por fim, para o preço de venda dos materiais para os recicladores, foi considerado o preço por tonelada, fornecido pelo CEMPRE (2015c). A Tabela 11 ilustra estes valores.

Tabela 11 – Preço de venda dos materiais para os recicladores, R\$/t, em 2015

Material	Preço (R\$/t)
Pneu*	450,00
Metal	450,00
Vidro	231,00
Plástico	450,00

Fonte: CEMPRE (2015c).

O CEMPRE (2015c) fornece o preço comercializado pelas cooperativas de materiais recicláveis. Para a data de referência, dez/15, o metal e o plástico aparecem com um valor de R\$450,00/t, o vidro é comercializado por R\$ 231,00/t. O único valor não obtido é o do pneu, que se supõe comercializado pelo mesmo preço do metal e do plástico.

Nesta aplicação para o modelo, cada região onde se encontram sucateiros pode enviar materiais para qualquer reciclador presente em outra região. Como não há diferenciação entre os recicladores no preço de venda considerado, optou-se por descontar o custo de transporte, de uma região a outra, do preço a ser recebido pelos sucateiros na venda destes materiais.

A metodologia utilizada para se chegar ao custo de transporte entre as regiões se encontra na seção 4.2.3.6. O valor de venda dos materiais das Regiões Administrativas onde existam sucateiros às Regiões Administrativas onde existam recicladores, por tipo de material, consta no Anexo B.

4.2.3.6 Parâmetros dos centros de disposição final

Para os centros de disposição foram consideradas as unidades de tratamento que operam com resíduos especiais, através de incineração, coprocessamento ou aterro sanitário, por conta da toxicidade dos resíduos dos veículos.

Conforme pesquisa desenvolvida pelo Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial – Esalq-Log, em 2009, os municípios do Estado de São Paulo que abrigam essas unidades, bem como a capacidade de cada uma, estão apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Localização e capacidade das unidades de tratamento de resíduos, no estado de São Paulo, em t/ano

Município	Região Administrativa	Capacidade anual
Caieiras	São Paulo	2.555.000
Franca	Franca	109.500
Guará	Franca	16.352
Guatapar	Ribeirão Preto	1.095.000
Itapevi	São Paulo	119.939
Jardinópolis	Ribeirão Preto	36.500
Juquiá	Registro	87.600
Mauá	São Paulo	219.000
Ourinhos	Marília	66.430
Paulínia	Campinas	1.825.000
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	182.500
Sorocaba	Sorocaba	73.000
Suzano	São Paulo	2.920
Taboão da Serra	São Paulo	7.008
Tremembé	São José dos Campos	438.000

Fonte: Esalq-log¹⁰ (informao pessoal).

São consideradas 15 instalaes para a recepo de rsduos, totalizando uma capacidade instalada de 6.333.749 t/ano. Caieiras, Paulínia e Guatapar são os municípios com maior capacidade de recepo de rsduos, correspondendo a 80% da capacidade.

Para o custo de disposio, levaram-se em conta apenas os custos de transporte entre os sucateiros e os municípios definidos como possíveis receptores de rsduos. Os custos considerados estão apresentados no Anexo C.

4.2.3.7 Custo de Transporte das origens de ELVs aos sucateiros

Para os custos de transporte foi utilizada a metodologia apresentada por Lima (2005) apud Oliveira et al. (2010), onde são considerados:

- Custos fixos na seguinte ordem: depreciao, remunerao do capital, IPVA e seguro obrigatório, seguro, pessoal e encargos.

$$C_{dep} = \frac{V_{aquisio} - V_{residual}}{n^o \text{ meses}} \quad (44)$$

¹⁰ Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial – Esalq-Log. Disponível em: <http://esalqlog.esalq.usp.br/>.

$$C_{recap} = V_{aquisição} \times \left(\sqrt[12]{1 + taxa_{anual}} - 1 \right) \quad (45)$$

$$C_{IPVA_{seg}} = \frac{Valor_{anual}}{12} \quad (46)$$

$$C_{seg} = \frac{7\% \times V_{aquisição}}{12} \quad (47)$$

$$salários + encargos \quad (48)$$

- Custos variáveis na seguinte ordem: pneus, óleo, lubrificantes, combustível, lavagem, lubrificação, manutenção e pedágio.

$$C_{pneu} = \frac{n^o_{pneus} \times (p_1 + n^o_{recap} \times p_2)}{vida_{útil}_{pneu}_{com}_{recapagem}} \quad (49)$$

onde p_1 é o preço unitário do pneu novo e p_2 o preço de recapagem.

$$C_{óleo} = \frac{preço \times capacidade}{intervalo_{trocas}} \quad (50)$$

$$C_{lubr} = \frac{custo_{lubrificação}}{intervalo_{trocas}} \quad (51)$$

$$C_{comb} = \frac{preço_{litro}}{rendimento} \quad (52)$$

$$C_{man} = \text{custo manutenção por km rodado} \quad (53)$$

A partir do cálculo dos custos fixos e variáveis é possível encontrar o custo de transporte pelo cálculo das seguintes equações:

- Custo por rota:

$$C_{rota} = \text{tempo}(h) \times CF(R\$/h) + \text{Distância}(km) \times CV(R\$/km) \quad (54)$$

- Custo da atividade de carregamento:

$$C_{carreg} = \text{tempo}_{carga}(h) \times CF(R\$/h) \quad (55)$$

- Custo da viagem:

$$C_{viagem} = \text{tempo}_{viagem}(h) \times CF(R\$/h) + \text{Distância}(km) \times CV(R\$/km) \quad (56)$$

- Custo da atividade de descarregamento:

$$C_{descarreg} = \text{tempo}_{descarga}(h) \times CF(R\$/h) \quad (57)$$

Para alimentar o modelo foram utilizadas informações fornecidas pelo Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (Esalq-Log), para um veículo do tipo carreta basculante, com capacidade para 27 toneladas de carga líquida. Os custos de ida e de volta são considerados, uma vez que são incorridos pelo próprio sucateiro, sendo considerada a velocidade média do veículo cheio o valor de 60km/h e do veículo vazio o valor de 80km/h e para as atividades carga e descarga do veículo foram consideradas 4 horas. No Anexo D encontram-se os custos de transporte calculados para as Regiões Administrativas.

4.2.4 Cenários para a modelagem proposta¹¹

Foram propostos 6 cenários para verificar a sensibilidade dos resultados a possíveis alterações na aplicação original do modelo. Tais cenários são descritos nas próximas seções.

4.2.4.1 Cenário 1

Este Cenário - Base considera a utilização do modelo original, objetivando medir os fluxos de *ELVs* dos pontos de origem aos sucateiros e o envio de materiais aos centros de reciclagem e disposição final a partir dos sucateiros. Procura-se maximizar o ganho obtido pelo processo de logística reversa, tanto na esfera econômica (considerando receitas e custos), como na esfera ambiental (minimizando externalidades e desperdício de recursos naturais).

4.2.4.2 Cenário 2

No Cenário 1, devido ao fato de algumas Regiões Administrativas não possuírem unidades de sucateiros em seu território, acabaram aparecendo com capacidade instalada igual a zero.

Para verificar o quanto a modelagem é sensível a isso, considerou-se a abertura de uma unidade nestas regiões. Assim, o parâmetro que define a capacidade instalada para os sucateiros foi modificado, conforme mostra a Tabela 13.

Tabela 13 – Capacidade instalada dos sucateiros para o Cenário 2

(continua)

Região Administrativa	Número de sucateiros*	Capacidade**
Santos	3	122.727,27
São José dos Campos	2	81.818,18
Sorocaba	1	40.909,09
Campinas	11	450.000,00
Ribeirão Preto	2	81.818,18

¹¹ Diante da diversidade de combinações possíveis para a obtenção de cenários, optou-se por aqueles que - conforme fossem testados - apresentassem maior variabilidade de resultados. Foram testados assim 10 cenários distintos.

Tabela 13 – Capacidade instalada dos sucateiros para o Cenário 2

Região Administrativa	Número de sucateiros*	(conclusão)
		Capacidade**
Bauru	1	40.909,09
São José do Rio Preto	1	40.909,09
Araçatuba	1	40.909,09
Presidente Prudente	1	40.909,09
Marília	1	40.909,09
Central	1	40.909,09
Barretos	1	40.909,09
Franca	1	40.909,09
Itupeva	1	40.909,09
São Paulo	42	1.718.181,82
Total	70	2.863.636,36

Fontes: *Adaptado de CEMPRE (2015a).

**Adaptado de SIDINESFA (2014).

Desta forma, de 63 sucateiros, passa-se para 70 e a capacidade instalada se eleva em quase 300.000 toneladas por ano.

4.2.4.3 Cenário 3

Como explorado na revisão de literatura deste trabalho, a logística reversa para automóveis em fim da vida útil ainda não está bem estruturada no Brasil. A presença de *ELVs* no mercado gera externalidades negativas que, na ausência de regulação governamental dificilmente poderão ser solucionadas ou compensadas.

Na presença de externalidades negativas o bem é consumido ou produzido em um volume superior ao socialmente ótimo, devendo o governo inibir o seu consumo ou produção. No caso dos *ELVs*, as externalidades negativas aparecem pela poluição gerada (do ar, por exemplo), pela emissão de gases poluentes assim como pelo solo, através do descarte incorreto.

Neste cenário aborda-se a possibilidade de interferência governamental como proposta de solução ao problema de externalidades negativas através da imposição da logística reversa de automóveis em fim de vida, que teriam que ser direcionados para reciclagem.

Não se sabe ao certo qual a quantidade de *ELVs* presente na frota brasileira. De acordo com Detran.SP, são considerados veículos em fim de vida, dentre outras características, os veículos que possuem ano de fabricação superior a 20 anos.

Para se tentar uma aproximação da quantidade de *ELVs* no estado de São Paulo, no Cenário 3, considera-se o tamanho da frota de automóveis mais antiga que se tem informação no Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), que é de 15 anos ou mais. De acordo com este órgão, a frota de automóveis, no estado de São Paulo, com ano de fabricação inferior ao ano de 2002, é de 11.127.095 veículos (BRASIL, 2015).

Assim, para a quantidade de *ELVs* nas Regiões Administrativas do estado de São Paulo, foi considerada a participação relativa da população no estado. A Tabela 14 mostra a população de cada região, bem como o percentual de participação de cada uma, em 2003.

Tabela 14 – População e participação relativa nas Regiões Administrativas do estado de São Paulo, em 2003

Região Administrativa	População	Participação (%)
Araçatuba	732.552	0,02
Central	976.993	0,02
Santos	1.709.686	0,04
Barretos	425.054	0,01
Bauru	1.096.961	0,03
Campinas	6.325.125	0,15
Franca	734.707	0,02
Marília	978.804	0,02
Presidente Prudente	842.982	0,02
Ribeirão Preto	1.225.286	0,03
Registro	287.002	0,01
São Paulo	20.141.707	0,48
São José dos Campos	2.316.604	0,05
São José do Rio Preto	1.451.761	0,03
Sorocaba	2.890.965	0,07
Total	42.136.189	1

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de São Paulo (2003).

Com base na densidade demográfica de cada uma das regiões chega-se à frota de *ELVs* utilizada para alimentar o modelo no Cenário 3, como pode ser observado na Tabela 15.

Tabela 15 – Frota de automóveis com ano de fabricação inferior ao ano de 2002, em cada Região Administrativa do estado de São Paulo

Região Administrativa	Estimativa de <i>ELVs</i>	<i>ELVs</i> em toneladas
Araçatuba	193.448,34	251.482,8
Central	257.998,98	335.398,7
Santos	451.484,56	586.929,9
Barretos	112.245,94	145.919,7
Bauru	289.679,48	376.583,3
Campinas	1.670.304,5	2.171.396
Franca	194.017,42	252.222,6
Marília	258.477,22	336.020,4
Presidente Prudente	222.610,09	289.393,1
Ribeirão Preto	323.566,84	420.636,9
Registro	75.789,923	98.526,9
São Paulo	5.318.912,1	6.914.586
São José dos Campos	611.756,15	795.283
São José do Rio Preto	383.373,13	498.385,1
Sorocaba	763.430,27	992.459,4
Total	11.127.095	14.465.224

Fonte: Elaboração própria.

Esse volume de *ELVs* é bem superior ao utilizado no Cenário 1, que leva em conta apenas os veículos sinistrados com perda total e os leiloados nos pátios do Detran.SP. Espera-se que com este valor possa-se verificar possíveis gargalos na cadeia da logística reversa de *ELVs* no estado de São Paulo.

4.2.4.4 Cenário 4

No Cenário 4 há a junção entre os Cenários 2 e 3, de maneira a se verificar a sensibilidade do modelo com relação tanto ao aumento da capacidade de recepção de sucateiros quanto ao aumento da oferta de *ELVs*.

4.2.4.5 Cenário 5

No Cenário 5, o volume de *ELVs* utilizado no Cenário 3 é reduzido, respeitando a proporção da população de cada região, uma vez que o montante de *ELVs* não está bem estimado e que a capacidade instalada para a reciclagem de metais permite, no máximo, a entrada de 1.500.000 automóveis no processo de logística reversa, por ano. Esse volume de

automóveis é equivalente a 1.950.000 t. Sendo assim, a Tabela 16 mostra o volume considerado de *ELVs*, em toneladas.

Tabela 16 – Montante de *ELVs* usado no Cenário 5, em t/ano

Região Administrativa	Montante
Araçatuba	33.901,41
Central	45.213,78
Santos	79.121,72
Barretos	19.670,87
Bauru	50.765,72
Campinas	292.717,4
Franca	34.001,14
Marília	45.297,59
Presidente Prudente	39.011,95
Ribeirão Preto	56.704,41
Registro	13.282,02
São Paulo	932.128,2
São José dos Campos	107.209
São José do Rio Preto	67.185,33
Sorocaba	133.789,5
Total	1.950.000

Fonte: Elaboração própria.

4.2.4.6 Cenário 6

Para o Cenário 6, considera-se o efeito sobre os resultados para o caso de haver redução no número de sucateiros, gerando concentração neste mercado, a partir da situação considerada no Cenário 5.

Para tanto, insere-se na modelagem uma variável binária, que determine a possibilidade de abertura de sucateiros nas regiões. Assim, as Regiões Administrativas se tornam localizações potenciais para a abertura de instalações para processamento de sucata de automóveis.

A eq. (38) é alterada para:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq Cs_j \times y_j, \text{ para todo } j \quad (38a)$$

onde:

y_j , é a variável binária indicando abertura de sucateiro na localidade j .

Houve também a necessidade da inserção de duas novas equações. A eq. (58) indica que ao menos uma instalação deva ser aberta, enquanto a eq. (59) indica o número máximo de instalações que podem ser abertas.

$$\sum_{j=1}^n y_j \geq 1 \quad (58)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j \leq NUM \quad (59)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Pesquisa qualitativa

Nesta seção são compiladas as respostas obtidas através dos questionários aplicados para a parte qualitativa deste estudo. Pretende-se compreender melhor a percepção dos principais atores, envolvidos no setor automobilístico brasileiro, quanto à viabilidade da implantação da logística reversa neste setor.

5.1.1 Estudo de caso 1

- Panorama atual do setor de automóveis:

A indústria automobilística brasileira se configura como 8º produtora mundial e, o Brasil, como 4º maior mercado mundial.

É uma indústria madura e completa, pois produz internamente todos os tipos de veículos. Além disso, é uma grande geradora de divisas para o governo brasileiro, pois é tributada por vários tipos de impostos ao longo da sua cadeia.

Em 1997, chegou a vender 2 milhões de unidades, valor que só foi alcançado novamente em 2006, ou seja, perdendo 10 anos em termos de crescimento. Voltou a crescer a partir de 2006, foi atingida pela crise de 2008, sendo, desde então, afetada por flutuações conjunturais.

Outra característica do setor foi a crescente perda de competitividade, em comparação com outros países como o México, o que afetou suas exportações. Este problema pode ser explicado pelo aumento do custo da mão de obra, pois os salários têm sido ajustados continuamente acima da inflação, assim como a distribuição dos lucros e resultados tem sido maior. Outro problema que onera o valor dos veículos é a carga tributária, que corresponde a cerca de 50% do valor dos mesmos.

- Percepção quanto à Lei do Desmanche:

Com relação a desmontar para revender, entra-se na questão de segurança. Deve-se deixar bem claro quem será responsável por certificar a segurança do item comercializado.

Por exemplo, se o sistema de freio de um veículo em fim da vida útil for retirado e colocado em outro veículo, quem garante ou certifica a segurança deste item? E mesmo o capô do motor, considerado como item de estética, foi desenhado de maneira a absorver a energia de uma colisão, aumentando a segurança dos usuários, podendo ser avaliado como item de segurança. Se porventura, a peça usada, em algum momento, necessitou passar por um processo de funilaria, as propriedades de segurança podem ser afetadas.

Assim, o grande questionamento que se coloca é: quem vai certificar que esta peça esteja com as características adequadas para manter o grau de segurança da mesma.

O ideal a se pensar é que estes produtos não são lixo, mas matéria-prima e energia.

- Percepção quanto à implantação da logística reversa no setor automobilístico:

Existe certa complexidade ao que se refere à logística reversa neste setor, uma vez que, diferentemente de outros produtos, o automóvel possui propriedade definida e transferível. Cada veículo possui um número de chassi que deve ser destruído, quando da baixa do mesmo, juntamente com as placas, processo este difícil e caro.

É muito fácil afirmar que deve ser a montadora a responsável por retirar o veículo em fim da vida útil quando não se tem muito claro o que se entende por vida útil. Por exemplo, no mercado de caminhões, onde existem cerca de três milhões de veículos em circulação, aproximadamente 270 mil possuem mais que 30 anos e mais de 450 mil com mais de 20 anos.

Mesmo definindo-se o que se considera por vida útil, estes veículos possuem propriedade. Como lidar com a questão?

O que se faz, atualmente, na indústria automobilística é trabalhar com o conceito de reciclabilidade do automóvel, desenhando-o de maneira que, ao fim da vida útil, este venha a ser reciclado de maneira menos complexa.

Por exemplo, os vidros são facilmente retirados com estilete; existe uma parcela maior de plásticos na composição dos veículos e apesar de os diferentes plásticos não poderem ser reciclados conjuntamente, são criados mecanismos para que sejam facilmente separados, dando-se o devido direcionamento. Já se usam, no automóvel, produtos oriundos de reciclagem, como a espuma que protege o estepe e a tubulação de plástico do ar condicionado.

Em 1999, foi criado um grupo, formado pelas quatro maiores montadoras da época (Ford, GM, Fiat e Volkswagen), com o intuito de montar um centro de reciclagem, em Juiz de

Fora. Cada montadora adquiriu 10 automóveis, com 15 anos de uso no mercado, no intuito de desmontar estes veículos de maneira economicamente viável. Este projeto, entretanto, acabou não avançando.

Assim, a indústria automotiva é a favor ou contra a reciclagem? Ela é totalmente a favor, deve-se fazer isso. Contudo, existem questões a considerar, como a questão da propriedade destes automóveis: mesmo que se adquira este veículo, invariavelmente, o custo há de ser repassado para o preço do bem final.

Desta maneira, precisa-se entender exatamente quem deverá proceder à retirada destes automóveis de circulação.

5.1.2 Estudo de caso 2

- Panorama atual do setor de seguros:

O panorama atual é de crescimento, uma vez que existe grande possibilidade de se explorar novos produtos e nichos, se comparado a economias mais maduras que a brasileira. Além do fato de que quase 70% da frota circulante brasileira não possui qualquer tipo de cobertura de seguro.

Um bom exemplo, a respeito da possibilidade de se atingir uma parcela maior dos consumidores que não possuem nenhum tipo de cobertura é o lançamento de uma nova modalidade de seguros, que permita o emprego de peças de reuso, tornando-a mais atrativa financeiramente.

- Percepção quanto à Lei do Desmanche:

Há muito tempo, o mercado de peças usadas, no Brasil, necessitava de uma lei que o regulasse de maneira mais rígida. Até então, a legislação existente não fornecia condições para que este mercado se desenvolvesse, fazendo com que a maioria dos desmanches operasse na informalidade.

A expectativa é que, com a Lei do Desmanche, as empresas do setor adotem práticas legais, reduzindo a informalidade. Segundo o Detran.SP e a SSP, essa redução na

informalidade acarreta diminuição dos furtos e roubos de veículos, impactando de maneira positiva o setor de seguros de automóveis.

- Percepção quanto à implantação da logística reversa no setor automobilístico:

Anualmente, o setor de seguros deve destinar adequadamente dezenas de milhares de veículos sucateados em sinistros, de maneira que a implantação da logística reversa no setor automobilístico é vista de maneira benéfica. Para se ter uma ideia, estima-se que o mercado segurador ofereça destinação final adequada para quase 3.000 veículos por mês, pelos mesmos não apresentarem condições adequadas para continuar em circulação.

Atualmente, já existem maneiras para se oferecer uma destinação adequada para essas sucatas. Entretanto, as opções de mercado são poucas e o final dessa cadeia, normalmente, envolve as siderúrgicas.

- Percepção do consumidor quanto às peças de reuso:

No Brasil, o mercado de peças usadas existe há muitos anos, de maneira que os consumidores estão habituados a utilizá-las. As peças de reuso são retiradas de automóveis fabricados por montadoras, por isso, apresentam qualidade similar.

Com a Lei do Desmanche, o consumidor terá a garantia da procedência da peça, fazendo uma compra mais segura.

Os consumidores recepcionados no desmanche ficam encantados com o conceito de reuso e não apresentam qualquer restrição ao uso de peças como estas.

O mercado deve se acostumar a este novo perfil de consumidor, que está mudando de hábitos e consumindo de maneira mais consciente.

5.1.3 Estudo de caso 3

- Panorama atual do setor de desmanches:

Nos 8 desmanches pesquisados existiu certa unanimidade com relação ao fraco desempenho do setor nos últimos três anos. Entretanto, relacionam essa queda na atividade à crise econômica pela qual o Brasil passa atualmente.

- Percepção quanto à Lei do Desmanche:

Apenas dois dos entrevistados mencionaram ver com bons olhos a Lei do Desmanche, apontando como benefício a redução na criminalidade. Entretanto, apontaram como fator negativo a elevada burocracia para os que foram regulamentados, além de uma fiscalização falha, de maneira que ainda existem muitos desmanches operando na clandestinidade.

Reclamaram com relação às exigências ambientais impostas, como por exemplo, a instalação do local de descontaminação no espaço físico do estabelecimento, com especificações difíceis de serem cumpridas e sem contar com um certo amparo das autoridades para tal.

Outro entrevistado mencionou desconhecer a lei, de maneira que acredita não haver alteração alguma em seu ramo de negócios. Afirmou ainda que os consumidores preferem o paralelo novo ao original usado.

- Percepção quanto à implantação da logística reversa no setor automobilístico:

Também sobre este assunto, muitos não souberam informar se tinham alguma opinião formada ou nem mesmo sinalizaram acreditar que talvez seja algo que prejudique o seu negócio.

Houve também quem argumentasse que as peças de reuso apenas poderiam ser viáveis quando advindas de automóveis não muito antigos. O ideal seria daqueles inferiores a 15 anos, pois peças muito antigas não possuem tanta saída. Assim, para automóveis com fabricação superior a 15 anos o melhor seria o direcionamento para a reciclagem.

- Percepção do consumidor quanto às peças de reuso:

Com exceção de um dos entrevistados, a maioria entende que os consumidores brasileiros buscam o melhor preço, não se importando com a procedência da peça. O entrevistado que discordou da maioria afirmou, entretanto, que os consumidores preferem o paralelo novo ao original usado.

5.1.4 Estudo de caso 4

- Panorama atual do setor de sucatas:

O setor de sucatas vem se deparando com um aumento na concorrência nos últimos anos, o que fez com que o preço de venda da sucata que antes girava em torno de R\$ 0,60/kg, passa-se, atualmente, para R\$ 0,40/kg. Existem grandes empresas competindo diretamente com pequenas empresas.

- Percepção quanto à Lei do Desmanche:

Após a Lei do Desmanche entrar em vigor, a concorrência para a aquisição de automóveis em fim da vida útil aumentou nos leilões realizados pelo Detran.SP, uma vez que foram abertos para todos - tanto desmanches, quanto sucateiros - adquirirem os lotes de veículos. Isso porque os desmanches têm condições de ofertarem um preço superior para arrematar estes lotes, já que o preço de venda de uma peça usada é superior ao equivalente em sucata.

Para tentar resolver os impasses decorrentes da disputa pelos lotes destes dois segmentos, o Detran.SP separou os lotes entre aqueles que seriam direcionados, exclusivamente, para prensagem daqueles que seriam direcionados para desmonte, sendo que para adquirir os lotes direcionados para sucata, é necessário cadastro do estabelecimento que opera com sucatas no Detran.SP.

Desta forma, após a Lei do Desmanche, houve um esforço do Detran.SP para organizar estes leilões, de maneira a evitar fraudes, como o caso dos desmanches clandestinos que adquiriam automóveis descaracterizados, mas com documento, para os preencher com peças roubadas, os chamados “cabritos”.

Agora, ações como essa são mais difíceis, pois os desmanches também têm que estar cadastrados no Detran.SP para adquirir estes lotes e as peças provenientes de desmanche devem estar etiquetadas, através do jogo de etiquetas fornecido pelo próprio Detran.SP, havendo que se emitir nota fiscal para a venda de cada uma dessas peças.

- Percepção quanto à implantação da logística reversa no setor automobilístico:

Muito ainda deve ser feito para que uma estrutura padronizada de logística reversa no setor automobilístico seja implantada, mas o Detran.SP está passando por um processo de aprendizagem muito recente ainda. Entretanto, espera-se que muita coisa ainda vá mudar no sentido de implantação deste sistema.

5.1.5 Compilação dos Resultados da Pesquisa Qualitativa

Com base nos resultados da pesquisa qualitativa, procurou-se formatar um esboço para o atual processo de gerenciamento de automóveis em fim da vida útil, no Brasil. Na Figura 12, busca-se ilustrar esse processo.

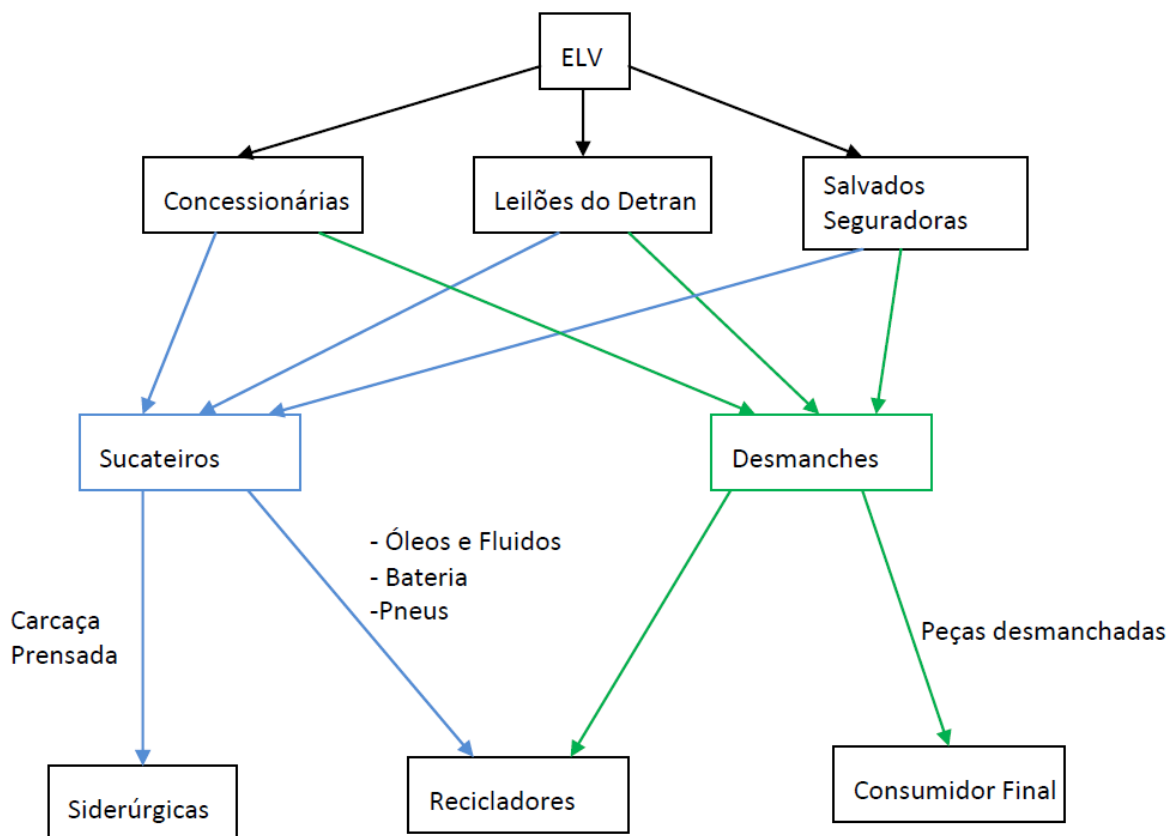


Figura 12 – Gerenciamento de *ELVs* no Brasil

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa.

Basicamente, os veículos em fim de vida são oriundos dos leilões do Detran.SP, salvados de seguradoras ou ainda envolvem os que por algum motivo sofreram avarias quando da posse de concessionárias, normalmente em vias de transporte.

Os receptores destes veículos podem ser os sucateiros ou os desmanches, provenientes de todas as origens. Os desmanches e sucateiros que recebem direto de concessionárias e seguradoras são uma minoria, que possuem certa parceria com as mesmas. A maioria adquire veículos a partir dos leilões do Detran.SP.

Nos leilões do Detran.SP os veículos são separados em lotes de dois tipos: aqueles direcionados apenas para sucata e aqueles que ainda apresentam peças em bom estado, que são destinados para desmanche. Assim, os veículos direcionados para sucata podem ser adquiridos apenas por sucateiros, enquanto os direcionados para desmanche, apenas por desmanches. Para participar dos leilões, estas empresas necessitam estar cadastradas junto ao Detran.SP.

Os sucateiros, ao adquirir os lotes de veículos no Detran.SP, precisam retirar os óleos, fluidos, baterias e pneus, no próprio pátio do Detran.SP, enviando-os para empresas que darão o fim adequado e normalmente envolvendo reciclagem. Após este processo, retira-se apenas a carcaça do veículo, a qual será, posteriormente, prensada e enviada a siderúrgicas.

Os desmanches, por sua vez, levam do pátio do Detran.SP o veículo inteiro, efetuando a retirada dos fluidos e óleos em um local de descontaminação dentro dos próprios desmanches.

As peças são, então, desmanchadas conforme a possibilidade de revenda ao consumidor final, catalogadas através de conjunto de etiquetas adquirido no Detran.SP, que possuem um código de barras para identificação. As peças que não possam ser destinadas para revenda seguem para reciclagem.

Devido ao aumento da concorrência por aquisição de veículos nos leilões do Detran.SP, após a Lei do Desmanche, foi necessária a divisão entre os lotes direcionados como sucata para prensagem e para desmanche.

Uma vez que, abrindo os leilões para os desmanches, os mesmos ofertavam lances muito superiores aos lances dos sucateiros, principalmente pelo fato do valor de revenda das peças ser superior ao valor da sucata prensada. Com isso dava-se margem para os chamados “cabritos”, veículos adquiridos legalmente nos leilões a um preço baixo, pelo desmanches, sendo incorporadas, nestes veículos, peças provenientes de carros roubados.

5.2 Modelagem matemática

5.2.1 Cenário 1

Este cenário utiliza o modelo matemático original, apresentado na seção 4.2.4.1, aplicado com base nos parâmetros especificados na seção 4.2.3.

O objetivo desta configuração se refere à maximização dos ganhos do processo de logística reversa, do ponto de vista dos sucateiros, onde se considera a receita líquida proveniente da venda de materiais recicláveis (metais, plástico, vidro e pneus), os ganhos ambientais, relacionadas à redução das emissões de carbono e redução do consumo de energia elétrica ao reciclar metais; e da minimização dos custos de aquisição de automóveis em fim da vida útil, dos custos de transporte destes veículos e dos custos com a disposição final de resíduos do processo.

Para se chegar a esse objetivo, é definido no modelo o número de veículos a ser processado pelos sucateiros, quais sucateiros os recepcionarão, quais os centros de reciclagem que receberão a parcela dos veículos destinada à reciclagem e quais as unidades de tratamento que receberão os resíduos para a disposição final.

O valor da função objetivo apresentou um valor positivo de 14.915.710. Este valor é composto pela união de unidades monetárias (pela esfera da receita e dos custos envolvidos no processo), toneladas (pela redução total das emissões de CO₂) e quilowatts-hora (pela economia de energia elétrica).

A receita pela venda de materiais recicláveis alcançou o valor de R\$ 19.982.130,00, o custo de aquisição dos veículos o valor de R\$ 4.978.610,00, o custo de transporte dos *ELVs* dos pontos de origem aos sucateiros o valor de R\$ 237.453,19, enquanto o custo de disposição dos resíduos ficou em R\$ 40.142,89.

A redução de emissões de CO₂ atingiu o patamar de 184.208,57 toneladas e houve economia de energia elétrica em 5.576,04 kWh.

A oferta total de automóveis inserida no modelo, no montante de 38.297 automóveis, foi integralmente processada. A Tabela 17 mostra os fluxos dos pontos de origem aos sucateiros, em toneladas.

Tabela 17 – Fluxos de *ELVs* da origem aos sucateiros para o Cenário 1, em toneladas

Origem	Destino	Valor
Santos	Santos	807,3
São José dos Campos	São José dos Campos	5.025,80
Sorocaba	Campinas	694,2
Campinas	Campinas	6.091,80
Ribeirão Preto	Ribeirão Preto	10.721,10
Bauru	Marília	211,9
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	244,4
Araçatuba	São José do Rio Preto	364
Presidente Prudente	Marília	806
Marília	Marília	93,6
Central	Central	36,4
Barretos	São José do Rio Preto	325
Franca	Ribeirão Preto	89,7
São Paulo	São Paulo	24.274,90

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

Como pode ser visualizado, em cerca de metade das Regiões Administrativas o *ELV* foi adquirido na própria região. A estrutura de custos do processo, utilizando os custos logísticos, acaba priorizando distâncias menores, explicando esse padrão de escolha.

As Regiões Administrativas que adquiriram *ELVs* de outras localidades, além da sua própria foram: São José do Rio Preto, Marília, Campinas e Ribeirão Preto. As com maior volume foram São Paulo (24.274,9 t), Ribeirão Preto (10.721,10 t), Campinas (6.091,80 t) e São José dos Campos (5.025,80 t).

Quanto aos fluxos de materiais dos sucateiros aos recicladores, também houve prioridade para o envio aos recicladores da própria região administrativa. Onde não houve capacidade instalada na própria região, os materiais foram direcionados para a região mais próxima possível. A Tabela 18 ilustra estes fluxos.

Tabela 18 – Fluxos de materiais dos sucateiros aos recicladores para o Cenário 1, em toneladas

Origem	Destino	Material			
		Pneu	Metal	Vidro	Plástico
Santos	Santos	56,51	565,11	32,29	88,8
São José dos Campos	São José dos Campos	351,8	3.518,06	201,03	552,84
Campinas	Campinas	475,02	4750,2	271,44	746,46
Ribeirão Preto	Ribeirão Preto	-	7.567,56	-	1189,19
	São José do Rio Preto	756,76	-	-	-
	Franca	-	-	432,43	-
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	65,34	653,38	37,34	102,67
Marília	São José do Rio Preto	77,80	-	-	-
	Marília	-	778,05	44,46	122,26
Central	Ribeirão Preto	-	25,48	-	-
	São José do Rio Preto	2,55	-	-	-
	Central	-	-	1,46	4
São Paulo	São Paulo	1.699,24	16.992,43	971	2.670,24

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

A região administrativa que mais recebe materiais recicláveis de outras regiões é a de São José do Rio Preto, recebendo pneus de Ribeirão Preto, Marília e Central. Os sucateiros presentes nas Regiões Administrativas de Santos, São José dos Campos, Campinas, São José do Rio Preto e São Paulo foram totalmente supridos por recicladores das mesmas regiões.

Por fim, a Tabela 19 mostra os fluxos de resíduos a partir dos sucateiros. São Paulo aparece como o maior gerador de resíduos, por processar um volume superior de *ELVs*. Envia para o Município de Taboão da Serra, em sua própria região administrativa, o volume de 2.344,06 toneladas de resíduos.

Tabela 19 – Fluxos de resíduos dos sucateiros às unidades de tratamento para o Cenário 1, em toneladas

Origem	Destino	(continua)
		Resíduos
Santos	Mauá	64,58
São José dos Campos	Tremembé	402,06
Campinas	Paulínia	542,88

Tabela 19 – Fluxos de resíduos dos sucateiros às unidades de tratamento para o Cenário 1, em toneladas

(conclusão)		
Origem	Destino	Resíduos
Ribeirão Preto	Jardinópolis	864,86
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	74,67
Marília	Ourinhos	88,92
Central	Guatapará	2,91
São Paulo	Taboão da Serra	1.941,99

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

As demais Regiões Administrativas enviam os resíduos para as suas próprias regiões, com exceção de Santos, que envia para Mauá, na Região de São Paulo, e Central, que envia para a unidade de Guatapará, localizada na Região Administrativa de Ribeirão Preto.

5.2.2 Cenário 2

No Cenário 2, foi proposta a possibilidade das Regiões Administrativas que não contam com capacidade instalada de sucateiros, passar a apresentar um estabelecimento.

Com isso, a função objetivo atingiu o valor de 14.966.900, uma elevação de 51.190. Essa diferença é compreendida, principalmente, pela alteração com os gastos de transporte no momento de aquisição dos *ELVs*, que apresentou redução de R\$ 77.758,80.

Com a presença de capacidade instalada em todas as Regiões Administrativas, a solução encontrada mostra que, em todas as regiões, os *ELVs* são adquiridos por elas mesmas, como mostra a Tabela 20.

Tabela 20 – Fluxos de *ELVs* da origem aos sucateiros para o Cenário 2, em toneladas

(continua)		
Origem	Destino	Montante
Santos	Santos	807,3
São José dos Campos	São José dos Campos	5.025,8
Sorocaba	Sorocaba	694,2
Campinas	Campinas	6.091,8
Ribeirão Preto	Ribeirão Preto	10.721,1
Bauru	Bauru	211,9
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	244,4

Tabela 20 – Fluxos de *ELVs* da origem aos sucateiros para o Cenário 2, em toneladas

(conclusão)		
Origem	Destino	Montante
Araçatuba	Araçatuba	364
Presidente Prudente	Presidente Prudente	806
Marília	Marília	93,6
Central	Central	36,4
Barretos	Barretos	325
Franca	Franca	89,7
São Paulo	São Paulo	24.274,9

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

Entretanto, apesar de os coeficientes relacionados às emissões de CO₂ e redução de energia elétrica não terem sofrido alteração, além do número total de *ELVs* adquiridos pelos sucateiros ser o mesmo, houve uma redução na receita líquida na venda de materiais recicláveis em R\$ 23.490,00, o que pode ser explicado pela intensificação das combinações de fluxos de materiais oriundos dos sucateiros aos centros de reciclagem. Houve uma dispersão neste fluxo, elevando os custos de transporte, como pode ser visualizado na Tabela 21.

Tabela 21 – Fluxos de materiais dos sucateiros aos recicladores para o Cenário 2, em toneladas

(continua)						
Origem	Destino	Material				
		Pneu	Metal	Vidro	Plástico	
Santos	Santos	56,51	565,11	32,29	88,80	
São José dos Campos	São José dos Campos	351,81	3.518,06	201,03	552,84	
Sorocaba	Sorocaba	48,59	485,94	27,77	76,36	
Campinas	Campinas	426,43	4.264,26	243,67	670,10	
Ribeirão Preto	Ribeirão Preto	-	7.504,77	-	1.179,32	
	São José do Rio Preto	750,48	-	-	-	
	Franca	-	-	428,84	-	

Tabela 21 – Fluxos de materiais dos sucateiros aos recicladores para o Cenário 2, em toneladas

Origem	Destino	(conclusão)			
		Pneu	Metal	Vidro	Plástico
Bauru	São José do Rio Preto	14,83	-	-	-
	Bauru	-	-	8,48	23,31
	Marília	-	148,33	-	-
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	17,11	171,08	9,78	26,88
Araçatuba	São José do Rio Preto	25,48	254,80	14,56	-
	Araçatuba	-	-	-	40,04
Presidente Prudente	São José do Rio Preto	56,42	-	-	-
	Presidente Prudente	-	564,20	32,24	88,66
Marília	São José do Rio Preto	6,55	-	-	-
	Marília	-	65,52	3,74	10,30
Central	Ribeirão Preto	-	25,48	-	-
	São José do Rio Preto	2,55	-	-	-
	Central	-	-	1,46	4,00
Barretos	São José do Rio Preto	22,75	227,50	13,00	-
	Barretos	-	-	-	35,75
Franca	Ribeirão Preto	-	62,79	-	-
	São José do Rio Preto	6,28	-	-	-
	Franca	-	-	3,59	9,87
São Paulo	São Paulo	1.699,24	16.992,43	971,00	2.670,24

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

As Regiões Administrativas autossuficientes no quesito reciclagem, para este cenário, foram as de Santos, São José dos Campos, Sorocaba, Campinas, São José do Rio Preto e São Paulo.

Como no Cenário 1, a região administrativa que mais aparece recebendo materiais recicláveis de outras regiões (no caso, principalmente pneus), é a de São José do Rio Preto. Esta região recebe pneus das demais regiões que não são autossuficientes, a saber: Ribeirão Preto, Bauru, Araçatuba, Presidente Prudente, Marília, Central, Barretos e Franca. Estas regiões não possuem capacidade instalada para reciclagem de pneus.

Os fluxos de resíduos às unidades de tratamento também sofreram alteração, como mostra a Tabela 22, por haver mais regiões incorporadas na solução do modelo, para este cenário.

Tabela 22 – Fluxos de resíduos dos sucateiros às unidades de tratamento para o Cenário 2, em toneladas

Origem	Destino	Resíduos
Santos	Mauá	64,58
São José dos Campos	Tremembé	402,06
Sorocaba	Sorocaba	55,54
Campinas	Paulínia	487,34
Ribeirão Preto	Jardinópolis	857,69
Bauru	Ourinhos	16,95
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	19,55
Araçatuba	São José do Rio Preto	29,12
Presidente Prudente	Ourinhos	64,48
Marília	Ourinhos	7,49
Central	Guataporá	2,91
Barretos	Franca	26
Franca	Franca	7,18
São Paulo	Taboão da Serra	1.941,99

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

Não houve grande concentração no recebimento de resíduos pelas unidades de tratamento, apenas algumas unidades recebendo de mais de uma região. A unidade de São José do Rio Preto passa a receber da Região Administrativa de Araçatuba; a unidade em Ourinhos passa a receber, além de Marília, das Regiões Administrativas de Bauru e Presidente Prudente. As unidades de Sorocaba e Franca entram na solução do modelo.

Vale destacar que nesses dois primeiros cenários existe presença de capacidade ociosa tanto para sucateiros como para centros de reciclagem e centros de disposição final, revelando que a atual infraestrutura do estado de São Paulo tem potencial para dar um fim ambientalmente adequado à reciclagem, a um volume superior de automóveis em fim da vida útil.

5.2.3 Cenário 3

No Cenário 3, a oferta de automóveis em fim da vida útil é elevada e a Região de Registro, que até então não possuía oferta de *ELVs*, passa a ser considerada como opção para aquisição dos mesmos.

Trabalhando com uma oferta de 11 milhões de automóveis, a solução ótima do modelo apontou para 1,5 milhão de automóveis sendo reciclados, o equivalente a 1,95 milhão de toneladas.

A função objetivo apresentou o valor de 586.057.200, sendo composta por R\$ 781.494.200 de receita líquida na venda de materiais recicláveis aos centros de reciclagem, R\$ 195.000.000 pelo custo de aquisição dos *ELVs*, R\$ 6.254.839,40 pelo custo de transporte entre os pontos de origem e sucateiros, R\$ 1.615.624,49 em custos de disposição. Pela esfera ambiental, uma redução de 7.215.000 de toneladas de CO₂ e 218.400 kWh em redução do consumo de energia.

Devido ao maior volume de *ELVs*, houve certa concentração nos fluxos, comparativamente aos cenários anteriores. A Tabela 23 mostra que todos os fluxos dos pontos de origem aos sucateiros se restringiram às suas próprias Regiões Administrativas, aparecendo apenas em metade delas.

Tabela 23 – Fluxos de *ELVs* da origem aos sucateiros para o Cenário 3, em toneladas

Origem	Destino	Montante
Santos	Santos	42.857,14
São José dos Campos	São José dos Campos	81.818,18
Campinas	Campinas	257.142,90
Ribeirão Preto	Ribeirão Preto	21.428,57
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	40.909,09
Marília	Marília	40.909,09
Central	Central	3.896,10
São Paulo	São Paulo	1.461.039,00

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

Como pode ser visualizado, a Região Administrativa de São Paulo, devido à sua importância, tanto na oferta de automóveis como na capacidade instalada de recicladores, se apresenta como a região com maior parcela de veículos entrando no processo de logística reversa proposto, correspondendo a 75% deste volume.

A região com menor participação, dentre as regiões escolhidas pela modelagem, seria a Central, correspondendo a 0,2%.

As Regiões Administrativas de São José dos Campos, São José do Rio Preto e Marília esgotariam a capacidade instalada dos sucateiros.

Neste cenário, apesar de haver concentração para os sucateiros, há uma maior dispersão com relação aos centros de reciclagem, de maneira a atender o maior fluxo de materiais, como pode ser visualizado na Tabela 24.

Tabela 24 – Fluxos de materiais dos sucateiros aos recicladores para o Cenário 3, em toneladas

Origem	Destino	Material			
		Pneu	Metal	Vidro	Plástico
Santos	Santos	3.000	30.000	1.714,29	4.714,29
São José dos Campos	São José dos Campos	5.727,27	57.272,73	3.272,73	9.000
Campinas	Sorocaba	-	75.000	-	-
	Campinas	18.000	105.000	10.285,71	28.285,71
Ribeirão Preto	Ribeirão Preto	-	15.000	-	2.357,14
	São José do Rio Preto	1.500	-	-	-
	Franca	-	-	857,14	-
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	2.863,64	15.000	1.636,36	4.500
	Presidente Prudente	-	13.636,36	-	-
Marília	São José do Rio Preto	2.863,63	-	-	-
	Presidente Prudente	-	1.363,64	-	-
	Marília	-	27.272,73	1.636,36	4.500
Central	São José do Rio Preto	272,72	-	-	-
	Marília	-	2.727,27	-	-
	Central	-	-	155,84	428,57
São Paulo	São José dos Campos	-	2.727,27	-	-
	São Paulo	102.272,73	1.020.000	58.441,56	160.714,29

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

Novamente, a Região Administrativa de São José do Rio Preto aparece suprimindo outras regiões com a reciclagem de pneus, como é o caso de Ribeirão Preto, Marília e Central.

Santos e São José dos Campos são as únicas regiões que não precisam enviar materiais para recicladores localizados em outras regiões, sendo que São José dos Campos recebe 2.727,27 t de metal da Região de São Paulo.

Merece destaque o fato de que a capacidade instalada de metais é totalmente utilizada, de maneira a limitar a escolha ótima do volume de *ELVs* processados pelo modelo.

Por fim, a Tabela 25 mostra os fluxos de resíduos dos sucateiros às unidades de tratamento, mantendo também neste cenário o padrão de proximidade entre os pontos de origem e destino.

Tabela 25 – Fluxos de resíduos dos sucateiros às unidades de tratamento para o Cenário 3, em toneladas

Origem	Destino	Resíduos
Santos	Mauá	3.428,57
São José dos Campos	Tremembé	6.545,46
Campinas	Paulínia	20.571,43
Ribeirão Preto	Jardinópolis	1.714,29
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	3.272,73
Marília	Ourinhos	3.272,73
Central	Guatapará	311,69
São Paulo	Mauá	109.875,12
	Taboão da Serra	7.008

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

Devido ao volume de *ELVs* escolhidos no modelo, a Região Administrativa de São Paulo precisou contar com mais de uma unidade de tratamento de resíduos, enviando-os para Taboão da Serra e para Mauá.

5.2.4 Cenário 4

No Cenário 4 faz-se a união dos Cenários 2 e 3, ou seja, considera-se que em todas as Regiões Administrativas exista ao menos uma instalação de sucateiros e a oferta de *ELVs* seja elevada a 11 milhões.

O resultado ótimo apontou, como no Cenário 3, para a destinação ao processo de logística reversa proposto, o montante de 1,5 milhão de automóveis, sendo que o valor da função objetivo se elevou para 587.580.600, devido ao aumento na receita com materiais recicláveis, que passou a ser R\$ 783.082.400,00, representando um incremento de R\$ 1.588.200,00, não compensada pela elevação nos custos de disposição, no valor de R\$ 64.736,00.

Os fluxos se alteraram, de maneira que automóveis de outras Regiões Administrativas passaram a ser adquiridos, sendo acrescentados pontos de origem. Entretanto, houve continuidade no padrão notado no Cenário 3, em que os automóveis são adquiridos pelas próprias regiões, como pode ser observado na Tabela 26.

Tabela 26 – Fluxos de *ELVs* da origem aos sucateiros para o Cenário 4, em toneladas

Origem	Destino	Montante
Santos	Santos	42.857,14
São José dos Campos	São José dos Campos	81.818,18
Sorocaba	Sorocaba	40.909,09
Campinas	Campinas	216.233,80
Ribeirão Preto	Ribeirão Preto	21.428,57
Bauru	Bauru	1.948,05
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	21.428,57
Presidente Prudente	Presidente Prudente	21.428,57
Marília	Marília	40909,09
São Paulo	São Paulo	1.461.039,00

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

Aparecem nesta solução as Regiões Administrativas de Sorocaba, Bauru e Presidente Prudente. Por outro lado, a Região Administrativa Central não foi escolhida.

Apesar destas Regiões Administrativas que passaram a ser escolhidas, neste cenário, o padrão dos fluxos de materiais quase não sofreu alteração.

De acordo com a Tabela 27, como houve redução no volume adquirido pelos sucateiros da Região Administrativa de São José do Rio Preto, que passou da capacidade máxima de 40.909,09 t para 21.428,57 t, esta passou a não enviar materiais para a Região Administrativa de Presidente Prudente. Esta região, por sua vez, incorporada à solução do modelo para este cenário, envia materiais para recicladores em sua própria região, com exceção dos pneus, enviados a São José do Rio Preto.

Tabela 27 – Fluxos de materiais dos sucateiros aos recicladores para o Cenário 4, em toneladas

Origem	Destino	Material			
		Pneu	Metal	Vidro	Plástico
Santos	Santos	3.000	30.000	1.714,29	4.714,29
São José dos Campos	São José dos Campos	5.727,27	57.272,73	3.272,73	9.000
Sorocaba	Sorocaba	2.863,63	28.636,36	1.636,36	4.500
Campinas	Sorocaba	-	46.363,64	-	-
	Campinas	15.136,36	105.000	8.649,35	23.785,71

(continua)

Tabela 27 – Fluxos de materiais dos sucateiros aos recicladores para o Cenário 2, em toneladas

Origem	Destino	Material			
		Pneu	Metal	Vidro	Plástico
Ribeirão Preto	Ribeirão Preto	-	15.000	-	2.357,14
	São José do Rio Preto	1.500	-	-	-
	Franca	-	-	857,14	-
Bauru	Bauru	-	-	77,92	214,29
	São José do Rio Preto	136,36	-	-	-
	Marília	-	1.363,64	-	-
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	1.500	15.000	857,14	2.357,14
	Presidente Prudente	1.500	-	-	-
Marília	Presidente Prudente	-	15.000	857,14	2.357,14
	São José do Rio Preto	2.863,64	-	-	-
São Paulo	Marília	-	28.636,36	1.636,36	4.500,00
	São José dos Campos	-	2.727,27	-	-
	São Paulo	102.272,72	1.020.000	58.441,56	160.714,29

(conclusão)

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

A Região Administrativa de Sorocaba envia a totalidade de materiais recicláveis para recicladores da própria região. Já os sucateiros de Bauru e de Presidente Prudente precisam enviar para recicladores de outras regiões. A Região Administrativa de Bauru envia pneus para São José do Rio Preto e metais para Marília. A Região Administrativa de Presidente Prudente apenas envia pneus para a Região de São José do Rio Preto.

Quanto aos locais de disposição final, é possível verificar, na Tabela 28, que não houve alteração na escolha de unidades de disposição final para as Regiões Administrativas que já constavam da solução do cenário anterior.

Tabela 28 – Fluxos de resíduos dos sucateiros às unidades de tratamento para o Cenário 4, em toneladas

(continua)		
Origem	Destino	Resíduos
Santos	Mauá	3.428,57
São José dos Campos	Tremembé	6.545,45
Sorocaba	Sorocaba	3.272,72
Campinas	Paulínia	17.298,70

Tabela 28 – Fluxos de resíduos dos sucateiros às unidades de tratamento para o Cenário 4, em toneladas

		(conclusão)
Origem	Destino	Resíduos
Ribeirão Preto	Jardinópolis	1.714,29
Bauru	Ourinhos	155,84
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	1.714,29
Presidente Prudente	Ourinhos	1.714,29
Marília	Ourinhos	3.272,72
São Paulo	Mauá	109.875,12
	Taboão da Serra	7.008

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

Para atender aos sucateiros das regiões que apareceram na solução deste cenário, tem-se a unidade de Sorocaba, em atendimento à Região Administrativa de Sorocaba e Ourinhos, para recepcionar os resíduos dos sucateiros de Bauru e de Presidente Prudente.

5.2.5 Cenário 5

No Cenário 5 supôs-se uma oferta de *ELVs* restrita à capacidade instalada de recicladores de metais, considerando a mesma capacidade instalada de sucateiros e recicladores dos Cenários 1 e 3. Essa oferta foi ponderada pela população das Regiões Administrativas, como fora realizado para o Cenário 3.

O valor alcançado para a função objetivo foi de 555.002.600, composto por um custo de transporte dos *ELVs* do ponto de origem aos sucateiros de R\$ 29.942.920,00, um custo de disposição final de R\$ 1.647.538,00, um custo de aquisição de *ELVs* no montante de R\$ 195.000.000,00, uma receita de venda de materiais no valor de R\$ 774.159.700,00, redução de emissões de carbono no valor de 7.215.000 toneladas e economia de energia elétrica em 218.400 kWh.

O valor da função objetivo neste cenário difere do Cenário 3 pela elevação dos custos de transporte (R\$ 23.688,00) e do custo de disposição (R\$ 31.914,00), além de uma redução na receita líquida de expressivos R\$ 7.334.500,00.

Essa redução na receita líquida ocorreu devido à venda de materiais recicláveis a recicladores localizados em regiões mais distantes, reduzindo o valor líquido recebido pelos sucateiros.

A Tabela 29 mostra os fluxos de *ELVs* dos pontos de origem aos sucateiros. Pode-se notar que São Paulo e Campinas são os maiores compradores, devido à capacidade instalada de sucateiros nestas regiões. São Paulo adquire automóveis de 7 regiões, incluindo a sua própria, enquanto a Região Administrativa de Campinas tem fluxos a partir de 6 regiões.

Tabela 29 – Fluxos de *ELVs* da origem aos sucateiros para o Cenário 5, em toneladas

Origem	Destino	Montante
Registro	São Paulo	13.282,02
Santos	Santos	79.121,72
São José dos Campos	São José dos Campos	81.818,18
	São Paulo	25.390,80
Sorocaba	São Paulo	133.789,55
Campinas	Campinas	292.717,35
Ribeirão Preto	Ribeirão Preto	56.704,41
Bauru	São Paulo	50.765,72
São José do Rio Preto	Campinas	26.276,24
	São José do Rio Preto	40.909,09
Araçatuba	São Paulo	33.901,41
Presidente Prudente	São Paulo	39.011,95
Marília	Campinas	4.388,50
	Marília	40.909,09
Central	Campinas	4.304,69
	Central	40.909,09
Barretos	Campinas	19.670,87
Franca	Campinas	8.887,37
	Ribeirão Preto	25.113,77
São Paulo	São Paulo	932.128,17

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

Apenas as Regiões Administrativas de Santos, São José dos Campos vendem *ELVs* exclusivamente para suas próprias regiões. As Regiões de São José do Rio Preto, Marília e Central precisam enviar para Campinas o valor que ultrapassa suas capacidades.

As demais regiões enviam para São Paulo ou Campinas, com exceção de Franca, que além de enviar para Campinas, envia também para Ribeirão Preto.

Quanto aos fluxos de materiais recicláveis, a Região de São José do Rio Preto continua a receber pneus de sucateiros em diversas localidades, como pode ser visualizado na Tabela 30.

Tabela 30 – Fluxos de materiais dos sucateiros aos recicladores para o Cenário 5, em toneladas

Origem	Destino	Material			
		Pneu	Metal	Vidro	Plástico
Santos	Santos	5.538,52	30.000	3.164,87	8.703,39
	São Paulo	-	25.385,20	-	-
São José dos Campos	São José dos Campos	5.727,27	57.272,73	3.272,73	9.000
Campinas	São José dos Campos	-	2.727,27	-	-
	Sorocaba	-	6.818,18	3.629,80	-
	Campinas	24.937,15	105.000	10.620	39.186,95
Ribeirão Preto	São Paulo	-	134.826,06	-	-
	Sorocaba	-	39.545,45	-	-
	Ribeirão Preto	-	15.000	-	9.000
	São José do Rio Preto	5.727,27	-	-	-
	Marília	-	2.727,27	-	-
	Franca	-	-	3.272,73	-
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	2.863,64	15.000	1.636,36	4.500
	Presidente Prudente	-	13.636,36	-	-
Marília	São José do Rio Preto	2.863,64	-	-	-
	Presidente Prudente	-	1.363,64	-	-
	Marília	-	27.272,73	1.636,36	4.500
Central	Sorocaba	-	28.636,36	-	-
	São José do Rio Preto	2.863,64	-	-	-
	Central	-	-	1.636,36	4.500
São Paulo	São Paulo	85.978,87	859.788,74	49.130,78	135.109,66

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

Neste cenário, percebe-se que existe uma dispersão maior nos fluxos de materiais para os recicladores, explicando a receita líquida menor em relação ao Cenário 3, mesmo sendo o mesmo volume ótimo de *ELVs* entrando no processo de logística reversa descrito.

Ainda com relação ao Cenário 3, as regiões de origem e as unidades de tratamento de resíduos não sofreram alteração, apenas houve um rearranjo nos fluxos entre as unidades, como pode ser visualizado na Tabela 31.

Tabela 31 – Fluxos de resíduos dos sucateiros às unidades de tratamento para o Cenário 5, em toneladas

Origem	Destino	Resíduos
Santos	Mauá	6.329,74
São José dos Campos	Tremembé	6.545,45
Campinas	Paulínia	28.499,60
Ribeirão Preto	Jardinópolis	6.545,45
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	3.272,73
Marília	Ourinhos	3.272,73
Central	Guataporá	3.272,73
São Paulo	Mauá	91.253,57
	Taboão da Serra	7.008

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

Por exemplo, a unidade de Mauá recebeu em torno do dobro de resíduos com relação ao Cenário 3, pois com o volume de *ELVs* adquiridos pelos sucateiros presentes em Santos de 42.000, passou para 79.000.

Esse rearranjo ocorreu devido aos fluxos dos pontos de origem aos sucateiros terem se alterado, uma vez que, no Cenário 3, o volume de 1.500.000 *ELVs* foi escolhido, conforme a participação de cada região, em um universo de 11 milhões de automóveis. Já neste cenário 5, as participações relativas de cada região, com relação à oferta de *ELVs*, foram calculadas com base no universo de 1,5 milhão de *ELVs*.

5.2.6 Cenário 6

Por fim, no Cenário 6 levou-se em conta a possibilidade de concentração no mercado de sucateiros, com poucas unidades operando neste segmento. Nesta aplicação, considerou-se a presença de até 3 grandes sucateiros no processo de logística reversa de automóveis, ou seja, a solução ótima para o modelo poderia escolher no máximo três regiões.

Os dados utilizados neste cenário foram os mesmos utilizados no Cenário 5, sendo a única diferença entre os dois cenários a alteração realizada na estrutura da modelagem, que foi modificada de maneira a considerar a escolha de um número predeterminado de regiões.

A solução ótima apresentou um valor de 541.961.000, composto por R\$ 42.654.110,00 de custo de transporte dos *ELVs* dos pontos de origem, R\$ 1.467.601,70 de custos de

disposição final, R\$ 195.000.000,00 de custo de aquisição dos *ELVs*, R\$ 773.649.300,00 de receita líquida, 7.215.000 t de CO₂ reduzidos e 218.400 kWh de energia economizados.

O valor da solução ótima foi inferior ao apresentado no Cenário 5 devido à grande elevação ocorrida com o custo de transporte, no valor de R\$18.966.029,00 e na perda de receita no valor de R\$ 510.400,00, apesar da redução nos custos de disposição no valor de R\$179.936,30. Esse fato pode ser explicado, pois devido à concentração no número de recicladores, os *ELVs* acabam sendo adquiridos de regiões distantes também.

As Regiões Administrativas escolhidas foram São Paulo, Campinas e Ribeirão Preto, como pode ser visualizado na Tabela 32.

Tabela 32 – Fluxos de *ELVs* da origem aos sucateiros para o Cenário 6, em toneladas

Origem	Destino	Montante
Registro	São Paulo	13.282,02
Santos	São Paulo	79.121,72
São José dos Campos	São Paulo	107.208,98
Sorocaba	São Paulo	133.789,55
Campinas	Campinas	292.717,35
Ribeirão Preto	Ribeirão Preto	56.704,41
Bauru	São Paulo	50.765,72
São José do Rio Preto	Campinas	67.185,33
Araçatuba	São Paulo	33.901,41
Presidente Prudente	São Paulo	39.011,95
Marília	Campinas	16.325,30
	São Paulo	28.972,29
Central	Campinas	45.213,78
Barretos	Campinas	19.670,87
Franca	Campinas	8.887,37
	Ribeirão Preto	25.113,77
São Paulo	São Paulo	932.128,17

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

Neste cenário, os sucateiros da Região Administrativa de São Paulo passam a receber de nove regiões, enquanto a Região de Campinas recebe de 6 regiões. Ribeirão Preto recebe de sua própria região e de Franca, compartilhando com a Região de Campinas.

Quanto aos fluxos de materiais recicláveis, todas as regiões escolhidas precisam, em maior ou menor necessidade, enviar para outras regiões, por conta das restrições de capacidade, como pode ser observado na Tabela 33.

Tabela 33 – Fluxo de materiais dos sucateiros aos recicladores para o Cenário 6, em toneladas

Origem	Destino	Material			
		Pneu	Metal	Vidro	Plástico
Campinas	São José dos Campos	-	60.000	-	-
	Sorocaba	-	75.000	7.380	-
	Campinas	31.500	105.000	10.620	49.500
	Presidente Prudente	-	15.000	-	-
	Marília	-	2.727,27	-	-
	São Paulo	-	57.272,73	-	-
Ribeirão Preto	Ribeirão Preto	-	15.000	-	9.000
	São José do Rio Preto	5.727,27	15.000	-	-
	Marília	-	27.272,73	-	-
	Franca	-	-	3.272,73	-
São Paulo	Santos	-	30.000	-	-
	São Paulo	99.272,73	962.727,27	56.727,27	156.000

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

A Região Administrativa de São Paulo é a que apresenta menor necessidade de enviar para outra região, enviando metais para Santos. Por outro lado, a Região de Ribeirão Preto precisa enviar para outras regiões vidros, metais e pneus. Envia vidros para Franca; pneus para São José do Rio Preto; cerca de 75% dos metais para São José do Rio Preto e Marília (apenas o plástico é totalmente suprido pela própria região).

Não houve alteração na escolha das unidades de tratamento de resíduos para essas regiões, conforme mostra a Tabela 34.

Tabela 34 – Fluxos de resíduos dos sucateiros às unidades de tratamento para o Cenário 6, em toneladas

Origem	Destino	Resíduos
Campinas	Paulínia	36.000
Ribeirão Preto	Jardinópolis	6.545,45
São Paulo	Mauá	106.446,55
	Taboão da Serra	7.008

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

A unidade de Paulínia recebe 36.000 t de Campinas, a unidade de Jardinópolis recebe 6.545 t de Ribeirão Preto e a Região de São Paulo envia para duas unidades: 106.446 t para a unidade de Mauá e 7.008 t para Taboão da Serra.

5.2.7 Análise de sensibilidade

Nesta seção são demonstrados alguns resultados de maneira consolidada, objetivando uma elucidação do comportamento do modelo com respeito aos diferentes cenários.

Como pode ser visualizado na Tabela 35, o valor de todos os itens que compõem a função objetivo (receita com a venda de materiais recicláveis, custo de aquisição de veículos, custo de transporte aos sucateiros, custo de disposição, redução de emissões e economia com energia elétrica) apresentam um salto quando se incorpora ao modelo uma oferta maior de veículos em fim de vida.

Tabela 35 – Consolidação dos resultados dos cenários 1 a 6

Resultados	(continua)			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Oferta de veículos	38.297	38.297	1.500.000	1.500.000
Função objetivo	14.915.710	14.966.900	586.057.200	587.589.600
Receita com a venda de recicláveis (R\$)	19.982.130,00	19.958.640,00	781.494.200,00	783.082.400,00
Custo de aquisição dos veículos (R\$)	4.978.610,00	4.978.610,00	195.000.000,00	195.000.000,00
Custo de transporte aos sucateiros (R\$)	237.453,19	159.694,39	6.254.839,00	6.254.839,00
Custo de disposição (R\$)	40.142,89	43.219,14	1.615.624,00	1.680.360,11
Redução de emissões (t)	184.208,57	184.208,57	7.215.000	7.215.000
Economia de energia elétrica (Kw/h)	5.576,04	5.576,04	218.400	218.400

Tabela 35 – Consolidação dos resultados dos cenários 1 a 6

Resultados	(conclusão)	
	Cenário 5	Cenário 6
Oferta de veículos	1.500.000	1.500.000
Função objetivo	555.002.600	541.961.000
Receita com a venda de recicláveis (R\$)	774.159.700,00	773.649.300,00
Custo de aquisição dos veículos (R\$)	195.000.000,00	195.000.000,00
Custo de transporte aos sucateiros (R\$)	29.942.920,00	426.541.100,00
Custo de disposição (R\$)	1.647.538,00	1.467.601,70
Redução de emissões (t)	7.215.000	7.215.000
Economia de energia elétrica (kWh)	218.400	218.400

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

Os Cenários 1 e 2, que diferem entre si, principalmente, com relação aos custos de transporte aos sucateiros, sendo que com a incorporação de capacidade instalada através de um sucateiro para as regiões que não possuíam nenhum, a distância percorrida foi reduzida.

Quando se elevou a oferta de veículos em fim de vida para 1.500.000 unidades, a partir do cenário 3, percebeu-se um maior valor de função objetivo para o cenário 4, onde se incluiu a capacidade adicional instalada de sucateiros do cenário 2 e a maior oferta de veículos do cenário 3.

Dentre os cenários que consideraram a oferta de veículos no valor de 1.500.000 unidades, chama a atenção o cenário 6 que apresentou o menor valor para a função objetivo devido à grande elevação no custo do transporte aos sucateiros, uma vez que foi considerada concentração no setor com a presença de apenas 3 sucateiros.

Mesmo considerando a oferta de 1.500.000 veículos em fim de vida, a capacidade instalada de sucateiros e recicladores não foi esgotada, com exceção da capacidade instalada de recicladores de metal, que apresentou capacidade ociosa igual a zero.

Tabela 36 – Capacidade ociosa dos sucateiros e recicladores, em toneladas

Capacidade ociosa (t)	Cenário 1	Cenário 2	Cenários 3,5,6	Cenário 4
Sucateiros	2.527.486,63	2.813.850,26	627.272,66	913.636,30
Recicladores de Pneu	272.508,98	272.508,98	139.494,01	139.494,01
Recicladores de Metal	1.330.149,73	1.330.149,73	0	0
Recicladores de Vidro	189.168,55	189.168,55	113.160,01	113.160,01
Recicladores de Plástico	1.720.723,54	1.720.723,54	1.511.700	1.511.700

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

Deixando de lado os recicladores de metal, o próximo gargalo apresentado ao sistema seriam os recicladores de vidro, com capacidade ociosa de 113.160 t, seguidos dos recicladores de pneus, com capacidade ociosa de 139.494 t.

Entretanto, deve-se observar que as capacidades instaladas consideradas na aplicação deste modelo não levam em conta o nível de utilização atual das mesmas, o que poderia alterar consideravelmente os resultados obtidos.

5.3 Discussão dos resultados

Na parte qualitativa desta pesquisa foram abordadas empresas de ramos diferentes no setor automobilístico, demonstrando visões e interesses diversos quanto à questão da implantação da logística reversa no Brasil.

Foi de extrema dificuldade a obtenção de boa parte destas entrevistas, principalmente, com respeito aos desmanches de automóveis. Muitos entrevistados não quiseram participar, sendo que para aqueles que aceitaram, as respostas foram as mais vagas possíveis, prejudicando o andamento e finalização desta pesquisa. Foi perceptível, também, que boa parte dos entrevistados ainda não possui uma ideia formada a respeito da Lei do Desmanche, muito menos sobre a implantação da logística reversa para automóveis.

Mesmo diante dessa situação, as escassas informações obtidas serviram de base para uma melhor compreensão de como funciona a relação do pós-consumo de automóveis que estão em fim da vida útil.

A primeira delas, representando as montadoras, transpareceu certo ceticismo quanto ao tema, apontando as adversidades provenientes da questão da propriedade dos veículos em fim da vida útil e da utilização de peças de reuso, enfatizando o questionamento sobre a definição de qual agente socioeconômico seria responsável pela retirada destes automóveis de circulação e pela qualidade das peças provenientes de desmanches.

Entretanto, demonstrou apoio ao tópico relacionado à reciclagem de automóveis, ao evidenciar as práticas já adotadas pela indústria.

A segunda empresa, representando as seguradoras de automóveis, se apresentou favorável ao tema, uma vez que, já adota práticas relacionadas à logística reversa, por precisar oferecer o correto direcionamento a automóveis que precisam ser retirados de circulação devido a sinistros.

Além disso, acredita que as seguradoras sejam beneficiadas pelo avanço das práticas relacionadas à logística reversa no Brasil, tanto por vislumbrarem maiores opções quanto à destinação destes veículos, como pela possibilidade de atingirem novos nichos de mercado, oferecendo modalidades de seguro mais baratas, ao tornar possível a utilização de peças de reuso em automóveis segurados.

Os desmanches entrevistados demonstraram certa insatisfação com relação à Lei do Desmanche, estando ainda em processo de adaptação às novas exigências impostas através desta lei.

Os sucateiros são caracterizados por grandes empresas, cada uma delas atuando em uma região pré-determinada, sendo que na maior parte das vezes se unem para a formação de preço, nos lances dos leilões do Detran.SP.

Quanto à percepção dos desmanches quanto ao atual panorama do setor, as opiniões divergem. Existem desmanches que enxergam na legalização do setor uma oportunidade de expansão de negócios que, ao se adequar às novas regras impostas pela Lei do Desmanche, perceberam melhora significativa nas vendas.

Por outro lado, existem os desmanches que não acreditaram nas mudanças e viram seus negócios serem fechados impositivamente pelo Detran.SP, pela não adequação às novas

regras. Há ainda aqueles que se adequaram, mas reclamam da burocracia e alto custo que enfrentam para a adequação às normas, não visualizando que a fiscalização dos desmanches ilegais tenha sido efetivada.

Apesar da aparente desorganização ainda presente no que se refere ao correto tratamento de veículos em fim de vida, boa parte dos entrevistados encara com bons olhos as ações já realizadas, ressaltando que as autoridades governamentais ainda estão em processo de profissionalização, acreditando que este processo evolua para a correta definição do papel de cada agente e para a estruturação final do quadro.

Com relação à parte quantitativa do trabalho, através da aplicação do modelo proposto, percebe-se que existe capacidade ociosa nas instalações que podem ser utilizadas no gerenciamento de veículos em fim de vida, se for considerado o cenário com o uso do volume de automóveis leiloados nos pátios do Detran.SP e de salvados apenas.

Entretanto, caso seja instalado um modelo de gerenciamento que procure dar fim aos veículos em fim da vida útil, em sua totalidade, percebe-se que a capacidade instalada, principalmente de reciclagem de metais, talvez não seja suficiente.

No Cenário 3, que considerou uma estimativa para os *ELVs*, o volume ótimo de automóveis reciclados esbarrou na capacidade instalada de reciclagem de metais, esgotando a disponibilidade em todas as Regiões Administrativas.

Entretanto, tem-se de levar em conta que a capacidade instalada utilizada na aplicação deste modelo é anual, sendo que a modelagem proposta não é dinâmica, mas estática. Se de fato existirem 11 milhões de automóveis em fim da vida útil, demoraria em torno de 7 anos para reciclar a totalidade desta quantidade de veículos, fazendo com que outros veículos, até então não considerados como sucata entrassem nessa estatística.

Desta forma, talvez um montante de 1,5 milhão de automóveis sendo reciclados anualmente, que foi o valor apresentado na solução para o Cenário 3, não se mostre como uma realidade tão distante, sendo então possível implantar um modelo de logística reversa no Estado de São Paulo, que respeite as capacidades de processamento.

Como mostrado no Cenário 6, caso haja concentração neste mercado, por parte dos sucateiros, os custos logísticos se elevam consideravelmente para atender a toda oferta de *ELVs*, comparativamente aos outros cenários. Este fato pode ser um indicativo que a melhor

configuração para a estrutura da logística reversa de automóveis seja apresentada num formato mais pulverizado, de maneira que existam muitos agentes atuando neste mercado.

De qualquer forma, mostrou-se que são alcançados benefícios ambientais e sociais a partir da implantação de um processo de logística reversa de veículos em fim de vida, devido à economia de recursos naturais, redução de poluição e aumento de postos de trabalho.

6 CONCLUSÕES

Apesar da relevância econômica do setor automobilístico brasileiro, não existe ainda um consenso com relação ao adequado gerenciamento do ciclo de vida deste produto no pós-consumo. Mesmo o Brasil configurando-se como 8º produtor mundial de automóveis, apenas 2% dos veículos que são retirados de circulação seguem para reciclagem.

Mesmo com este potencial de mercado, as iniciativas relacionadas à logística reversa são apenas pontuais, tanto no que se refere ao amparo legal, como a práticas de mercado. Não existe uma padronização, nem um direcionamento sobre qual caminho a seguir, dentre as diversas possibilidades disponíveis atualmente. Como abordado nesta pesquisa, existem diversos métodos sendo adotados em todo o mundo, tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento.

A Lei do Desmanche nº.12.977/14 se configurou como um marco regulatório neste sentido. Entretanto, neste momento, pode ser encarado apenas como um passo inicial, para que no futuro uma estrutura consistente ligada à logística reversa de automóveis seja idealizada, uma vez que esta lei teve como objetivo principal extinguir do setor automobilístico o mercado ilegal de peças automotivas.

No Brasil, ainda não está bem definido sobre qual agente econômico recai a responsabilidade sobre o correto direcionamento de veículos em fim de vida. Talvez o próximo passo a ser dado, no sentido legal, seja a definição desta responsabilidade, para que seja possível a adoção da logística reversa de automóveis diretamente dos veículos em posse de consumidores finais.

Não apenas ganhos de mercado estão sendo perdidos, mas também novos nichos deixam de ser explorados, custos mais elevados de produção são praticados, que poderiam ser minimizados devido ao uso de materiais recicláveis ou peças de reuso. Deve-se levar em conta também, principalmente, as perdas ambientais geradas pelo descaso em relação a este problema, que acarretam desperdício de recursos naturais.

Há que se considerar também que veículos em fim da vida geram externalidades negativas, pelo aumento da poluição, transtornos causados no trânsito, reduzindo, desta maneira, o bem-estar da sociedade. Tais externalidades podem ser corrigidas através de um

mercado para poluição, como abordado no referencial teórico, podendo se fazer uso do mercado de créditos de carbono.

Diante do exposto, tornam-se fundamentais estudos que contribuam para o debate e reflexão sobre a implantação da logística reversa no setor automobilístico brasileiro, de modo a contribuir para o avanço deste embate, culminando em possíveis soluções que venham melhor se adequar à realidade brasileira.

Neste sentido, na presente pesquisa foi proposta uma estrutura de modelagem matemática, aplicada ao estado de São Paulo, que possa servir de base na definição de um protótipo, podendo posteriormente ser extrapolado para a adoção da logística reversa no Brasil.

Adicionalmente, procurou-se compreender a opinião dos agentes econômicos que sejam afetados pelo tema. Desta forma, optou-se por utilizar o método misto de pesquisa, considerando tanto o método qualitativo como o método quantitativo.

Na parte qualitativa foram aplicados questionários a empresas que atuam no setor: uma representando as montadoras de automóveis, uma seguradora, oito desmanches e uma empresa que trabalha com sucata. Os resultados apontaram para uma notória divergência de opiniões com respeito à implantação da logística reversa no setor automobilístico brasileiro.

Pela aplicação da Lei do Desmanche, conforme observado no estado de São Paulo, destaca-se a necessidade de políticas públicas voltadas à disseminação da informação e apoio aos desmanches na obediência às diretrizes impostas pela lei, de maneira a elevar a eficiência aos objetivos a serem perseguidos.

Na parte quantitativa, foi utilizado o método de programação linear, tendo-se como objetivo maximizar as receitas líquidas de venda de materiais de reciclagem, minimização dos custos relacionados à aquisição dos *ELVs*, os custos logísticos envolvidos no processo e os custos de disposição final.

Adicionalmente, foram considerados os ganhos ambientais na função objetivo, caracterizado pela redução das emissões de CO₂ e economia de energia elétrica na reciclagem de metais.

Tal modelo foi aplicado para o estado de São Paulo, devido à relevância deste estado no setor automobilístico brasileiro, bem como por suas iniciativas, em andamento, para o gerenciamento de *ELVs*.

Nesta aplicação, percebeu-se que provavelmente venha a existir a necessidade de ampliação da capacidade instalada dos centros de reciclagem de metais e que a implantação de uma estrutura de logística reversa de automóveis padronizada seja possível, com ganhos para o bem-estar social.

Sumariza-se a discussão anteriormente realizada através de análise SWOT, sendo apresentados na Figura 13 os elementos que podem influenciar interna ou externamente as decisões no âmbito da estruturação da logística reversa de automóveis, abordada nesta pesquisa.

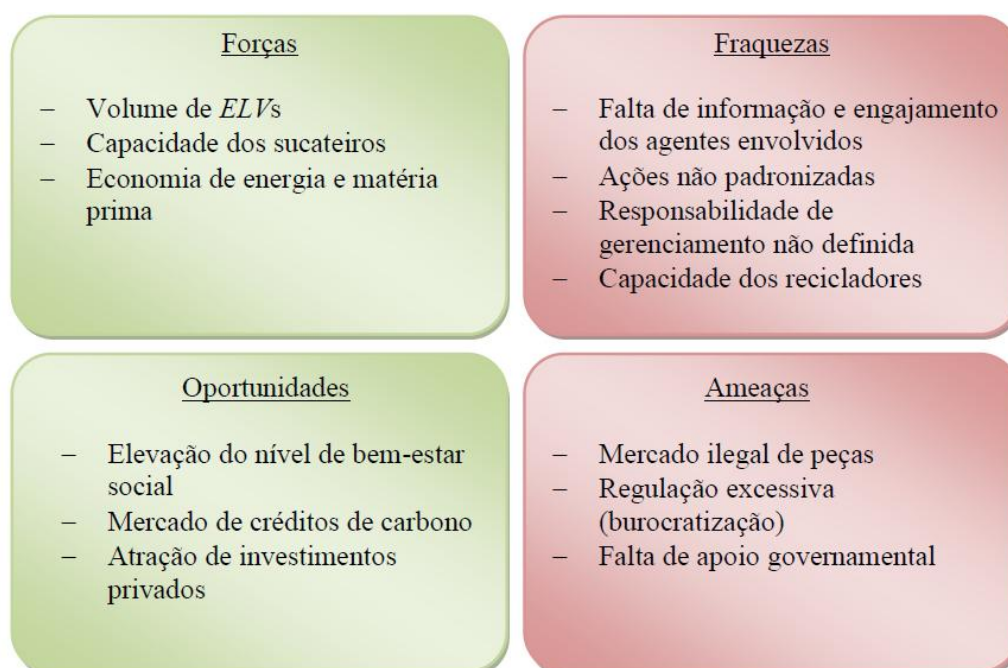


Figura 13 - Análise SWOT

Fonte: Elaboração própria

Percebe-se que os pontos fortes da estruturação deste setor estão relacionados aos benefícios socioeconômicos e ambientais que podem ser alcançados. Quanto aos pontos fracos, são destacadas, principalmente, as falhas institucionais que carecem ser corrigidas para o bom funcionamento desta estrutura.

Diante dos benefícios sociais que a implantação da logística reversa de automóveis pode gerar, são sugeridas políticas públicas que fomentem esta estruturação através do maior diálogo entre os agentes envolvidos (montadoras, desmanches, sucateiros, recicladores,

consumidores finais); da clara definição de responsabilidades desses agentes; da criação de mecanismos de atração de investimentos privados ao setor, como a utilização do mercado de créditos de carbono; da regulamentação exercida com cautela, que não incorra em excessos no campo burocrático, levando ao enrijecimento de ações.

Por fim, ficam como sugestões para pesquisas futuras: a ampliação e aplicação da modelagem proposta, considerando como alternativa para a logística reversa os desmanches e a demanda do consumidor final para peças de reuso; preço de venda dos materiais recicláveis diferentes por reciclador; diferenciação no tipo de instalação para disposição final; a mensuração da frota de *ELVs* no Brasil; a mensuração das perdas econômicas e ambientais provenientes da falta de políticas padronizadas para a destinação adequada de *ELVs* no Brasil; avaliação do impacto da Lei do Desmanche sobre os diversos setores relacionados, como o setor de autopeças, o setor de seguros e a própria indústria automotiva; pesquisa qualitativa objetivando captar a percepção do consumidor final sobre o tema, explorando a questão da responsabilidade sobre o automóvel em fim de vida útil.

REFERÊNCIAS

- AGRAWAL, S.; SINGH, R.; MURTAZA, Q. A literature review and perspectives in reverse logistics. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 97, p. 76-92, 2015.
- ALEXANDRE, J. **Empresa investe na reciclagem de veículos**. 2013. Disponível em: <http://www.ecofidelidade.com.br/noticias.aspx?msgid=186>. Acesso em: 16 set. 2015.
- AMELIA, L.; WAHAB D.; CHE – HARON, C.; MUHAMAD, N.; AZHARI, C. Initiating automotive component reuse in Malaysia. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 17, p.1572-1579, 2009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652609002121>. Acesso em: 14 fev. 2014.
- ARROW, K. Social Choice and individual values. 2th ed. New Haven: Yale University Press, 1963. 144 p.
- _____. The organization of economic activity: issues pertinent to the choice of market versus non-market allocation. In: HAVEMAN, R.H.; MARGOLIS, J. (Org.) **Public expenditures and policy analysis**. Chicago: Markham, 1970, p. 59 – 73.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). Anuário da Indústria Automobilística Brasileira, 2015. São Paulo: Centro de Documentação da Indústria Automobilística, 2015. 156 p.
- BARTHOLOMEU, D.B.; CAIXETA-FILHO, J.V. (Org.). **Logística Ambiental de Resíduos Sólidos**. São Paulo: Atlas, 2011. 264 p.
- BERGSON, A. A reformulation of certain aspects of welfare economics. **Quarterly Journal of Economics**, Cambridge, v. 52, p. 310 – 334, 1938.
- BLANAS, G.; KOUKOMIALOS, S.; KYLINDRI, S. Reverse logistics strategic antinomies: the case of the automotive sector. **Journal of Business Science and Applied Management**, United Kingdom, v. 7, p.3 – 11, 2012.
- BRASIL. Lei n.12.305, 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília. **Diário Oficial da União**, Brasília, 3 ago. 2010. Seção 1, p. 3-7.
- _____. Lei n.12.977, 20 de maio de 2014. Regula e disciplina a atividade de desmontagem de veículos automotores terrestres; altera o art. 126 da Lei no 9.503, de 23 de setembro de 1997 - Código de Trânsito Brasileiro; e dá outras providências. Brasília, 2014. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2011-2014/2014/Lei/L12977.htm. Acesso em: 03 jun. 2014

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Frota Nacional**: dezembro de 2015. Brasil, 2015. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/frota2015.htm>. Acesso em: 10 maio. 2016.

_____. Resolução 336, 31 de março de 2016. Dispõe sobre as regras e os critérios para operação do seguro popular de automóvel com permissão de utilização de peças usadas oriundas de empresas de desmontagem, conforme lei específica, para a recuperação de veículos sinistrados com cobertura securitária, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1 abr. 2016. Seção 1, p. 39.

CARDOSO, S.R.; BARBOSA-PÓVOA, A.P.F.D. ; RELVAS, S.. Design and planning of supply chains with integration of reverse logistics activities under demand uncertainty. **European Journal of Operational Research**, North - Holland, v. 226, p. 436 – 451, 2013.

COASE, R. The problem of social cost. **The journal of law and economics**, Chicago, v.3, p.1 – 44, 1960.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM (CEMPRE). Recicladores. 2015a. Disponível em: <http://cempre.org.br/servico/recicladores>. Acesso em: 04 dez. 2015.

_____. Pneus: O mercado para reciclagem. 2015b. Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id /7/pneus>. Acesso em: 04 dez. 2015.

_____. Mercado: preço do material reciclável. 2015c. Disponível em: <http://cempre.org.br/servico/mercado>. Acesso em: 04 dez. 2015.

CHE, J.; YU, J.; KEVIN, R. S. End-of-life vehicle recycling and international cooperation between Japan, China and Korea: present and future scenario analysis. **Journal of Environmental Sciences**, Los Angeles, v. 23, p. 162 – 166, 2011.

CHEN, K.; HUANG, S.; LIAN, I.. The development and prospects of the end-of-life vehicle recycling system in Taiwan. **Waste Management**, New York, v. 30, p. 1661 – 1669, 2010.

CHENG, Y. W.; CHENG, J. H. ; LIN, C.H. Operational characteristics and performance evaluation of the ELV recycling industry in Taiwan. **Resources, conservation and Recycling**, Amsterdam, v.65, p.29 – 35, 2012.

CRESWELL, J.W. **Projeto de Pesquisa**: métodos qualitativo, quantitativo e misto. Tradução de: Luciana de Oliveira da Rocha. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007. 248p.

CRUZ-RIVERA, R.; ERTEL, J.. Reverse logistics network design for the collection of End-of-Life Vehicles in Mexico. **European Journal of Operational Research**, North - Holland, v.196, p. 930 – 939, 2009.

ECOPALACE. 2015. Disponível em: <http://www.ecopalace.com.br>. Acesso em: 16 set. 2015.

EU ENVIRONMENTAL DATA CENTRE ON WASTE (EUROSTAT). End-of-life vehicle statistics. 2014. Disponível em: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/End-of-life_vehicle_statistics. Acesso em: 19 mai 2014.

EUROPEAN PARLIAMENT COUNCIL. Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of life vehicles. Official Journal of the European Communities, L269, 2000, p.34–42.

FRANCIA, L. Cefet vai abrigar primeiro centro de reciclagem veicular do Brasil. Diário do Comércio. 7 nov. 2014. Disponível em: http://diariodocomercio.com.br/noticia.php?tit=cefet_vai_abrigar_1_centro_de_reciclagem_veicular_do_brasil&id=144232. Acesso em : 16 set. 2015.

FREITAS, N. R. Gerdau e FENSEG vão reciclar mais carros [Entrevista a Guilherme Manechini]. Época Negócios. Disponível em: <http://epocanegocios.globo.com/Revista/Common/0,,ERT94309-16355,00.html>. Acesso em: 16 set. 2015.

GAMS. **Home**. 2015. Disponível em: <https://www.gams.com/index.htm>. Acesso em: 25 out. 2015.

GARFINKEL, B. [Entrevista a Boris Ber]. Programa Seguro, 2015. Disponível em: http://www.programaseguro.com.br/video/geral/15022015__entrevista_com_bruno_garfinkel_.html. Acesso em: 22 set. 2015.

GERDAU. **Reciclagem**. Disponível em: <http://www.gerdau.com/br/pt/meio-ambiente-e-responsabilidade-social/meio-ambiente/reciclagem#>. Acesso em: 23 set. 2015.

GERMANO, J. ANRAP participa de Fórum de Reciclagem Automotiva 2015. Disponível em: <http://www.anrap.org.br/site/noticias/>. Acesso em: 15 set. 2015.

GOVIDAN, G.; PALANIAPPAN, M.; ZHU, Q; KANNAN, D. Analysis of third party reverse logistics provider using interpretive structural modeling. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 140, p. 204 – 211, 2012.

HARRAZ, N; GALAL, N. M. Design of Sustainable End-of-Life Vehicle recovery network in Egypt. **Ain Shams Engineering Journal**, Amsterdam, v. 2, p.211 – 219, 2011.

KONZ, R., J. The End-of-life Vehicle (ELV) Directive: The Road to Responsible Disposal. **Minnesota. Journal of International Law.**, Minneapolis, v. 18, p. 431 – 457, 2009.

LEE, C. K. M; LAM, J. S. L. Managing reverse logistics to enhance sustainability of industrial marketing. **Industrial Marketing Management**, New York, v.41, p. 589 – 598, 2012.

MAHMOUDZADEH, M.; MANSOUR, S. ; KARIMI, B. To develop a third-party reverse logistics network for end-of-live vehicles in Iran. **Resources, Conservation and Recycling**. Amsterdam, v.78, p.1 – 14, 2013.

MOTTA, R. S. **Economia Ambiental**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006. 228 p.

OICA. **Production Statistics**. Disponível em: <http://www.oica.net/category/production-statistics/>. Acesso em: 22 set. 2015.

OLIVEIRA, C.F.; OLIVA, C.V.; PASSONI, D.C.; LORETI, J.V.C.; STEFANINI, M.P.; REIJERS, M.P., CAIXETA – FILHO, J.V. Comparativo do custo de transporte e do frete rodoviário de açúcar para exportação, originado de pólos paulistas. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v. 8, p. 99-119, 2010.

PERMAN, R.; MA, Y.; MCGILVRAY, G.; COMMON, M. **Natural Resource and Environmental Economics**. 3rd ed. Harlow: Pearson Education, 2003. 699 p.

PINTO - COELHO, R. M. Reciclagem e Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Recóleo, 2009. 321 p. Disponível em: http://www.ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/Livro_Reciclagem/website/. Acesso em: 04 dez. 2015.

RENOVA ECOPEÇAS. **Institucional**. 2015. Disponível em: <http://institucional.renovaecopecas.com.br/>. Acesso em: 22 set. 2015.

RECICLAR. **Empresa**. 2015. Disponível em: <http://www.reciclarbrasil.com.br/empresa.asp>. Acesso em: 04 dez. 2015.

RIO GRANDE DO SUL. Departamento Estadual de Trânsito. Detran/RS reciclará 3,6 mil veículos e sucatas no primeiro semestre. 2015. Disponível em: <http://www.detran.rs.gov.br/conteudo/33549/detran-rs-reciclara-3%2c6-mil-veiculos-e-sucatas-no-primeiro-semester/termosbusca=reciclagem%20ve%C3%ADculos>. Acesso em: 16 set. 2015.

ROGERS, D.S.; TIBBEN-LEMBKE, R. **Going backwards**: reverse logistics trends and practices. Reno: Reverse Logistics Executive Council, 1998. 275 p.

SAAVEDRA, Y. M. B.; BARQUET, A. P.B.; ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; OMETTO, A. R. Remanufacturing in Brazil: case studies on the automotive sector. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v.53, p. 267 – 276, 2013.

SÃO PAULO (Estado). Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados – SEADE. Anuário Estatístico do Estado de São Paulo, 2003. Disponível em: <http://produtos.seade.gov.br/produtos/anuario/index.php?anos=2003&tip=ment&opt=temas&tema=null&cap=2>. Acesso em: 10 maio 2016.

_____. Resolução SMA n.38, de 2 de agosto de 2011. Estabelece a relação de produtos geradores de resíduos de significativo impacto ambiental, para fins do disposto no artigo 19, do Decreto Estadual nº 54.645, de 05.08.2009, que regulamenta a Lei Estadual nº 12.300, de 16.03.2006, e dá providências correlatas. São Paulo, 2011. Disponível em: http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/resolucao/2011/38_020811.pdf. Acesso em: 31 jul. 2015.

_____. Lei n.15.276, de 2 de janeiro de 2014. Dispõe sobre a destinação de veículos em fim de vida útil e dá outras providências. São Paulo, 2014a. Disponível em: <http://governo->

sp.jusbrasil.com.br/legislacao/112299638/lei-15276-14-sao-paulo-sp?ref=home. Acesso em: 2 jun. 2014.

_____. Portaria Detran n.1.215, de 26 de junho de 2014. Estabelece critérios para classificação e a venda de veículo vendido em leilão público ou privado. São Paulo, 2014b. Disponível em: <http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=271858>. Acesso em: 31 jul. 2015.

_____. Resolução SMA n.45, de 23 de junho de 2015. Define as diretrizes para implementação e operacionalização da responsabilidade pós-consumo no Estado de São Paulo, e dá providências correlatas. São Paulo: 2015a. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/resolucoes-sma/resolucao-sma-45-2015/>. Acesso em: 31 jul. 2015.

_____. Departamento Estadual de Trânsito. Detran.SP anuncia nova etapa da Lei do Desmonte. São Paulo, 2015b. Fonte: http://www.detran.sp.gov.br/wps/portal/portaldetran/cidadao/noticias/detalhes/4c1b5f87-940b-4ed6-85a7-48e976ff0f03!/ut/p/b1/tdHbaoNAEAbgZ8kLOLOu666Xm9h6yKqNp0RvgjZFNDEpJdTGP6-VQqGld-0MDAz88MEMIFD ojBqUMG7BDspz9do21bW9nKvTx16ae2pgYi2JRM FsiVLQTRQ59yRKCGyh8KZRzrm VII2DK0ShHIAedLPY2ICKG-MzgL-URCimAP-0PbsSeJrXT GP4FqHFHZo7JPu9uyN xzHuxtgpj8MtrYOB8AyD rEvC7BQGh4gEd4hk 3L4IKsMQryrAZgzC-uGQx9IS2quB5uoH6K d0BnOiJMXI_G_w2y11_HPQh7Kte2147D XUGEdGTItaAplAa_qcD6F76Z-gL1_MWJC 5abNYvAMDCG1E/dl4/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/. Acesso em: 31 jul. 2015.

_____. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Regiões Administrativas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2016a. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/cenarios/linha-do-tempo/atualidade.html>. Acesso em: 09 maio 2016.

_____. Departamento Estadual de Trânsito. Leilões de veículos apreendidos. São Paulo, 2016b. Disponível em: http://www.detran.sp.gov.br/wps/portal/portaldetran/detran/legislacao/leiloes/a050bb2e-1183-4992-9fca-1c8938c4215e!/ut/p/b1/vcLcoIwGAXgZ_EBak5CgLCMJVysokZEY ONodRywqOMwdfTpi5cuurBuOk1W_8yX_5yQnGQMgsO2LJCU5Nv5Z7Ge18VuO_-4zLk1 MzjGTodKCB0JyIE_7AohGIYgU5K5jcp-KJV4kEibHIWDZrf1bMn9vfkNmLwAZWnlMfiC PS-RX8mrLwNu9wDR802EMphoZ2QYGPE7wIMjcQe_eEGHpfMGmA_ qsk8k8QkBZ-Ny 9M-PG_OusQRfTcJx2X3jcYT1K47jRY-oqgZVT2gbtKvDxL1Zs36cYh4mQ6XiZ50pLTNf ameBdr_HJjwPw_skrxYVO3je9VGu8mlnFLOHAeOwU2LTBWJgl21IIV-OBUvGx2c0-tdyVbrCzWtQgE!/dl4/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/. Acesso em: 09 maio 2016

SCHULTMANN, F.; ZUMKELLER, M.; RENTZ, O. Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: an example from the automotive industry. **European Journal of Operational Research**, North – Holland, v.171, p. 1033 – 1050, 2006.

SINDICATO DAS EMPRESAS DE SUCATAS DE FERRO E AÇO. **Painel de indicadores setoriais para o comércio atacadista de sucata ferrosa**. São Paulo, 2014. 58 p.

SILBERBERG, E. **The structure of economics: a mathematical analysis**. 2nd ed. [s.l]: MacGraw-Hill, 1990. 686p.

STAUDINGER, J.; KEOLEIAN, G.A. **Management of end-of-life vehicles (ELVs) in the US**. Ann Arbor: Centre for Sustainable University of Michigan Reports, 2001. 58 p.

STEEL RECYCLING INSTITUTE. Disponível em: <http://www.recycle-steel.org/en/Steel%20Markets/Automotive.aspx>. Acesso em: 25 maio 2014.

STOLKA, O. S. The development of green logistics for implementation sustainable development strategy in companies. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, New York, v. 151, p. 302 – 309, 2014.

SUPERINTENDÊNCIA DE SEGUROS PRIVADOS (SUSEP). AUTOSEG: Sistema de Estatísticas de Automóveis da SUSEP. Disponível em: <http://www2.susep.gov.br/menuestatistica/Autoseg/menu2.aspx>. Acesso em: 04 dez. 2015.

TIETENBERG, T.; LEWIS, L. **Environmental & natural resource economics**. 9th ed. New Jersey: Pearson Education, 2012. 666 p.

TOTAL PET. Empresa. 2015. Disponível em: <http://www.totalpet.ind.br/?pg=1>. Acesso em: 04 dez. 2015.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2014. Disponível em: http://www.epa.gov/oswer/international/factsheets/200811_elv_directive.htm. Acesso em: 25 maio 2014.

VARIAN, H.,R. **Microeconomic Analysis**. 3rd ed. New York: W. W. Norton & Company, 1992. 506 p.

VARIAN, H.,R. A solution to the problem of externalities when agents are well – informed. **The American Economic Review**, Nashville, v.84, p. 1278 – 1293, 1994.

VARIAN, H., R. **Microeconomia: uma abordagem moderna**. Tradução de: Elfio Ricardo Doninelli e Regina Célia Simille de Macedo. 8th ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 821p.

WANG, L.; CHEN, M. Policies and perspective on end-of-life vehicles in China. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v.44, p.168 – 176, 2013.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Comandos utilizados no software GAMS para o cenário 1

SETS

I origem dos elvs

J localização dos sucateiros

K localização dos recicladores

L localização dos centros de disposição

T tipo de material reciclável;

Scalar Ps preço de compra do elv pelo sucateiro /100/;

Scalar a percentual de resíduos /0.08/;

scalar b percentual de metais /0.7/;

scalar rc redução da produção de co2 por tonelada reciclada /3.7/;

scalar re redução do consumo de energia elétrica por tonelada /0.16/;

Parameter bt(T) percentual de cada tipo de material;

Parameter PR(J,K,T) preço de venda para o reciclador do material t;

Parameter F(I,J) custo de frete do transporte das sucatas da origem até os sucateiros por tonelada;

Parameter CD(J,L) custo de disposição de resíduos por tonelada;

Parameter Cr(K,T) capacidade do reciclador localizado em k do material t em toneladas ;

Parameter Cs(J) capacidade do sucateiro localizado em j em toneladas;

Parameter Ce(L) capacidade do centro de disposição localizado em l em toneladas;

Parameter ELV(I) máximo disponível de elvs em cada localidade i ;


```

$CALL GDXXRW.EXE dados_entrada.xlsx Index=PLAN1!a1
$GDXIN dados_entrada.gdx
$LOAD I J K L T bt PR F CD Cr Cs Ce ELV
$GDXIN

```

Variables

$X(I,J)$ número de elvs transportados da origem i para os sucateiros localizados em j
 $XR(J,K,T)$ parcela do elv destinada para reciclagem do material t
 $E(J,L)$ parcela do carro transformada em resíduo enviada para o centro de disposição l
 CUST(J)
 CUSTD(J)
 CELV
 RERE
 RECO
 REN
 Z função objetivo
 ;

```

POSITIVE VARIABLE X(I,J), XR(J,K,T),E(J,L);

```

Equations

OBJETIVO
 OFERTA(I) equação de oferta de elvs
 CAPSUC(J) capacidade dos sucateiros
 EQU1(J,T) equação de equilíbrio entre sucateiros e recicladores
 CAPREC(K,T) capacidade dos recicladores
 EQU2(J) equação de equilíbrio entre sucateiros e dispositores
 CAPDI(L) capacidade dos centros de disposição
 CUSTOFRET(J)
 CUSTODISP(J)
 CUSTELV
 RECREC
 REDCO

REDEN

;

OBJETIVO.. $Z = e = \sum ((J,K,T), PR(J,K,T)*XR(J,K,T)) + \sum ((I,J), rc*X(I,J)) + \sum ((I,J), re*X(I,J)*b) - \sum ((I,J), PS*X(I,J)) - \sum ((I,J), F(I,J)*X(I,J)) - \sum((J,L), E(J,L)*CD(J,L))$;

OFERTA(I).. $\sum((J), X(I,J)) = l = ELV(I)$;

CAPSUC(J).. $\sum((I), X(I,J)) = l = Cs(J)$;

EQU1(J,T).. $\sum ((I), X(I,J)*bt(T)) = e = \sum ((K), XR(J,K,T))$;

CAPREC(K,T).. $\sum((J), XR(J,K,T)) = l = Cr(K,T)$;

EQU2(J).. $\sum((I), X(I,J))*a = e = \sum ((L), E(J,L))$;

CAPDI(L).. $\sum ((J), E(J,L)) = l = Ce(L)$;

CUSTOFRET(J).. $CUST(J) = e = \sum ((I), F(I,J)*X(I,J))$;

CUSTODISP(J).. $CUSTD(J) = e = \sum((L), E(J,L)*CD(J,L))$;

CUSTELV.. $CELV = e = \sum ((I,J), PS*X(I,J))$;

RECREC.. $RERE = e = \sum((J,K,T), PR(J,K,T)*XR(J,K,T))$;

REDCO.. $RECO = e = \sum ((I,J), rc*X(I,J))$;

REDEN.. $REN = e = \sum ((I,J), re*X(I,J)*b)$;

MODEL LOGREV /ALL/;

OPTION RESLIM = 10000000;

OPTION ITERLIM = 10000000;

OPTION LIMROW=0;

OPTION LIMCOL=0;

\$OFFLISTING;

LOGREV.workspace = 100000;

SOLVE LOGREV USING LP MAXIMIZING Z;

DISPLAY X.L,X.M,XR.L,XR.M,E.L,E.M,Z.L,Z.M,CUST.L,
CUSTD.L,CELV.L,RERE.L,RECO.L,REN.L ;

execute_unload "resultados.gdx", X XR E Z;

```
execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx  
O=C:\Users\User\Documents\gammdir\projdir\logrev_base.xls var=X rng=x!A1:ZZ640000  
rdim=1 cdim=1';
```

```
execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx  
O=C:\Users\User\Documents\gammdir\projdir\logrev_base.xls var=XR rng=r!A1:ZZ640000  
rdim=2 cdim=1';
```

```
execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx  
O=C:\Users\User\Documents\gammdir\projdir\logrev_base.xls var=E rng=e!A1:ZZ640000  
rdim=1 cdim=1';
```

```
execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx  
O=C:\Users\User\Documents\gammdir\projdir\logrev_base.xls var=Z rng=z!A1';
```

ANEXOS

ANEXO A – Modelo do questionário aplicado

Questionário

Tese: Logística Reversa no setor automobilístico brasileiro: uma aplicação para o estado de São Paulo

Pesquisadora: Nadja N. L. Heiderich

Questionário: () desmanches () oficinas () empresas de reciclagem/recauchutagem () autopeças

Pesquisado: _____ Tel: _____

- 1) Como o seu ramo de negócios tem evoluído nos últimos anos? E qual a perspectiva para o futuro?

- 2) Como a lei do desmanche de veículos é vista ou impacta o seu ramo de negócios?

- 3) Se o governo exigir o reuso de peças automotivas ou reciclagem de automóveis, que por algum motivo não podem mais circular, em sua opinião, como o seu ramo de negócios seria afetado? Há alguma ação sendo realizada por este estabelecimento neste sentido? Você poderia apontar potenciais possibilidades e barreiras existentes quanto ao reuso e/ou reciclagem de automóveis/peças automotivas?

- 4) Qual o perfil do consumidor brasileiro? Você teria ideia da percepção dos mesmos em relação ao uso de peças usadas em veículos novos de fábrica?

Se quiser contribuir com informações adicionais sobre reuso e/ou reciclagem de automóveis/peças:

Muito Obrigada!!

ANEXO B – Preço de venda dos materiais recicláveis

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

(continua)

Origem	Destino	Material	Preço Descontado
Registro	Santos	pneu	402,30
Registro	Santos	metal	402,30
Registro	Santos	vidro	183,30
Registro	Santos	plástico	402,30
Registro	São José dos Campos	pneu	377,38
Registro	São José dos Campos	metal	377,38
Registro	São José dos Campos	vidro	158,38
Registro	São José dos Campos	plástico	377,38
Registro	Sorocaba	pneu	408,04
Registro	Sorocaba	metal	408,04
Registro	Sorocaba	vidro	189,04
Registro	Sorocaba	plástico	408,04
Registro	Campinas	pneu	382,99
Registro	Campinas	metal	382,99
Registro	Campinas	vidro	163,99
Registro	Campinas	plástico	382,99
Registro	Ribeirão Preto	pneu	328,83
Registro	Ribeirão Preto	metal	328,83
Registro	Ribeirão Preto	vidro	109,83
Registro	Ribeirão Preto	plástico	328,83
Registro	Bauru	pneu	353,66
Registro	Bauru	metal	353,66
Registro	Bauru	vidro	134,66
Registro	Bauru	plástico	353,66
Registro	São José do Rio Preto	pneu	298,52
Registro	São José do Rio Preto	metal	298,52
Registro	São José do Rio Preto	vidro	79,52
Registro	São José do Rio Preto	plástico	298,52
Registro	Araçatuba	pneu	306,85
Registro	Araçatuba	metal	306,85
Registro	Araçatuba	vidro	87,85
Registro	Araçatuba	plástico	306,85

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

			(continuação)
Origem	Destino	Material	Preço Descontado
Registro	Presidente Prudente	pneu	314,77
Registro	Presidente Prudente	metal	314,77
Registro	Presidente Prudente	vidro	95,77
Registro	Presidente Prudente	plástico	314,77
Registro	Marília	pneu	325,88
Registro	Marília	metal	325,88
Registro	Marília	vidro	106,88
Registro	Marília	plástico	325,88
Registro	Central	pneu	338,34
Registro	Central	metal	338,34
Registro	Central	vidro	119,34
Registro	Central	plástico	338,34
Registro	Barretos	pneu	299,58
Registro	Barretos	metal	299,58
Registro	Barretos	vidro	80,58
Registro	Barretos	plástico	299,58
Registro	Franca	pneu	312,55
Registro	Franca	metal	312,55
Registro	Franca	vidro	93,55
Registro	Franca	plástico	312,55
Registro	São Paulo	pneu	400,21
Registro	São Paulo	metal	400,21
Registro	São Paulo	vidro	181,21
Registro	São Paulo	plástico	400,21
Santos	Santos	pneu	446,79
Santos	Santos	metal	446,79
Santos	Santos	vidro	227,79
Santos	Santos	plástico	446,79
Santos	São José dos Campos	pneu	409,41
Santos	São José dos Campos	metal	409,41
Santos	São José dos Campos	vidro	190,41
Santos	São José dos Campos	plástico	409,41
Santos	Sorocaba	pneu	401,62
Santos	Sorocaba	metal	401,62
Santos	Sorocaba	vidro	182,62
Santos	Sorocaba	plástico	401,62
Santos	Campinas	pneu	400,63
Santos	Campinas	metal	400,63

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

(continuação)

Origem	Destino	Material	Preço Descontado
Santos	Campinas	vidro	181,63
Santos	Campinas	plástico	400,63
Santos	Ribeirão Preto	pneu	346,47
Santos	Ribeirão Preto	metal	346,47
Santos	Ribeirão Preto	vidro	127,47
Santos	Ribeirão Preto	plástico	346,47
Santos	Bauru	pneu	345,69
Santos	Bauru	metal	345,69
Santos	Bauru	vidro	126,69
Santos	Bauru	plástico	345,69
Santos	São José do Rio Preto	pneu	316,15
Santos	São José do Rio Preto	metal	316,15
Santos	São José do Rio Preto	vidro	97,15
Santos	São José do Rio Preto	plástico	316,15
Santos	Araçatuba	pneu	298,89
Santos	Araçatuba	metal	298,89
Santos	Araçatuba	vidro	79,89
Santos	Araçatuba	plástico	298,89
Santos	Presidente Prudente	pneu	289,97
Santos	Presidente Prudente	metal	289,97
Santos	Presidente Prudente	vidro	70,97
Santos	Presidente Prudente	plástico	289,97
Santos	Marília	pneu	317,92
Santos	Marília	metal	317,92
Santos	Marília	vidro	98,92
Santos	Marília	plástico	317,92
Santos	Central	pneu	355,97
Santos	Central	metal	355,97
Santos	Central	vidro	136,97
Santos	Central	plástico	355,97
Santos	Barretos	pneu	317,21
Santos	Barretos	metal	317,21
Santos	Barretos	vidro	98,21
Santos	Barretos	plástico	317,21
Santos	Franca	pneu	330,19
Santos	Franca	metal	330,19

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

(continuação)

Origem	Destino	Material	Preço Descontado
Santos	Franca	vidro	111,19
Santos	Franca	plástico	330,19
Santos	São Paulo	pneu	429,09
Santos	São Paulo	metal	429,09
Santos	São Paulo	vidro	210,09
Santos	São Paulo	plástico	429,09
São José dos Campos	Santos	pneu	406,76
São José dos Campos	Santos	metal	406,76
São José dos Campos	Santos	vidro	187,76
São José dos Campos	Santos	plástico	406,76
São José dos Campos	São José dos Campos	pneu	446,79
São José dos Campos	São José dos Campos	metal	446,79
São José dos Campos	São José dos Campos	vidro	227,79
São José dos Campos	São José dos Campos	plástico	446,79
São José dos Campos	Sorocaba	pneu	402,44
São José dos Campos	Sorocaba	metal	402,44
São José dos Campos	Sorocaba	vidro	183,44
São José dos Campos	Sorocaba	plástico	402,44
São José dos Campos	Campinas	pneu	410,71
São José dos Campos	Campinas	metal	410,71
São José dos Campos	Campinas	vidro	191,71
São José dos Campos	Campinas	plástico	410,71
São José dos Campos	Ribeirão Preto	pneu	356,17
São José dos Campos	Ribeirão Preto	metal	356,17
São José dos Campos	Ribeirão Preto	vidro	137,17
São José dos Campos	Ribeirão Preto	plástico	356,17
São José dos Campos	Bauru	pneu	346,52
São José dos Campos	Bauru	metal	346,52
São José dos Campos	Bauru	vidro	127,52
São José dos Campos	Bauru	plástico	346,52
São José dos Campos	São José do Rio Preto	pneu	325,85
São José dos Campos	São José do Rio Preto	metal	325,85
São José dos Campos	São José do Rio Preto	vidro	106,85
São José dos Campos	São José do Rio Preto	plástico	325,85
São José dos Campos	Araçatuba	pneu	299,71
São José dos Campos	Araçatuba	metal	299,71
São José dos Campos	Araçatuba	vidro	80,71
São José dos Campos	Araçatuba	plástico	299,71

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

(continuação)

Origem	Destino	Material	Preço Descontado
São José dos Campos	Presidente Prudente	pneu	290,79
São José dos Campos	Presidente Prudente	metal	290,79
São José dos Campos	Presidente Prudente	vidro	71,79
São José dos Campos	Presidente Prudente	plástico	290,79
São José dos Campos	Marília	pneu	318,74
São José dos Campos	Marília	metal	318,74
São José dos Campos	Marília	vidro	99,74
São José dos Campos	Marília	plástico	318,74
São José dos Campos	Central	pneu	365,68
São José dos Campos	Central	metal	365,68
São José dos Campos	Central	vidro	146,68
São José dos Campos	Central	plástico	365,68
São José dos Campos	Barretos	pneu	326,92
São José dos Campos	Barretos	metal	326,92
São José dos Campos	Barretos	vidro	107,92
São José dos Campos	Barretos	plástico	326,92
São José dos Campos	Franca	pneu	339,89
São José dos Campos	Franca	metal	339,89
São José dos Campos	Franca	vidro	120,89
São José dos Campos	Franca	plástico	339,89
São José dos Campos	São Paulo	pneu	425,03
São José dos Campos	São Paulo	metal	425,03
São José dos Campos	São Paulo	vidro	206,03
São José dos Campos	São Paulo	plástico	425,03
Sorocaba	Santos	pneu	402,04
Sorocaba	Santos	metal	402,04
Sorocaba	Santos	vidro	183,04
Sorocaba	Santos	plástico	402,04
Sorocaba	São José dos Campos	pneu	402,63
Sorocaba	São José dos Campos	metal	402,63
Sorocaba	São José dos Campos	vidro	183,63
Sorocaba	São José dos Campos	plástico	402,63
Sorocaba	Sorocaba	pneu	446,79
Sorocaba	Sorocaba	metal	446,79
Sorocaba	Sorocaba	vidro	227,79
Sorocaba	Sorocaba	plástico	446,79

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

			(continuação)
Origem	Destino	Material	Preço Descontado
Sorocaba	Campinas	pneu	425,91
Sorocaba	Campinas	metal	425,91
Sorocaba	Campinas	vidro	206,91
Sorocaba	Campinas	plástico	425,91
Sorocaba	Ribeirão Preto	pneu	373,91
Sorocaba	Ribeirão Preto	metal	373,91
Sorocaba	Ribeirão Preto	vidro	154,91
Sorocaba	Ribeirão Preto	plástico	373,91
Sorocaba	Bauru	pneu	381,83
Sorocaba	Bauru	metal	381,83
Sorocaba	Bauru	vidro	162,83
Sorocaba	Bauru	plástico	381,83
Sorocaba	São José do Rio Preto	pneu	347,40
Sorocaba	São José do Rio Preto	metal	347,40
Sorocaba	São José do Rio Preto	vidro	128,40
Sorocaba	São José do Rio Preto	plástico	347,40
Sorocaba	Araçatuba	pneu	335,03
Sorocaba	Araçatuba	metal	335,03
Sorocaba	Araçatuba	vidro	116,03
Sorocaba	Araçatuba	plástico	335,03
Sorocaba	Presidente Prudente	pneu	326,11
Sorocaba	Presidente Prudente	metal	326,11
Sorocaba	Presidente Prudente	vidro	107,11
Sorocaba	Presidente Prudente	plástico	326,11
Sorocaba	Marília	pneu	354,06
Sorocaba	Marília	metal	354,06
Sorocaba	Marília	vidro	135,06
Sorocaba	Marília	plástico	354,06
Sorocaba	Central	pneu	387,23
Sorocaba	Central	metal	387,23
Sorocaba	Central	vidro	168,23
Sorocaba	Central	plástico	387,23
Sorocaba	Barretos	pneu	348,47
Sorocaba	Barretos	metal	348,47
Sorocaba	Barretos	vidro	129,47
Sorocaba	Barretos	plástico	348,47
Sorocaba	Franca	pneu	357,63
Sorocaba	Franca	metal	357,63

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

(continuação)

Origem	Destino	Material	Preço Descontado
Sorocaba	Franca	vidro	138,63
Sorocaba	Franca	plástico	357,63
Sorocaba	São Paulo	pneu	422,16
Sorocaba	São Paulo	metal	422,16
Sorocaba	São Paulo	vidro	203,16
Sorocaba	São Paulo	plástico	422,16
Campinas	Santos	pneu	399,73
Campinas	Santos	metal	399,73
Campinas	Santos	vidro	180,73
Campinas	Santos	plástico	399,73
Campinas	São José dos Campos	pneu	410,74
Campinas	São José dos Campos	metal	410,74
Campinas	São José dos Campos	vidro	191,74
Campinas	São José dos Campos	plástico	410,74
Campinas	Sorocaba	pneu	426,00
Campinas	Sorocaba	metal	426,00
Campinas	Sorocaba	vidro	207,00
Campinas	Sorocaba	plástico	426,00
Campinas	Campinas	pneu	446,79
Campinas	Campinas	metal	446,79
Campinas	Campinas	vidro	227,79
Campinas	Campinas	plástico	446,79
Campinas	Ribeirão Preto	pneu	392,25
Campinas	Ribeirão Preto	metal	392,25
Campinas	Ribeirão Preto	vidro	173,25
Campinas	Ribeirão Preto	plástico	392,25
Campinas	Bauru	pneu	383,43
Campinas	Bauru	metal	383,43
Campinas	Bauru	vidro	164,43
Campinas	Bauru	plástico	383,43
Campinas	São José do Rio Preto	pneu	361,93
Campinas	São José do Rio Preto	metal	361,93
Campinas	São José do Rio Preto	vidro	142,93
Campinas	São José do Rio Preto	plástico	361,93
Campinas	Araçatuba	pneu	335,00
Campinas	Araçatuba	metal	335,00

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

			(continuação)
Origem	Destino	Material	Preço Descontado
Campinas	Araçatuba	vidro	116,00
Campinas	Araçatuba	plástico	335,00
Campinas	Presidente Prudente	pneu	314,37
Campinas	Presidente Prudente	metal	314,37
Campinas	Presidente Prudente	vidro	95,37
Campinas	Presidente Prudente	plástico	314,37
Campinas	Marília	pneu	356,01
Campinas	Marília	metal	356,01
Campinas	Marília	vidro	137,01
Campinas	Marília	plástico	356,01
Campinas	Central	pneu	401,76
Campinas	Central	metal	401,76
Campinas	Central	vidro	182,76
Campinas	Central	plástico	401,76
Campinas	Barretos	pneu	363,00
Campinas	Barretos	metal	363,00
Campinas	Barretos	vidro	144,00
Campinas	Barretos	plástico	363,00
Campinas	Franca	pneu	375,97
Campinas	Franca	metal	375,97
Campinas	Franca	vidro	156,97
Campinas	Franca	plástico	375,97
Campinas	São Paulo	pneu	422,74
Campinas	São Paulo	metal	422,74
Campinas	São Paulo	vidro	203,74
Campinas	São Paulo	plástico	422,74
Ribeirão Preto	Santos	pneu	346,86
Ribeirão Preto	Santos	metal	346,86
Ribeirão Preto	Santos	vidro	127,86
Ribeirão Preto	Santos	plástico	346,86
Ribeirão Preto	São José dos Campos	pneu	356,22
Ribeirão Preto	São José dos Campos	metal	356,22
Ribeirão Preto	São José dos Campos	vidro	137,22
Ribeirão Preto	São José dos Campos	plástico	356,22
Ribeirão Preto	Sorocaba	pneu	373,97
Ribeirão Preto	Sorocaba	metal	373,97
Ribeirão Preto	Sorocaba	vidro	154,97
Ribeirão Preto	Sorocaba	plástico	373,97

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

(continuação)

Origem	Destino	Material	Preço Descontado
Ribeirão Preto	Campinas	pneu	392,43
Ribeirão Preto	Campinas	metal	392,43
Ribeirão Preto	Campinas	vidro	173,43
Ribeirão Preto	Campinas	plástico	392,43
Ribeirão Preto	Ribeirão Preto	pneu	446,79
Ribeirão Preto	Ribeirão Preto	metal	446,79
Ribeirão Preto	Ribeirão Preto	vidro	227,79
Ribeirão Preto	Ribeirão Preto	plástico	446,79
Ribeirão Preto	Bauru	pneu	395,43
Ribeirão Preto	Bauru	metal	395,43
Ribeirão Preto	Bauru	vidro	176,43
Ribeirão Preto	Bauru	plástico	395,43
Ribeirão Preto	São José do Rio Preto	pneu	401,45
Ribeirão Preto	São José do Rio Preto	metal	401,45
Ribeirão Preto	São José do Rio Preto	vidro	182,45
Ribeirão Preto	São José do Rio Preto	plástico	401,45
Ribeirão Preto	Araçatuba	pneu	366,78
Ribeirão Preto	Araçatuba	metal	366,78
Ribeirão Preto	Araçatuba	vidro	147,78
Ribeirão Preto	Araçatuba	plástico	366,78
Ribeirão Preto	Presidente Prudente	pneu	338,18
Ribeirão Preto	Presidente Prudente	metal	338,18
Ribeirão Preto	Presidente Prudente	vidro	119,18
Ribeirão Preto	Presidente Prudente	plástico	338,18
Ribeirão Preto	Marília	pneu	380,98
Ribeirão Preto	Marília	metal	380,98
Ribeirão Preto	Marília	vidro	161,98
Ribeirão Preto	Marília	plástico	380,98
Ribeirão Preto	Central	pneu	425,21
Ribeirão Preto	Central	metal	425,21
Ribeirão Preto	Central	vidro	206,21
Ribeirão Preto	Central	plástico	425,21
Ribeirão Preto	Barretos	pneu	416,92
Ribeirão Preto	Barretos	metal	416,92
Ribeirão Preto	Barretos	vidro	197,92
Ribeirão Preto	Barretos	plástico	416,92

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

			(continuação)
Origem	Destino	Material	Preço Descontado
Ribeirão Preto	Franca	pneu	428,97
Ribeirão Preto	Franca	metal	428,97
Ribeirão Preto	Franca	vidro	209,97
Ribeirão Preto	Franca	plástico	428,97
Ribeirão Preto	São Paulo	pneu	369,88
Ribeirão Preto	São Paulo	metal	369,88
Ribeirão Preto	São Paulo	vidro	150,88
Ribeirão Preto	São Paulo	plástico	369,88
Bauru	Santos	pneu	346,23
Bauru	Santos	metal	346,23
Bauru	Santos	vidro	127,23
Bauru	Santos	plástico	346,23
Bauru	São José dos Campos	pneu	346,82
Bauru	São José dos Campos	metal	346,82
Bauru	São José dos Campos	vidro	127,82
Bauru	São José dos Campos	plástico	346,82
Bauru	Sorocaba	pneu	386,44
Bauru	Sorocaba	metal	386,44
Bauru	Sorocaba	vidro	167,44
Bauru	Sorocaba	plástico	386,44
Bauru	Campinas	pneu	383,72
Bauru	Campinas	metal	383,72
Bauru	Campinas	vidro	164,72
Bauru	Campinas	plástico	383,72
Bauru	Ribeirão Preto	pneu	394,36
Bauru	Ribeirão Preto	metal	394,36
Bauru	Ribeirão Preto	vidro	175,36
Bauru	Ribeirão Preto	plástico	394,36
Bauru	Bauru	pneu	446,79
Bauru	Bauru	metal	446,79
Bauru	Bauru	vidro	227,79
Bauru	Bauru	plástico	446,79
Bauru	São José do Rio Preto	pneu	394,94
Bauru	São José do Rio Preto	metal	394,94
Bauru	São José do Rio Preto	vidro	175,94
Bauru	São José do Rio Preto	plástico	394,94
Bauru	Araçatuba	pneu	399,10
Bauru	Araçatuba	metal	399,10

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

(continuação)

Origem	Destino	Material	Preço Descontado
Bauru	Araçatuba	vidro	180,10
Bauru	Araçatuba	plástico	399,10
Bauru	Presidente Prudente	pneu	378,72
Bauru	Presidente Prudente	metal	378,72
Bauru	Presidente Prudente	vidro	159,72
Bauru	Presidente Prudente	plástico	378,72
Bauru	Marília	pneu	420,70
Bauru	Marília	metal	420,70
Bauru	Marília	vidro	201,70
Bauru	Marília	plástico	420,70
Bauru	Central	pneu	415,58
Bauru	Central	metal	415,58
Bauru	Central	vidro	196,58
Bauru	Central	plástico	415,58
Bauru	Barretos	pneu	384,09
Bauru	Barretos	metal	384,09
Bauru	Barretos	vidro	165,09
Bauru	Barretos	plástico	384,09
Bauru	Franca	pneu	378,10
Bauru	Franca	metal	378,10
Bauru	Franca	vidro	159,10
Bauru	Franca	plástico	378,10
Bauru	São Paulo	pneu	366,36
Bauru	São Paulo	metal	366,36
Bauru	São Paulo	vidro	147,36
Bauru	São Paulo	plástico	366,36
São José do Rio Preto	Santos	pneu	316,55
São José do Rio Preto	Santos	metal	316,55
São José do Rio Preto	Santos	vidro	97,55
São José do Rio Preto	Santos	plástico	316,55
São José do Rio Preto	São José dos Campos	pneu	325,90
São José do Rio Preto	São José dos Campos	metal	325,90
São José do Rio Preto	São José dos Campos	vidro	106,90
São José do Rio Preto	São José dos Campos	plástico	325,90
São José do Rio Preto	Sorocaba	pneu	347,54
São José do Rio Preto	Sorocaba	metal	347,54

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

			(continuação)
Origem	Destino	Material	Preço Descontado
São José do Rio Preto	Sorocaba	vidro	128,54
São José do Rio Preto	Sorocaba	plástico	347,54
São José do Rio Preto	Campinas	pneu	362,11
São José do Rio Preto	Campinas	metal	362,11
São José do Rio Preto	Campinas	vidro	143,11
São José do Rio Preto	Campinas	plástico	362,11
São José do Rio Preto	Ribeirão Preto	pneu	401,75
São José do Rio Preto	Ribeirão Preto	metal	401,75
São José do Rio Preto	Ribeirão Preto	vidro	182,75
São José do Rio Preto	Ribeirão Preto	plástico	401,75
São José do Rio Preto	Bauru	pneu	395,29
São José do Rio Preto	Bauru	metal	395,29
São José do Rio Preto	Bauru	vidro	176,29
São José do Rio Preto	Bauru	plástico	395,29
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	pneu	446,79
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	metal	446,79
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	vidro	227,79
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	plástico	446,79
São José do Rio Preto	Araçatuba	pneu	408,46
São José do Rio Preto	Araçatuba	metal	408,46
São José do Rio Preto	Araçatuba	vidro	189,46
São José do Rio Preto	Araçatuba	plástico	408,46
São José do Rio Preto	Presidente Prudente	pneu	379,97
São José do Rio Preto	Presidente Prudente	metal	379,97
São José do Rio Preto	Presidente Prudente	vidro	160,97
São José do Rio Preto	Presidente Prudente	plástico	379,97
São José do Rio Preto	Marília	pneu	400,79
São José do Rio Preto	Marília	metal	400,79
São José do Rio Preto	Marília	vidro	181,79
São José do Rio Preto	Marília	plástico	400,79
São José do Rio Preto	Central	pneu	405,77
São José do Rio Preto	Central	metal	405,77
São José do Rio Preto	Central	vidro	186,77
São José do Rio Preto	Central	plástico	405,77
São José do Rio Preto	Barretos	pneu	424,45
São José do Rio Preto	Barretos	metal	424,45
São José do Rio Preto	Barretos	vidro	205,45
São José do Rio Preto	Barretos	plástico	424,45

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

(continuação)

Origem	Destino	Material	Preço Descontado
São José do Rio Preto	Franca	pneu	403,14
São José do Rio Preto	Franca	metal	403,14
São José do Rio Preto	Franca	vidro	184,14
São José do Rio Preto	Franca	plástico	403,14
São José do Rio Preto	São Paulo	pneu	339,56
São José do Rio Preto	São Paulo	metal	339,56
São José do Rio Preto	São Paulo	vidro	120,56
São José do Rio Preto	São Paulo	plástico	339,56
Araçatuba	Santos	pneu	299,00
Araçatuba	Santos	metal	299,00
Araçatuba	Santos	vidro	80,00
Araçatuba	Santos	plástico	299,00
Araçatuba	São José dos Campos	pneu	299,59
Araçatuba	São José dos Campos	metal	299,59
Araçatuba	São José dos Campos	vidro	80,59
Araçatuba	São José dos Campos	plástico	299,59
Araçatuba	Sorocaba	pneu	339,21
Araçatuba	Sorocaba	metal	339,21
Araçatuba	Sorocaba	vidro	120,21
Araçatuba	Sorocaba	plástico	339,21
Araçatuba	Campinas	pneu	335,18
Araçatuba	Campinas	metal	335,18
Araçatuba	Campinas	vidro	116,18
Araçatuba	Campinas	plástico	335,18
Araçatuba	Ribeirão Preto	pneu	366,58
Araçatuba	Ribeirão Preto	metal	366,58
Araçatuba	Ribeirão Preto	vidro	147,58
Araçatuba	Ribeirão Preto	plástico	366,58
Araçatuba	Bauru	pneu	399,26
Araçatuba	Bauru	metal	399,26
Araçatuba	Bauru	vidro	180,26
Araçatuba	Bauru	plástico	399,26
Araçatuba	São José do Rio Preto	pneu	408,33
Araçatuba	São José do Rio Preto	metal	408,33
Araçatuba	São José do Rio Preto	vidro	189,33
Araçatuba	São José do Rio Preto	plástico	408,33

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

			(continuação)
Origem	Destino	Material	Preço Descontado
Araçatuba	Araçatuba	pneu	446,79
Araçatuba	Araçatuba	metal	446,79
Araçatuba	Araçatuba	vidro	227,79
Araçatuba	Araçatuba	plástico	446,79
Araçatuba	Presidente Prudente	pneu	404,78
Araçatuba	Presidente Prudente	metal	404,78
Araçatuba	Presidente Prudente	vidro	185,78
Araçatuba	Presidente Prudente	plástico	404,78
Araçatuba	Marília	pneu	407,79
Araçatuba	Marília	metal	407,79
Araçatuba	Marília	vidro	188,79
Araçatuba	Marília	plástico	407,79
Araçatuba	Central	pneu	375,37
Araçatuba	Central	metal	375,37
Araçatuba	Central	vidro	156,37
Araçatuba	Central	plástico	375,37
Araçatuba	Barretos	pneu	386,79
Araçatuba	Barretos	metal	386,79
Araçatuba	Barretos	vidro	167,79
Araçatuba	Barretos	plástico	386,79
Araçatuba	Franca	pneu	365,48
Araçatuba	Franca	metal	365,48
Araçatuba	Franca	vidro	146,48
Araçatuba	Franca	plástico	365,48
Araçatuba	São Paulo	pneu	319,12
Araçatuba	São Paulo	metal	319,12
Araçatuba	São Paulo	vidro	100,12
Araçatuba	São Paulo	plástico	319,12
Presidente Prudente	Santos	pneu	290,59
Presidente Prudente	Santos	metal	290,59
Presidente Prudente	Santos	vidro	71,59
Presidente Prudente	Santos	plástico	290,59
Presidente Prudente	São José dos Campos	pneu	291,18
Presidente Prudente	São José dos Campos	metal	291,18
Presidente Prudente	São José dos Campos	vidro	72,18
Presidente Prudente	São José dos Campos	plástico	291,18
Presidente Prudente	Sorocaba	pneu	330,81
Presidente Prudente	Sorocaba	metal	330,81

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

(continuação)

Origem	Destino	Material	Preço Descontado
Presidente Prudente	Sorocaba	vidro	111,81
Presidente Prudente	Sorocaba	plástico	330,81
Presidente Prudente	Campinas	pneu	314,30
Presidente Prudente	Campinas	metal	314,30
Presidente Prudente	Campinas	vidro	95,30
Presidente Prudente	Campinas	plástico	314,30
Presidente Prudente	Ribeirão Preto	pneu	338,00
Presidente Prudente	Ribeirão Preto	metal	338,00
Presidente Prudente	Ribeirão Preto	vidro	119,00
Presidente Prudente	Ribeirão Preto	plástico	338,00
Presidente Prudente	Bauru	pneu	378,11
Presidente Prudente	Bauru	metal	378,11
Presidente Prudente	Bauru	vidro	159,11
Presidente Prudente	Bauru	plástico	378,11
Presidente Prudente	São José do Rio Preto	pneu	379,83
Presidente Prudente	São José do Rio Preto	metal	379,83
Presidente Prudente	São José do Rio Preto	vidro	160,83
Presidente Prudente	São José do Rio Preto	plástico	379,83
Presidente Prudente	Araçatuba	pneu	404,91
Presidente Prudente	Araçatuba	metal	404,91
Presidente Prudente	Araçatuba	vidro	185,91
Presidente Prudente	Araçatuba	plástico	404,91
Presidente Prudente	Presidente Prudente	pneu	446,79
Presidente Prudente	Presidente Prudente	metal	446,79
Presidente Prudente	Presidente Prudente	vidro	227,79
Presidente Prudente	Presidente Prudente	plástico	446,79
Presidente Prudente	Marília	pneu	403,62
Presidente Prudente	Marília	metal	403,62
Presidente Prudente	Marília	vidro	184,62
Presidente Prudente	Marília	plástico	403,62
Presidente Prudente	Central	pneu	346,79
Presidente Prudente	Central	metal	346,79
Presidente Prudente	Central	vidro	127,79
Presidente Prudente	Central	plástico	346,79
Presidente Prudente	Barretos	pneu	358,29
Presidente Prudente	Barretos	metal	358,29

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

			(continuação)
Origem	Destino	Material	Preço Descontado
Presidente Prudente	Barretos	vidro	139,29
Presidente Prudente	Barretos	plástico	358,29
Presidente Prudente	Franca	pneu	336,98
Presidente Prudente	Franca	metal	336,98
Presidente Prudente	Franca	vidro	117,98
Presidente Prudente	Franca	plástico	336,98
Presidente Prudente	São Paulo	pneu	310,72
Presidente Prudente	São Paulo	metal	310,72
Presidente Prudente	São Paulo	vidro	91,72
Presidente Prudente	São Paulo	plástico	310,72
Marília	Santos	pneu	317,94
Marília	Santos	metal	317,94
Marília	Santos	vidro	98,94
Marília	Santos	plástico	317,94
Marília	São José dos Campos	pneu	318,53
Marília	São José dos Campos	metal	318,53
Marília	São José dos Campos	vidro	99,53
Marília	São José dos Campos	plástico	318,53
Marília	Sorocaba	pneu	358,16
Marília	Sorocaba	metal	358,16
Marília	Sorocaba	vidro	139,16
Marília	Sorocaba	plástico	358,16
Marília	Campinas	pneu	356,20
Marília	Campinas	metal	356,20
Marília	Campinas	vidro	137,20
Marília	Campinas	plástico	356,20
Marília	Ribeirão Preto	pneu	381,22
Marília	Ribeirão Preto	metal	381,22
Marília	Ribeirão Preto	vidro	162,22
Marília	Ribeirão Preto	plástico	381,22
Marília	Bauru	pneu	420,28
Marília	Bauru	metal	420,28
Marília	Bauru	vidro	201,28
Marília	Bauru	plástico	420,28
Marília	São José do Rio Preto	pneu	401,02
Marília	São José do Rio Preto	metal	401,02
Marília	São José do Rio Preto	vidro	182,02
Marília	São José do Rio Preto	plástico	401,02

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

(continuação)

Origem	Destino	Material	Preço Descontado
Marília	Araçatuba	pneu	407,89
Marília	Araçatuba	metal	407,89
Marília	Araçatuba	vidro	188,89
Marília	Araçatuba	plástico	407,89
Marília	Presidente Prudente	pneu	404,15
Marília	Presidente Prudente	metal	404,15
Marília	Presidente Prudente	vidro	185,15
Marília	Presidente Prudente	plástico	404,15
Marília	Marília	pneu	446,79
Marília	Marília	metal	446,79
Marília	Marília	vidro	227,79
Marília	Marília	plástico	446,79
Marília	Central	pneu	390,01
Marília	Central	metal	390,01
Marília	Central	vidro	171,01
Marília	Central	plástico	390,01
Marília	Barretos	pneu	374,17
Marília	Barretos	metal	374,17
Marília	Barretos	vidro	155,17
Marília	Barretos	plástico	374,17
Marília	Franca	pneu	365,09
Marília	Franca	metal	365,09
Marília	Franca	vidro	146,09
Marília	Franca	plástico	365,09
Marília	São Paulo	pneu	338,07
Marília	São Paulo	metal	338,07
Marília	São Paulo	vidro	119,07
Marília	São Paulo	plástico	338,07
Central	Santos	pneu	356,37
Central	Santos	metal	356,37
Central	Santos	vidro	137,37
Central	Santos	plástico	356,37
Central	São José dos Campos	pneu	365,72
Central	São José dos Campos	metal	365,72
Central	São José dos Campos	vidro	146,72
Central	São José dos Campos	plástico	365,72

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

			(continuação)
Origem	Destino	Material	Preço Descontado
Central	Sorocaba	pneu	387,36
Central	Sorocaba	metal	387,36
Central	Sorocaba	vidro	168,36
Central	Sorocaba	plástico	387,36
Central	Campinas	pneu	401,94
Central	Campinas	metal	401,94
Central	Campinas	vidro	182,94
Central	Campinas	plástico	401,94
Central	Ribeirão Preto	pneu	423,61
Central	Ribeirão Preto	metal	423,61
Central	Ribeirão Preto	vidro	204,61
Central	Ribeirão Preto	plástico	423,61
Central	Bauru	pneu	416,13
Central	Bauru	metal	416,13
Central	Bauru	vidro	197,13
Central	Bauru	plástico	416,13
Central	São José do Rio Preto	pneu	406,00
Central	São José do Rio Preto	metal	406,00
Central	São José do Rio Preto	vidro	187,00
Central	São José do Rio Preto	plástico	406,00
Central	Araçatuba	pneu	375,71
Central	Araçatuba	metal	375,71
Central	Araçatuba	vidro	156,71
Central	Araçatuba	plástico	375,71
Central	Presidente Prudente	pneu	347,10
Central	Presidente Prudente	metal	347,10
Central	Presidente Prudente	vidro	128,10
Central	Presidente Prudente	plástico	347,10
Central	Marília	pneu	389,91
Central	Marília	metal	389,91
Central	Marília	vidro	170,91
Central	Marília	plástico	389,91
Central	Central	pneu	446,79
Central	Central	metal	446,79
Central	Central	vidro	227,79
Central	Central	plástico	446,79
Central	Barretos	pneu	407,06
Central	Barretos	metal	407,06

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

(continuação)

Origem	Destino	Material	Preço Descontado
Central	Barretos	vidro	188,06
Central	Barretos	plástico	407,06
Central	Franca	pneu	407,35
Central	Franca	metal	407,35
Central	Franca	vidro	188,35
Central	Franca	plástico	407,35
Central	São Paulo	pneu	379,38
Central	São Paulo	metal	379,38
Central	São Paulo	vidro	160,38
Central	São Paulo	plástico	379,38
Barretos	Santos	pneu	319,78
Barretos	Santos	metal	319,78
Barretos	Santos	vidro	100,78
Barretos	Santos	plástico	319,78
Barretos	São José dos Campos	pneu	329,13
Barretos	São José dos Campos	metal	329,13
Barretos	São José dos Campos	vidro	110,13
Barretos	São José dos Campos	plástico	329,13
Barretos	Sorocaba	pneu	350,77
Barretos	Sorocaba	metal	350,77
Barretos	Sorocaba	vidro	131,77
Barretos	Sorocaba	plástico	350,77
Barretos	Campinas	pneu	365,34
Barretos	Campinas	metal	365,34
Barretos	Campinas	vidro	146,34
Barretos	Campinas	plástico	365,34
Barretos	Ribeirão Preto	pneu	416,79
Barretos	Ribeirão Preto	metal	416,79
Barretos	Ribeirão Preto	vidro	197,79
Barretos	Ribeirão Preto	plástico	416,79
Barretos	Bauru	pneu	384,33
Barretos	Bauru	metal	384,33
Barretos	Bauru	vidro	165,33
Barretos	Bauru	plástico	384,33
Barretos	São José do Rio Preto	pneu	424,26
Barretos	São José do Rio Preto	metal	424,26

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

			(continuação)
Origem	Destino	Material	Preço Descontado
Barretos	São José do Rio Preto	vidro	205,26
Barretos	São José do Rio Preto	plástico	424,26
Barretos	Araçatuba	pneu	386,90
Barretos	Araçatuba	metal	386,90
Barretos	Araçatuba	vidro	167,90
Barretos	Araçatuba	plástico	386,90
Barretos	Presidente Prudente	pneu	358,41
Barretos	Presidente Prudente	metal	358,41
Barretos	Presidente Prudente	vidro	139,41
Barretos	Presidente Prudente	plástico	358,41
Barretos	Marília	pneu	374,12
Barretos	Marília	metal	374,12
Barretos	Marília	vidro	155,12
Barretos	Marília	plástico	374,12
Barretos	Central	pneu	409,00
Barretos	Central	metal	409,00
Barretos	Central	vidro	190,00
Barretos	Central	plástico	409,00
Barretos	Barretos	pneu	446,79
Barretos	Barretos	metal	446,79
Barretos	Barretos	vidro	227,79
Barretos	Barretos	plástico	446,79
Barretos	Franca	pneu	423,72
Barretos	Franca	metal	423,72
Barretos	Franca	vidro	204,72
Barretos	Franca	plástico	423,72
Barretos	São Paulo	pneu	342,79
Barretos	São Paulo	metal	342,79
Barretos	São Paulo	vidro	123,79
Barretos	São Paulo	plástico	342,79
Franca	Santos	pneu	330,12
Franca	Santos	metal	330,12
Franca	Santos	vidro	111,12
Franca	Santos	plástico	330,12
Franca	São José dos Campos	pneu	339,47
Franca	São José dos Campos	metal	339,47
Franca	São José dos Campos	vidro	120,47
Franca	São José dos Campos	plástico	339,47

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

(continuação)

Origem	Destino	Material	Preço Descontado
Franca	Sorocaba	pneu	357,23
Franca	Sorocaba	metal	357,23
Franca	Sorocaba	vidro	138,23
Franca	Sorocaba	plástico	357,23
Franca	Campinas	pneu	375,68
Franca	Campinas	metal	375,68
Franca	Campinas	vidro	156,68
Franca	Campinas	plástico	375,68
Franca	Ribeirão Preto	pneu	428,81
Franca	Ribeirão Preto	metal	428,81
Franca	Ribeirão Preto	vidro	209,81
Franca	Ribeirão Preto	plástico	428,81
Franca	Bauru	pneu	378,10
Franca	Bauru	metal	378,10
Franca	Bauru	vidro	159,10
Franca	Bauru	plástico	378,10
Franca	São José do Rio Preto	pneu	402,79
Franca	São José do Rio Preto	metal	402,79
Franca	São José do Rio Preto	vidro	183,79
Franca	São José do Rio Preto	plástico	402,79
Franca	Araçatuba	pneu	365,43
Franca	Araçatuba	metal	365,43
Franca	Araçatuba	vidro	146,43
Franca	Araçatuba	plástico	365,43
Franca	Presidente Prudente	pneu	336,94
Franca	Presidente Prudente	metal	336,94
Franca	Presidente Prudente	vidro	117,94
Franca	Presidente Prudente	plástico	336,94
Franca	Marília	pneu	364,96
Franca	Marília	metal	364,96
Franca	Marília	vidro	145,96
Franca	Marília	plástico	364,96
Franca	Central	pneu	407,88
Franca	Central	metal	407,88
Franca	Central	vidro	188,88
Franca	Central	plástico	407,88

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

			(continuação)
Origem	Destino	Material	Preço Descontado
Franca	Barretos	pneu	423,99
Franca	Barretos	metal	423,99
Franca	Barretos	vidro	204,99
Franca	Barretos	plástico	423,99
Franca	Franca	pneu	446,79
Franca	Franca	metal	446,79
Franca	Franca	vidro	227,79
Franca	Franca	plástico	446,79
Franca	São Paulo	pneu	353,13
Franca	São Paulo	metal	353,13
Franca	São Paulo	vidro	134,13
Franca	São Paulo	plástico	353,13
São Paulo	Santos	pneu	429,00
São Paulo	Santos	metal	429,00
São Paulo	Santos	vidro	210,00
São Paulo	Santos	plástico	429,00
São Paulo	São José dos Campos	pneu	424,99
São Paulo	São José dos Campos	metal	424,99
São Paulo	São José dos Campos	vidro	205,99
São Paulo	São José dos Campos	plástico	424,99
São Paulo	Sorocaba	pneu	421,87
São Paulo	Sorocaba	metal	421,87
São Paulo	Sorocaba	vidro	202,87
São Paulo	Sorocaba	plástico	421,87
São Paulo	Campinas	pneu	423,66
São Paulo	Campinas	metal	423,66
São Paulo	Campinas	vidro	204,66
São Paulo	Campinas	plástico	423,66
São Paulo	Ribeirão Preto	pneu	369,50
São Paulo	Ribeirão Preto	metal	369,50
São Paulo	Ribeirão Preto	vidro	150,50
São Paulo	Ribeirão Preto	plástico	369,50
São Paulo	Bauru	pneu	365,95
São Paulo	Bauru	metal	365,95
São Paulo	Bauru	vidro	146,95
São Paulo	Bauru	plástico	365,95
São Paulo	São José do Rio Preto	pneu	339,18
São Paulo	São José do Rio Preto	metal	339,18

Tabela 37 – Preço de venda dos materiais recicláveis por tipo de material, entre as Regiões Administrativas

			(conclusão)
Origem	Destino	Material	Preço Descontado
São Paulo	São José do Rio Preto	vidro	120,18
São Paulo	São José do Rio Preto	plástico	339,18
São Paulo	Araçatuba	pneu	319,15
São Paulo	Araçatuba	metal	319,15
São Paulo	Araçatuba	vidro	100,15
São Paulo	Araçatuba	plástico	319,15
São Paulo	Presidente Prudente	pneu	310,23
São Paulo	Presidente Prudente	metal	310,23
São Paulo	Presidente Prudente	vidro	91,23
São Paulo	Presidente Prudente	plástico	310,23
São Paulo	Marília	pneu	338,18
São Paulo	Marília	metal	338,18
São Paulo	Marília	vidro	119,18
São Paulo	Marília	plástico	338,18
São Paulo	Central	pneu	379,01
São Paulo	Central	metal	379,01
São Paulo	Central	vidro	160,01
São Paulo	Central	plástico	379,01
São Paulo	Barretos	pneu	340,25
São Paulo	Barretos	metal	340,25
São Paulo	Barretos	vidro	121,25
São Paulo	Barretos	plástico	340,25
São Paulo	Franca	pneu	353,22
São Paulo	Franca	metal	353,22
São Paulo	Franca	vidro	134,22
São Paulo	Franca	plástico	353,22
São Paulo	São Paulo	pneu	446,79
São Paulo	São Paulo	metal	446,79
São Paulo	São Paulo	vidro	227,79
São Paulo	São Paulo	plástico	446,79

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados desta pesquisa.

ANEXO C – Custo de transporte das Regiões Administrativas às unidades de tratamento de resíduos

Tabela 38 – Custo de transporte das Regiões Administrativas aos potenciais municípios receptores de resíduos

(continua)

Origem	Destino	Custo de Transporte
Santos	Caieiras	36,05
Santos	Franca	119,81
Santos	Guará	123,93
Santos	Guatapar	99,49
Santos	Itapevi	31,83
Santos	Jardinópolis	107,52
Santos	Juquiá	40,53
Santos	Mauá	19,95
Santos	Ourinhos	114,77
Santos	Paulínia	18,83
Santos	São José do Rio Preto	133,85
Santos	Sorocaba	48,38
Santos	Suzano	24,07
Santos	Taboão da Serra	27,61
Santos	Tremembé	55,34
São José dos Campos	Caieiras	32,48
São José dos Campos	Franca	110,11
São José dos Campos	Guará	114,23
São José dos Campos	Guatapar	89,79
São José dos Campos	Itapevi	33,09
São José dos Campos	Jardinópolis	97,82
São José dos Campos	Juquiá	65,05
São José dos Campos	Mauá	28,56
São José dos Campos	Ourinhos	113,95
São José dos Campos	Paulínia	25,88
São José dos Campos	São José do Rio Preto	124,15
São José dos Campos	Sorocaba	47,56
São José dos Campos	Suzano	20,72
São José dos Campos	Taboão da Serra	34,35
São José dos Campos	Tremembé	17,41
Campinas	Caieiras	20,09
Campinas	Franca	74,03
Campinas	Guará	78,15
Campinas	Guatapar	53,71

Tabela 38 – Custo de transporte das Regiões Administrativas aos potenciais municípios receptores de resíduos

(continuação)

Origem	Destino	Custo de Transporte
Campinas	Itapevi	28,00
Campinas	Jardinópolis	61,74
Campinas	Juquiá	60,32
Campinas	Mauá	37,36
Campinas	Ourinhos	90,37
Campinas	Paulínia	29,08
Campinas	São José do Rio Preto	88,07
Campinas	Sorocaba	24,00
Campinas	Suzano	37,48
Campinas	Taboão da Serra	29,63
Campinas	Tremembé	53,20
Ribeirão Preto	Caieiras	73,63
Ribeirão Preto	Franca	21,03
Ribeirão Preto	Guará	25,15
Ribeirão Preto	Guatapar	18,81
Ribeirão Preto	Itapevi	80,87
Ribeirão Preto	Jardinópolis	8,73
Ribeirão Preto	Juquiá	113,19
Ribeirão Preto	Mauá	90,23
Ribeirão Preto	Ourinhos	83,01
Ribeirão Preto	Paulínia	81,94
Ribeirão Preto	São José do Rio Preto	48,55
Ribeirão Preto	Sorocaba	76,03
Ribeirão Preto	Suzano	90,34
Ribeirão Preto	Taboão da Serra	82,49
Ribeirão Preto	Tremembé	107,72
São José do Rio Preto	Caieiras	103,95
São José do Rio Preto	Franca	46,86
São José do Rio Preto	Guará	47,75
São José do Rio Preto	Guatapar	52,17
São José do Rio Preto	Itapevi	111,18
São José do Rio Preto	Jardinópolis	52,09
São José do Rio Preto	Juquiá	133,30
São José do Rio Preto	Mauá	120,54
São José do Rio Preto	Ourinhos	72,59
São José do Rio Preto	Paulínia	112,26

Tabela 38 – Custo de transporte das Regiões Administrativas aos potenciais municípios receptores de resíduos

(continuação)

Origem	Destino	Custo de Transporte
São José do Rio Preto	São José do Rio Preto	3,21
São José do Rio Preto	Sorocaba	102,46
São José do Rio Preto	Suzano	120,66
São José do Rio Preto	Taboão da Serra	112,81
São José do Rio Preto	Tremembé	138,04
Marília	Caieiras	112,95
Marília	Franca	84,91
Marília	Guará	89,03
Marília	Guatapar	67,84
Marília	Itapevi	104,03
Marília	Jardinópolis	72,62
Marília	Juquiá	126,78
Marília	Mauá	125,92
Marília	Ourinhos	26,23
Marília	Paulínia	113,25
Marília	São José do Rio Preto	48,98
Marília	Sorocaba	91,84
Marília	Suzano	122,16
Marília	Taboão da Serra	111,41
Marília	Tremembé	145,40
Central	Caieiras	64,13
Central	Franca	42,65
Central	Guará	46,77
Central	Guatapar	16,92
Central	Itapevi	71,36
Central	Jardinópolis	30,36
Central	Juquiá	93,48
Central	Mauá	80,72
Central	Ourinhos	62,31
Central	Paulínia	72,44
Central	São José do Rio Preto	44,00
Central	Sorocaba	62,64
Central	Suzano	80,84
Central	Taboão da Serra	72,98
Central	Tremembé	98,21
São Paulo	Caieiras	13,04
São Paulo	Franca	96,78
São Paulo	Guará	100,90

Tabela 38 – Custo de transporte das Regiões Administrativas aos potenciais municípios receptores de resíduos

		(conclusão)
Origem	Destino	Custo de Transporte
São Paulo	Guatapar	76,46
São Paulo	Itapevi	13,65
São Paulo	Jardinópolis	84,49
São Paulo	Juquiá	43,08
São Paulo	Mauá	9,87
São Paulo	Ourinhos	94,51
São Paulo	Paulínia	5,57
São Paulo	São José do Rio Preto	110,82
São Paulo	Sorocaba	28,13
São Paulo	Suzano	15,70
São Paulo	Taboão da Serra	8,85
São Paulo	Tremembé	38,95

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados desta pesquisa.

ANEXO D – Custo de transporte entre as Regiões Administrativas do Estado de São Paulo

Tabela 39 – Custo de transporte entre as Regiões Administrativas do Estado de São Paulo

(continua)

	Registro	Santos	São José dos Campos	Sorocaba	Campinas	Ribeirão Preto	Bauru
Registro	3,21	47,70	72,62	41,96	67,01	121,17	96,34
Santos	47,40	3,21	40,59	48,38	49,37	103,53	104,31
São José dos Campos	71,92	43,24	3,21	47,56	39,29	93,83	103,48
Sorocaba	41,11	47,96	47,37	3,21	24,09	76,09	68,17
Campinas	67,20	50,27	39,26	24,00	3,21	57,75	66,57
Ribeirão Preto	120,06	103,14	93,78	76,03	57,57	3,21	54,57
Bauru	106,16	103,77	103,18	63,56	66,28	55,64	3,21
São José do Rio Preto	150,38	133,45	124,10	102,46	87,89	48,25	54,71
Araçatuba	153,39	151,00	150,41	110,79	114,82	83,42	50,74
Presidente Prudente	161,80	159,41	158,82	119,19	135,70	112,00	71,89
Marília	134,45	132,06	131,47	91,84	93,80	68,78	29,72
Central	110,55	93,63	84,28	62,64	48,06	26,39	33,87
Barretos	147,15	130,22	120,87	99,23	84,66	33,21	65,67
Franca	136,81	119,88	110,53	92,77	74,32	21,19	71,90
São Paulo	49,95	21,00	25,01	28,13	26,34	80,50	84,05
	São José do Rio Preto	Araçatuba	Presidente Prudente	Marília	Central	Barretos	Franca
Registro	151,48	143,15	135,23	124,12	111,66	150,42	137,45
Santos	133,85	151,11	160,03	132,08	94,03	132,79	119,81
São José dos Campos	124,15	150,29	159,21	131,26	84,32	123,08	110,11
Sorocaba	102,60	114,97	123,89	95,94	62,77	101,53	92,37
Campinas	88,07	115,00	135,63	93,99	48,24	87,00	74,03
Ribeirão Preto	48,55	83,22	111,82	69,02	24,79	33,08	21,03
Bauru	55,06	50,90	71,28	29,30	34,42	65,91	71,90
São José do Rio Preto	3,21	41,54	70,03	49,21	44,23	25,55	46,86
Araçatuba	41,67	3,21	45,22	42,21	74,63	63,21	84,52
Presidente Prudente	70,17	45,09	3,21	46,38	103,21	91,71	113,02

Tabela 39 – Custo de transporte entre as Regiões Administrativas do Estado de São Paulo

(conclusão)

	São José do Rio Preto	Araçatuba	Presidente Prudente	Marília	Central	Barretos	Franca
Marília	48,98	42,11	45,85	3,21	59,99	75,83	84,91
Central	44,00	74,29	102,90	60,09	3,21	42,94	42,65
Barretos	25,74	63,10	91,59	75,88	41,00	3,21	26,28
Franca	47,21	84,57	113,06	85,04	42,12	26,01	3,21
São Paulo	110,82	130,85	139,77	111,82	70,99	109,75	96,78

	São Paulo
Registro	49,79
Santos	20,91
São José dos Campos	24,97
Sorocaba	27,84
Campinas	27,26
Ribeirão Preto	80,12
Bauru	83,64
São José do Rio Preto	110,44
Araçatuba	130,88
Presidente Prudente	139,28
Marília	111,93
Central	70,62
Barretos	107,21
Franca	96,87
São Paulo	3,21

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados desta pesquisa.