

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Liliane Dolores Fagundes

**Simulação a Eventos Discretos para Apoio à
Decisão na Logística Reversa de Pneus
Inservíveis em Consórcio de Cidades**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito final à obtenção do título de *Doutor em Engenharia de Produção*.

Linha de Pesquisa:

Modelagem e Otimização

Orientador: Prof. Renato da Silva Lima, Dr.

Coorientador: Prof. Rafael de Carvalho Miranda, Dr.

Itajubá, Dezembro de 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

Liliane Dolores Fagundes

Simulação a Eventos Discretos para Apoio à
Decisão na Logística Reversa de Pneus
Inservíveis em Consórcio de Cidades

Banca examinadora:

Prof. Dr. Renato da Silva Lima (Orientador)- UNIFEI
Prof. Dr. Rafael de Carvalho Miranda (Coorientador)- UNIFEI
Profa. Dra. Ana Paula Camargo Larocca – USP/São Carlos
Prof. Dr. Ilton Curty Leal Junior - UFF
Prof. Dr. Alexandre Ferreira de Pinho- UNIFEI
Prof. Dr. José Henrique de Freitas Gomes- UNIFEI

Itajubá, Dezembro de 2017

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, José Tadeu e Maria Tadeu, pelo incentivo desde o início. Ao André, companheiro durante o desenvolvimento do trabalho. Ao José, que me alegra por existir.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Renato da Silva Lima, que acreditou no meu trabalho e que me conduziu durante estes anos da melhor forma possível.

Ao meu coorientador, Rafael de Carvalho Miranda, pelo conhecimento compartilhado e dedicação.

A todos os professores e funcionários do Instituto de Engenharia de Produção e Gestão, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos os colegas da Universidade Federal de Alfenas, em especial, aos professores Cassius Anderson Miquele de Melo, Caroline del Roveri e Fabiano Cabañas Navarro, que possibilitaram que eu conciliasse minhas atividades acadêmicas e o doutorado.

A todos os colegas do Grupo de Pesquisa de Logística e Transportes.

Aos funcionários do Consórcio Intermunicipal de Saneamento Básico da Região do Circuito das Águas (CISBRA), especialmente ao superintendente Hilário Piffer Junior de à analista ambiental Sandra Dimiz.

À minha família, que me apoiou e tornou possível eu chegar até aqui.

À Deus, por mais esta oportunidade oferecida e por ter colocado em meu caminho todas as pessoas agradecidas anteriormente.

EPÍGRAFE

*“O otimista é um tolo. O pessimista, um chato.
Bom mesmo é ser um realista esperançoso.”*

Ariano Suassuna

RESUMO

De acordo com as leis do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), os pneus necessitam de destinação ambientalmente correta ao fim de suas vidas úteis. A atenção legal dispensada ao descarte deste objeto deve-se ao fato dos danos ambientais que o descarte inadequado pode causar. Além disto, é um produto com características que dificultam a disposição final, pois não podem, por exemplo, ter como destino final aterros sanitários. A legislação brasileira prevê desde a década de 1990 normas específicas designando responsáveis e metas para destinação dos pneus. Isto impactou diretamente na situação atual, onde 93% da meta estipulada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA), para destinação ambientalmente correta de pneus, é cumprida. Para o alcance deste índice, trabalham em parceria usuários, comerciantes, prefeituras e os fabricantes na Logística Reversa (LR) dos pneus inservíveis. Isto caracteriza a responsabilidade compartilhada sugerida pela PNRS. No entanto, a relação das cidades onde o processo de LR de pneus ocorre disponibilizada pela Reciclanip, associação responsável pela destinação ambientalmente correta de pneus, mostra uma fragilidade na LR dos pneus inservíveis em cidades com menos de cem mil habitantes. A PNRS e a Reciclanip sugerem que este perfil de cidades se organizem em consórcios. O agrupamento de cidades em consórcios tem como finalidade facilitar a concretização de políticas públicas. Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo auxiliar as cidades de pequeno porte a planejar e fazer a gestão da LR dos pneus inservíveis. A ferramenta utilizada é a Simulação a Eventos Discretos (SED), pois ela permite uma representação confiável do sistema estudado em modelo computacional. Além disto, é possível realizar mudanças no modelo computacional a fim de simular e avaliar o impacto que causarão no sistema real. Para a aplicação da SED foi utilizado um consórcio representativo do perfil de cidades onde a melhoria precisa ser implementada. Partindo da modelagem do consórcio, são propostas alterações no funcionamento atual por meio de cenários para comparar as vantagens ou desvantagens que poderiam ser obtidas. Para a avaliação dos diferentes cenários são utilizados como indicadores de desempenho: custo do consórcio com a LR dos pneus e emissão de poluentes durante o transporte. Os resultados mostram que um planejamento realizado com outras quantidades de pneus transportadas, tipos de transporte e utilização de transporte solidário pode reduzir o custo da LR e a emissão de poluentes. Por meio da comparação da simulação representativa da situação real e dos cenários com os melhores resultados, a redução média de emissão de gases poluentes pode chegar a 75%, a redução de emissão de CO₂ a 62% e a redução média com custo da LR a 60%.

Palavras chaves: Logística Reversa, Pneus Inservíveis, Simulação a Eventos Discretos, Consórcio de Cidades.

ABSTRACT

According to the laws of the National Council for the Environment (CONAMA) and the National Solid Waste Policy (PNRS), tires require environmentally correct disposal at the end of their useful lives. The legal attention given to the disposal of this object is due to the environmental damage that improper disposal can cause. In addition, it is a product with characteristics that make difficult the final disposal because they can not, for example, have final destination sanitary landfills. Since the 1990s, Brazilian legislation foresees specific rules assigning responsible persons and targets for the destination of the tires. This has directly impacted the current situation, where 93% of the target set by the Brazilian Institute of Environment and Natural Resources (IBAMA), for environmentally correct destination of tires, is fulfilled. To achieve this index, users, merchants, city halls and manufacturers in the Reverse Logistics (RL) of the insertable tires work in partnership. This characterizes the shared responsibility suggested by the PNRS. However, the relationship of cities where the RL tire process is made available by Reciclanip, the association responsible for the environmentally correct destination of tires, shows a weakness in the RL of waste tires in cities with less than 100,000 inhabitants. PNRS and Reciclanip suggest that this profile of cities be organized into consortiums. The grouping of cities in consortiums aims to facilitate the implementation of public policies. In this context, the present work aims to help small cities to plan and manage the RL of waste tires. The tool used is the Discrete Event Simulation (DES), as it allows a reliable representation of the system studied in a computational model. In addition, it is possible to make changes in the computational model in order to simulate and evaluate the impact they will cause. For the application of the DES, a consortium representative of the profile of cities where the improvement needs to be implemented was used. Starting from the consortium modeling, changes are proposed in the current operation through scenarios to compare the advantages or disadvantages that could be obtained. In order to evaluate the different scenarios, the following performance indicators are used: cost of the consortium with fuel to transport the tires to the place where it will be collected by the association responsible for final destination and emission of pollutants during transportation. The partial results show that planning with other arrangements of quantity of transported tires, types of transport and use of solidary transport can reduce the cost with fuel and the emission of pollutants. By comparing the scenario that represents the real situation and the best performing scenarios, the average emission reduction of pollutants can reach 75% and the average reduction with RL costs to 60%.

Keywords: Reverse Logistics, Unusable Tires, Discrete Events Simulation, Consortium of Cities.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- Classificação da pesquisa segundo a proposta de Miguel et. al (2010)	23
Figura 2.1- Alternativas para pneus usados.....	28
Figura 2.2- Tipos de reformas de pneus	29
Figura 2.3- Vendas totais em milhões de unidade.....	31
Figura 2.4- Principais canais de vendas.....	31
Figura 2.5- Evolução no Número de Pontos de Coleta no Brasil.....	39
Figura 2.6- Ferramentas de Simulação utilizadas nos trabalhos de LR.....	49
Figura 3.1- Sequencia de passos para um projeto de simulação	56
Figura 3.2- Mapeamento da LR dos pneus inservíveis do CISBRA	59
Figura 3.3- Modelagem dos dados pneus de carro	62
Figura 3.4- Modelagem dos dados pneus de carga.....	63
Figura 3.5- Modelagem dos dados pneus de moto	63
Figura 3.6- Modelo Computacional da LR de Pneus Inservíveis Realizada pelo CISBRA.....	64
Figura 3.7- Teste de normalidade para quilometragem percorrida (25 replicações).....	85
Figura 3.8- Teste de normalidade para quantidade de pneus transportados (25 replicações).....	85
Figura 4.1 - Emissão de poluentes nos diferentes cenários.....	101
Figura 4.2 - Custo da LR nos diferentes cenários.....	101
Figura 4.3 - Modelo para LR de Pneus Inservíveis.....	107
Figura B.1- Comparação estatística entre modelos de simulação.. ..	124
Figura D.1- Boxplot das Emissões de Poluentes.....	130
Figura D.2- Boxplot dos Custos com Combustível.....	130
Figura D.3- Boxplot das Quantidades Transportadas.....	131
Figura D.4- Boxplot das Quilometragens Percorridas.....	132
Figura D.5- Boxplot dos Custos Totais da LR de Pneus.....	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1- Análise bibliométrica: número de trabalhos publicados.....	22
Tabela 1.2- Análise bibliométrica: número de trabalhos publicados por palavras-chave.....	22
Tabela 2.1- Produção de pneus no Brasil.....	31
Tabela 3.1- Modelagem da quantidade de pneus transportada até o PC.....	62
Tabela 3.2- Tipos de transportes utilizados na simulação	68
Tabela 3.3- Preço médio de lavagem por veículos na cidade de Amparo.....	75
Tabela 3.4- Resultados para 10 replicações.....	81
Tabela 3.5- Resultados para 25 replicações.....	84
Tabela 4.1- Informações utilizadas nos cenários 1.1, 1.2, 2.1 e 2.2.....	87
Tabela 4.2- Informações utilizados nos cenários 3.1, 3.2, 4.1 e 4.2.....	89
Tabela 4.3- Informações utilizadas nos cenários 5.1, 5.2, 6.1 e 6.2.....	90
Tabela 4.4- Informações utilizadas nos cenários 7 e 8.....	91
Tabela 4.5 - Informações utilizadas nos cenários 9 e 10.....	92
Tabela 4.6 - Informações utilizadas nos cenários 11 e 12.....	93
Tabela 4.7 - Informações utilizadas nos cenários 13 e 14.....	93
Tabela 4.8 - Informações utilizadas nos cenários 15 e 16.....	94
Tabela 4.9 - Resultados dos Cenários.....	95
Tabela 4.10 – Variação percentual das medidas de desempenho comparadas à situação real	100
Tabela 4.11 – Ganho Total na LR dos Pneus Inservíveis no CISBRA	103
Tabela 4.12 – Ganho Total na LR do CISBRA considerando os custos extras para a LR.....	104
Tabela A – Dados de entrada do modelo.....	123
Tabela B.1 - Teste t (2 Sample t) para Emissão de Poluentes	125
Tabela B.2 - Teste t (2 Sample t) para Custo de Combustíveis.....	126
Tabela B.3- Teste t (2 Sample t) para quantidade transportada.....	127
Tabela B.4- Teste t (2 Sample t) para quilometragem percorrida	127
Tabela C.1: Teste de Normalidade para as emissões de poluentes	128
Tabela C.2: Teste de Normalidade para Custo de Combustível.....	128
Tabela C.3: Teste de normalidade para Quantidade Transportada.....	129
Tabela C.4: Teste de normalidade para Quilometragem Percorrida	129
Tabela C.5: Teste de normalidade para Custo Total da LR.....	129

Tabela E.1- Teste 2 Variances (Teste <i>f</i>) para emissão de poluentes.....	133
Tabela E.2- Teste 2 Variances (Teste <i>f</i>) para custo com combustíveis	133
Tabela E.3- Teste 2 Variances (Teste <i>f</i>) para quantidade transportada	134
Tabela E.4- Teste 2 Variances (Teste <i>f</i>) para quilometragem percorrida.....	134
Tabela F- Encargos Mensais com Mão de Obra.....	135

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIDIP	Associação Brasileira de Importadores e Distribuidores de Pneus
ABR	Associação Brasileira do Seguimento de Reforma de Pneus
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
ANP	Agência Nacional de Petróleo
ASCOM	Assessoria de Comunicação
CB	Convenção de Basileia
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CISBRA	Consórcio Intermunicipal de Saneamento Básico da Região do Circuito das Águas
CNPJ	Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica
CNT	Confederação Nacional de Transporte
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTF	Cadastro Técnico Federal
DECEX	Departamento Comércio Exterior
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
EPR	<i>Extended producer responsibility</i>
HC	Hidrocarbonetos
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IDEF-SIM	<i>Integrated Definition Methods – Simulation</i>
ISM	<i>Interpretive Structural Modeling</i>
LR	Logística Reversa
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>

MCDM	<i>Multiple Criteria Decision Making</i> (Processo de tomada de decisão multi-critério)
MIC	Ministério da Indústria e Comércio
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NCM	Nomenclatura Comum do Mercosul
NO _x	Óxidos de nitrogênio
PC	Ponto de Coleta
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SED	Simulação a Eventos Discretos
WBSCD	<i>World Business Council of Sustainable Development</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Objetivos geral e específicos.....	19
1.2 Justificativas.....	20
1.3 Contribuição Científica.....	21
1.4 Classificação da Pesquisa.....	23
1.5 Estrutura da Tese.....	24
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1 Logística Reversa	25
2.2 Pneus: da fabricação ao fim de vida útil.....	27
2.3 Mercado Brasileiro de Pneus.....	30
2.4 Estudos sobre LR de Pneus Inservíveis no Brasil	33
2.5 Logística Reversa de Pneus Inservíveis no Exterior	36
2.6 Ações da LR de Pneus Inservíveis no Brasil.....	38
2.7 Regulações relacionadas com a LR de Pneus Inservíveis no Brasil.....	40
2.8 Ações de Logística Reversa em outros países	44
2.9 Modelagem e Simulação	45
2.9.1. Aplicação da Simulação na LR	48
2.10 SED e LR.....	50
2.11 Consórcio de cidades.....	52
3. DESENVOLVIMENTO.....	55
3.1 Concepção do modelo	55
3.1.1 Objetivos e definição do sistema.....	57
3.1.2 Construção e documentação do modelo conceitual.....	57
3.1.3 Validação do modelo conceitual	60
3.1.4 Modelagem dos dados de entrada.....	61
3.2 Implementação do Modelo	63
3.2.1 Parâmetros de construção do modelo computacional	63
3.2.2 Medidas de desempenho do modelo computacional e tempo de simulação	66
3.2.2.1 Indicadores de desempenho: emissão de poluentes.....	64
3.2.2.2 Indicador de desempenho: Custo Total da LR dos pneus inservíveis.....	65

3.2.3 Cálculo das medidas de desempenho.....	65
3.2.3.1 Equações para o cálculo da emissão de poluentes quando os veículos utilizados são antigos (fabricação de 2006 a 2013).....	69
3.2.3.2 Equações para o cálculo da emissão de poluentes quando os veículos utilizados são novos.....	70
3.2.3.3 Equações para o cálculo do custo total da LR de pneus pelo CISBRA	71
3.3 Verificação e Validação do Modelo de Simulação	79
4. ANÁLISE	86
4.1 Elaboração e Análise de Cenários Comparativos.....	86
4.1.1. Simulação 1.1.....	86
4.1.2. Cenário 1.2.....	87
4.1.3. Cenário 2.1.....	88
4.1.4. Cenário 2.2.....	88
4.1.5. Cenário 3.1.....	88
4.1.6. Cenário 3.2.....	89
4.1.7. Cenário 4.1.....	89
4.1.8. Cenário 4.2.....	89
4.1.9. Cenário 5.1.....	90
4.1.10. Cenário 5.2.....	90
4.1.11. Cenário 6.1.....	90
4.1.12. Cenário 6.2.....	91
4.1.13. Cenário 7.....	91
4.1.14. Cenário 8.....	91
4.1.15. Cenário 9.....	92
4.1.16. Cenário 10.....	92
4.1.17. Cenário 11.....	92
4.1.18. Cenário 12.....	93
4.1.19. Cenário 13.....	93
4.1.20. Cenário 14.....	93
4.1.21. Cenário 15.....	93
4.1.22. Cenário 16.....	94
4.2 Análise	94
4.3 Discussões	104
5. CONCLUSÕES	109

5.1 Propostas para trabalhos futuros.....	111
REFERÊNCIAS	113
APÊNDICE A: Dados de Entrada do Modelo.....	123
APÊNDICE B: Análise Estatística.....	124
APÊNDICE C: Teste de Normalidade.....	128
APÊNDICE D: <i>Boxplot</i> das Variáveis.....	130
APÊNDICE E: Testes <i>f</i>	133
APÊNDICE F: Encargos mensais com mão de obra.....	135
APÊNDICE G: Artigos aprovados.....	136
ANEXO A: Histórico ANP Preços dos Combustíveis.....	137
ANEXO B: Fator Emissão de Poluentes segundo MMA.....	138
ANEXO C: Resultados dos Cenários- Emissão de Poluentes.....	141
ANEXO D: Resultados dos Cenários- Custo Total da LR.....	144

1. INTRODUÇÃO

A importância dos pneus no mundo moderno é evidente. Particularmente no Brasil a grande utilização do modal de transporte rodoviário acentua ainda mais esta importância. No entanto, ao chegarem ao final da vida útil tornam-se um passivo ambiental e há a necessidade de uma destinação correta, que nem sempre é acompanhada de um planejamento eficiente.

De acordo com Kannan, Diabat e Shankar (2014) devido a industrialização e a globalização, o setor automotivo teve um crescimento. Desta forma a produção de pneus também aumentou e conseqüentemente a quantidade de pneus em fim de vida. Nesse cenário, várias nações passaram a se preocupar com o gerenciamento dos pneus em fim de vida por meio de estratégias diferenciadas e de legislações, principalmente por questões ambientais. Sasikumar, Kannan e Haq (2010) também citam que devido ao crescente número de veículos, grande quantidade de pneus usados são gerados a cada ano e a adequada eliminação destes pneus cria um problema significativo no dia a dia.

De acordo com a Confederação Nacional de Transporte (CNT, 2015), no Brasil, 61,1% do transporte de cargas e passageiros acontece por via rodoviária. Segundo Bauer *et al.* (2015), esta grande utilização do modal de transporte rodoviário, com conseqüente necessidade de grande quantidade de pneus, ajudou a consolidar o mercado de pneus no país. Até 2016 eram vinte fabricantes de pneus instaladas no país, gerando aproximadamente 140 mil de postos de trabalho diretos e indiretos, com uma produção e venda anual de aproximadamente 70 milhões de unidades segundo informações disponibilizadas pela Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP, 2017).

A importância para a economia se transforma em preocupação ambiental no fim da vida útil. Os pneus são compostos por aproximadamente 65% de borracha e o restante de metal, *nylon* e enchimentos, o que resulta em considerável potencial de dano ambiental, se incorretamente descartados (SELLITTO *et al.*, 2013).

Bartholomeu e Caixeta-Filho (2011) mencionam que um pneu, quando atinge o fim de sua vida útil se torna um resíduo inerte, e, por este motivo, deve ser adequadamente descartado. Este pneu denominado inservível constitui uma fonte de preocupação ambiental moderna, devido à elevada e crescente quantidade descartada no país nos últimos anos, conseqüência direta do aumento da frota de veículos. Um fato que agrava o problema é o longo período de decomposição, que segundo os mesmos autores, apesar de incerto é superior a 100 anos. Fang, Zhan e Wang (2001) calcularam que este prazo possa ser de até 600 anos.

De acordo com Subulan, Taşan e Baykasoğlu (2015), problemas ambientais significativos têm sido causados pelo aumento no volume de pneus inservíveis gerados a cada ano. Devido a esta situação são importantes a coleta efetiva e o armazenamento, reciclagem e disposição final apropriados.

Segundo Rocha (2008), o reaproveitamento de pneus inservíveis é um desafio enfrentado em todos os países do mundo devido as suas características de durabilidade, quantidade, volume, peso e, principalmente, devido à dificuldade de lhes propiciar uma destinação ecológica e economicamente viável.

Os pneus apresentam o inconveniente de sua disposição final não poder ser realizada em aterros. Blumenthal (1993) explica que os pneus podem reter gases e ar em seu interior, o que pode levar o pneu a ir para a superfície do aterro rompendo a camada de cobertura. Com este acontecimento os resíduos ficam expostos, atraindo animais e propiciando vazamento de gases do aterro. Além destes inconvenientes, a água da chuva infiltra e aumenta a formação de chorume.

Ferrão, Ribeiro e Silva (2007), Chang (2008), Rocha (2008), Lagarinhos (2011), Chan, Cheug e Mckay (2011), Santos (2013) e Souza e D'Agosto (2013) citam os principais problemas ambientais oriundos do descarte de forma incorreta dos pneus: podem tornar-se criadouros de mosquitos e roedores e em caso de incêndios eliminam gases tóxicos, com consequente contaminação do solo e do ar. A *Health Protection Agency* (2003) menciona que por possuírem um valor calorífico maior que o do carvão os incêndios em pneus acumulados em grande quantidade são praticamente impossíveis de se extinguir rapidamente, podendo queimar durante semanas ou até meses.

Segundo Assessoria de Comunicação do Ministério do Meio Ambiente (ASCOM/MMA-2006), a queima de pneus libera óleo pirolítico, que contém produtos químicos tóxicos e metais pesados capazes de produzir efeitos adversos à saúde, tais como perda de memória, deficiência no aprendizado, supressão do sistema imunológico, danos nos rins e fígado. Para agravar a situação, o óleo oriundo das queimas pode viajar longas distâncias, contaminando solo e água, além de penetrar em lençóis freáticos (KAMIMURA, 2002). Ainda de acordo com a ASCOM/MMA (2006) já foi comprovado que a poluição de águas causada pelos resíduos derivados da queima de pneus pode durar até 100 anos. A mesma instituição cita que além do óleo, a queima do pneu emite também uma fumaça tóxica que pode representar riscos de mortalidade prematura, deterioração das funções pulmonares, problemas do coração e depressão do sistema nervoso. Souza e D'Agosto (2013), também mencionam que o incorreto descarte de pneus inservíveis gera a poluição do ar, solo e água.

Diante deste cenário apresentando, a Logística Reversa (LR) apresenta-se como ferramenta essencial para que a destinação deste tipo de resíduo aconteça de forma satisfatória. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) enfatiza tal importância, ao incluir os pneus como resíduos que necessitam de canais de LR implementados (BRASIL, 2010). A mesma lei cita a necessidade de responsabilidade compartilhada na gestão dos resíduos, sendo que para os pneus, designa os fabricantes ou importadores como responsáveis pela adequada destinação dos itens quando chegam ao fim de vida.

Para que a LR dos pneus inservíveis ocorra, são necessárias três etapas no processo: o início do descarte acontece quando os usuários trocam os pneus de seus veículos e os deixam no estabelecimento comercial (quando são grandes usuários, como prefeitura ou transportadora, armazenam os pneus em um local específico); a segunda etapa consiste no acúmulo até uma determinada quantidade e entrega em um ponto de coleta (PC) cadastrado na Reciclanip, geralmente por uma prefeitura; a terceira etapa consiste na coleta dos pneus pela Reciclanip e destinação ambientalmente correta. Pode-se perceber a necessidade de quatro agentes nesse processo: usuários, comerciantes, poder público e fabricantes. É este envolvimento de diferentes agentes em um mesmo processo que é denominado “responsabilidade compartilhada” pela PNRS.

Apesar da PNRS ser relativamente recente, o CONAMA já se dedicava a tratativa da adequada destinação dos pneus inservíveis desde a década de 1990. Este fato provavelmente influenciou a situação atual no Brasil onde mais de 90% dos pneus tem destinação correta segundo relatórios do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). A última etapa do processo, promovida pelos fabricantes, possui um processo consolidado e bem-sucedido.

No entanto, um diagnóstico em cidades com menos de cem mil habitantes mostra um processo de LR de pneus inservíveis ainda inexistente ou com falhas no planejamento e execução (FAGUNDES, LIMA e OLIVEIRA, 2014). Um dos fatos mais relevantes é a falta de iniciativa do poder público das cidades com menos de cem mil habitantes, essencial para a LR dos pneus inservíveis. O relatório da Reciclanip, que é responsável pela destinação dos pneus inservíveis, também mostra pequena adesão de cidades de menor porte na abertura de pontos de coleta de pneus.

Urban (2016), Oliveira (2015) e Abrucio, Filippim e Dieguez (2013) apresentam em seus estudos as dificuldades das cidades de pequeno porte implementarem programas de gestão de resíduos sólidos, principalmente devido a pequena disponibilidade de recursos financeiros. Os mesmos autores enfatizam as chances de sucesso na gestão de políticas

públicas quando os municípios se agrupam em consórcios. Estes fatos impactam também na LR de pneus inservíveis e por este motivo é estudado na presente tese. Nela são analisados diferentes arranjos das cidades constituintes do Consórcio Intermunicipal de Saneamento Básico da Região do Circuito das Águas (CISBRA), de forma a analisar o impacto do trabalho conjunto entre as cidades na LR dos pneus inservíveis.

Com o intuito de auxiliar as cidades com menos de cem mil habitantes a encontrar uma forma de fazer um planejamento e gestão adequada da LR de pneus, esta tese utiliza a Simulação a Eventos Discretos (SED). Esta ferramenta é utilizada para a tomada de decisão em diversos setores, inclusive na logística direta. A SED apresenta as características necessárias para o estudo da LR dos pneus inservíveis em consórcio de cidades. Entre estas características destacam-se a possibilidade de representação do sistema de forma adequada em modelos computacionais e a possibilidade de simular mudanças sem a interferência no sistema real.

1.1 Objetivos geral e específicos

O objetivo principal da presente tese é utilizar a SED para analisar oportunidades de melhoria na LR de pneus inservíveis no CISBRA. Com isto, pretende-se visualizar alternativas para aumento do desempenho do processo, utilizando como indicadores de desempenho a emissão de poluentes e o custo da LR.

Como objetivos específicos, têm-se:

- Identificar o processo de LR dos pneus inservíveis em um consórcio de cidades que cumpra o que a legislação solicita sobre a destinação final destes objetos;
- Mapear o processo de LR utilizando a técnica *Integrated Definition Methods – Simulation* (IDEF-SIM);
- Criar cenários alterando a forma de funcionamento da LR dos pneus inservíveis no consórcio em questão, com a finalidade de visualizar melhorias para o processo;
- Propor a SED como uma ferramenta que possa ser usada para alcançar benefícios na execução da LR de pneus inservíveis pelo consórcio de cidades.

Os objetivos apresentados levam em consideração as seguintes condições de contorno para o presente trabalho:

- O desempenho do sistema será medido utilizando as variáveis: emissão de gases poluentes e custo da LR;

- Os gases poluentes (HC, CO e NO_x) analisados são considerados igualmente indesejados, sendo a somatória das emissões considerada para análise do melhor desempenho.

1.2 Justificativas

Dentro do contexto apresentado, é possível observar a relevância de se estudar a destinação dos pneus em fim de vida útil. É um item com grande volume de produção, importância considerável no dia a dia e com problemas específicos no fim de vida. Pelos motivos citados é crescente o interesse empresarial e acadêmico por assuntos relacionados à destinação correta de pneus inservíveis. Uma das abordagens que tem sido dada a este problema é por meio de estudos em LR, ou seja, estudos que visem a trazer produtos usados ou seus resíduos de volta para a cadeia produtiva, retornando ao ciclo de negócios (BAUER *et al.*, 2015). Estudos relacionados a LR de pneus inservíveis são importantes, pois conforme alertado por Rocha (2008), é um processo que apresenta características peculiares e complexas no que se refere ao transporte e armazenagem, devido às características físicas do pneu, como peso e tamanho.

A dificuldade na gestão da LR de pneus inservíveis apresentada na literatura pode ser percebida na realidade. Para a realização do presente trabalho, uma fase inicial de diagnóstico foi realizada. Nesta etapa, foi observada a LR de tal produto em cidades de pequeno e médio porte. Foi possível constatar que o processo não ocorre nas cidades visitadas ou quando ocorre o processo é ineficiente (FAGUNDES, LIMA e OLIVEIRA, 2014).

Xavier e Corrêa (2013) alertam que na LR sempre existe o conflito entre as questões econômicas e ambientais. A presente tese não perde o interesse por nenhum dos dois quesitos, fazendo uma análise dos custos e emissão de poluentes para a LR dos pneus inservíveis para a destinação ambientalmente correta. Xavier e Corrêa (2013), também relatam que de forma geral, a gestão das cadeias reversas ainda ocorre de forma desarticulada. Os custos mais relevantes da LR consistem provavelmente mais no custo da ausência de integração entre os responsáveis pelo processo que efetivamente no custo do processo em si. A presente tese pretende analisar os impactos da integração das cidades na destinação de pneus.

Depois de uma revisão bibliográfica sobre gestão de pneus inservíveis Kannan, Diabat e Shankar (2014) concluíram que a maioria dos trabalhos na área se concentram principalmente nas técnicas de reciclagem e remanufatura, sendo que a gestão é estudada em poucos trabalhos.

O que motivou a escolha do objeto de estudo - pneus inservíveis em cidades de pequeno e médio porte- é o fato de que as cidades escolhidas são casos representativos do cenário brasileiro, uma vez que dos 5.565 municípios brasileiros, 5.282 deles têm população de até 100.000 habitantes, o que representa 94,91% do total de municípios (IBGE, 2011). Dentro deste contexto, Oliveira (2015) alerta para um quadro de não sustentabilidade econômica e de ineficiência no planejamento e gerenciamento, uma vez que, principalmente, os municípios de pequeno porte são muito dependentes do Governo Federal para repasses de verbas e pouco arrecadam com impostos e taxas municipais. Abrucio, Filippim e Dieguez (2013) relatam a importância da formação dos consórcios de cidades, ao constatarem que os municípios sozinhos não conseguem formular e implementar todas as políticas públicas de forma isolada.

O CISBRA foi escolhido por possuir a LR de pneus inservíveis em funcionamento, dentro dos padrões estipulados pela legislação. Além disto, tal consórcio possui um organizado processo de coleta de dados na entrega dos pneus, o que permitiu sua adequada modelagem.

Já a SED foi escolhida como ferramenta de análise para a LR de pneus inservíveis no consórcio estudado, porque segundo Hillier e Lieberman (2010) e Chwif e Medina (2014), este tipo de simulação é ideal para capturar as características de sistemas reais, principalmente, devido a sua natureza dinâmica e probabilística. Além disto, a SED possui como vantagem a possibilidade de permitir fazer simulações de alterações no sistema estudado e do impacto destas mudanças no desempenho do processo sem a inconveniência de interferência no processo real. Somente depois de realizadas as análises, a situação mais vantajosa pode ser implementada com o conhecimento prévio dos custos e impactos. Este aspecto é essencial para o processo de LR de pneus inservíveis que envolve diferentes agentes (prefeituras, consumidores, pontos de venda e conserto de pneus e fabricantes).

1.3 Contribuição científica

Uma análise bibliométrica foi realizada no dia 23/04/2017 com a finalidade de comprovar a contribuição científica da presente tese. Os termos pesquisados foram: LR e SED. As bases de dados consultadas foram: *Scopus*, *Emerald*, *Web of Science* e *Scielo*. As bases pesquisadas são consideradas importantes no meio acadêmico, uma vez que contém importantes periódicos multidisciplinares e reconhecidos internacionalmente (HERCULANO

e NORBERTO, 2012). Os mesmos autores salientam a importância da base de dados *Scopus*, considerada a maior base de artigos e resumos.

Primeiro foi feita a análise bibliométrica considerando pesquisas que contêm os dois termos selecionados em qualquer lugar do artigo. A pesquisa foi realizada sem restrição de data de publicação. A Tabela 1.1 apresenta os resultados desta consulta:

Tabela 1.1- Análise bibliométrica: número de trabalhos publicados

Bases consultadas	Logística Reversa (LR)	Simulação Eventos	LR e SED
		Discretos (SED)	
<i>Scopus</i>	8449	25557	118
<i>Emerald</i>	675	380	87
<i>Web of Science</i>	2118	6040	11
<i>Scielo</i>	58	60	0

Pela Tabela 1.1, fica claro o interesse da área acadêmica pelos dois principais temas em estudo. No entanto, os dois temas estudados simultaneamente aparecem em apenas 118 trabalhos. Como a intenção de investigar mais detalhadamente a interação dos dois temas, foi realizada uma nova pesquisa nas bases de dados restringindo ao aparecimento das duas expressões no título, palavras chaves ou resumo. A Tabela 1.2 mostra o resultado:

Tabela 1.2 - Análise bibliométrica: número de trabalhos publicados por palavras-chave

Bases consultadas	Logística Reversa (LR)	Simulação Eventos	LR e SED
		Discretos	
<i>Scopus</i>	2491	13491	9
<i>Emerald</i>	78	19	0
<i>Web of Science</i>	894	1421	1
<i>Scielo</i>	28	15	0

Todos os artigos que combinam as expressões foram analisados, mas em nenhum caso tratam do uso de SED para análise da LR de pneus inservíveis realizada por consórcio de cidades. Isto será mostrado detalhadamente na revisão bibliográfica. Por meio da análise das principais bases de artigos acadêmicos foi possível constatar o caráter inédito da presente tese, que deixará como contribuição científica a importância de se utilizar a SED para analisar situações da LR de pneus por consórcios e um modelo para que seja possível realizar a replicação do trabalho aqui apresentado.

1.4 Classificação da Pesquisa

A pesquisa foi classificada segundo a proposta de Miguel *et al.* (2010):

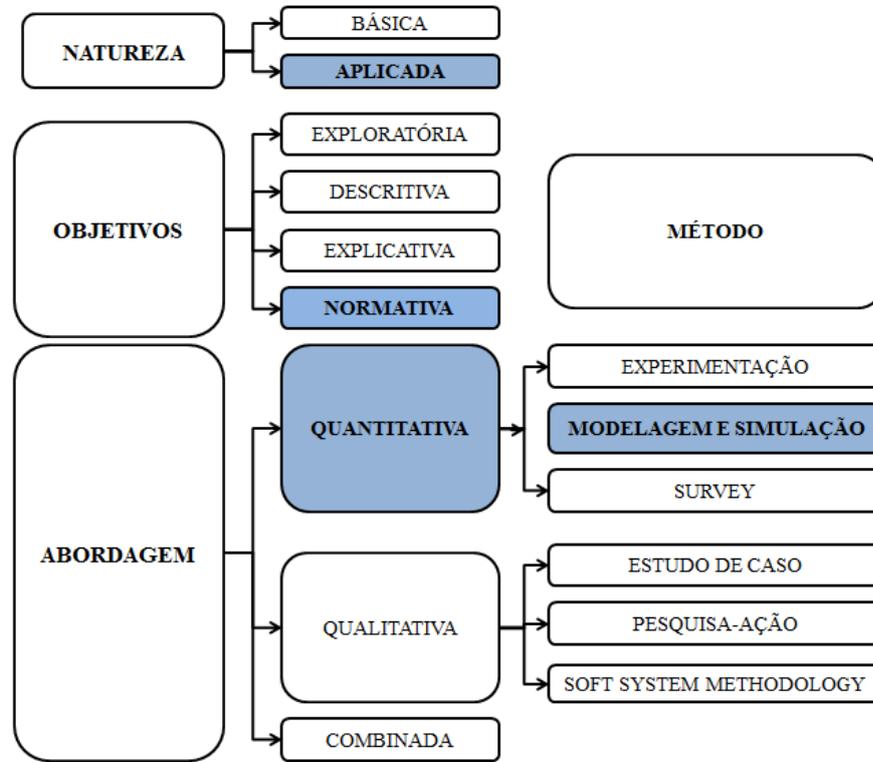


Figura 1.1- Classificação da pesquisa segundo a proposta de Miguel *et. al* (2010)

Natureza: aplicada

Segundo Appolinário (2004) e Barros e Lehfeld (2000), a pesquisa aplicada tem como característica produzir conhecimentos para resolver problemas reais, ou seja, contribuir com fins práticos. Este trabalho pode mostrar como melhorar o planejamento na LR de pneus inservíveis por consórcio de cidades de forma a economizar dinheiro público e reduzir as emissões de poluentes. A intenção é que tal pesquisa encoraje as cidades que ainda não se organizaram em consórcio ao mostrar o quanto pode ser vantajoso este arranjo. Este trabalho poderá ser utilizado pelo consórcio estudado e replicado por diferentes consórcios em todas as regiões do Brasil.

Abordagem: quantitativa

Segundo Martins (2010), a principal característica de uma pesquisa quantitativa é o fato do pesquisador capturar as evidências de pesquisa por meio da mensuração das variáveis. No presente trabalho, esta característica está presente, pois os resultados dos cenários simulados serão dados por meio dos valores quantitativos das variáveis adotadas.

A pesquisa quantitativa pode ser axiomática ou empírica, de acordo com a classificação de Bertrand e Fransoo (2002). Cada uma destas classificações é subdividida em normativa ou descritiva. Esta tese é classificada como pesquisa empírica normativa, devido à necessidade de garantir a adequação entre o modelo desenvolvido e as observações e ações no sistema real. A principal característica deste tipo de pesquisa é o foco na descrição adequada das relações causais que existem na realidade e levam ao entendimento do processo em estudo.

Objetivo: normativa

Segundo Bertrand e Fransoo (2002) na pesquisa normativa existe o interesse em desenvolver políticas, estratégias ou ações para melhorar um sistema real corrente. Esta pesquisa é normativa, pois pretende encontrar estratégias para melhorar o sistema real existente.

Método: Modelagem e Simulação

Martins (2010) cita que este método de pesquisa é um dos mais adequados para se conduzir uma pesquisa quantitativa. Dentro do objetivo proposto no presente trabalho apresenta-se como o método mais adequado, uma vez que permite experimentar modificações e verificar como o sistema responderá. As modificações são realizadas em um modelo de simulação por meio de cenários comparativos.

1.5 Estrutura da Tese

Além deste capítulo introdutório, a presente tese ainda contém 5 capítulos.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica que embasa a pesquisa realizada. Os dois temas principais, LR e SED, são explorados e contextualizados, sobretudo nas questões que envolvem pneus inservíveis. Temas complementares também foram analisados, como Consórcio de Cidades e questões práticas e legais na LR de pneus inservíveis.

No capítulo 3 toda a fase de modelagem e simulação aparece detalhada.

O capítulo 4 traz a análise dos resultados dos cenários simulados e uma discussão sobre a aplicação da SED, para análise de diferentes cenários na LR dos pneus inservíveis pelo consórcio de cidades alvo deste estudo.

O capítulo 5 apresenta a conclusão, levando em consideração os resultados alcançados. Para finalizar, nesse capítulo também são apresentadas propostas para novos trabalhos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo traz o estado da arte que suporta a tese. Os temas principais foram pesquisados e são apresentados de forma a contextualizar o objeto de estudo e a ferramenta utilizada. Foram utilizados artigos científicos disponibilizados nos principais bancos de dados de pesquisas acadêmicas, dissertações, teses e trabalhos apresentados em congressos. Devido à natureza do tema também foram pesquisados relatórios de empresas do ramo de pneumáticos e legislações que impactam diretamente a LR dos pneus inservíveis.

2.1 Logística Reversa

Segundo Kannan, Diabat e Shankar (2014) a preocupação com a gestão dos resíduos sólidos pôde ser melhor percebida a partir da década de 1990. Esta crescente atenção à gestão dos produtos em fim de vida tem importância não apenas pelos efeitos ambientais do aumento de resíduos devido à tendência mundial de aumento do consumo, mas também devido a fatores econômicos (DEMIREL, DEMIREL E GÖKÇEN, 2014; DAS e DUTTA, 2013).

Para viabilizar a Gestão dos Resíduos Sólidos a LR é uma ferramenta fundamental. Por este motivo, segundo Demirel e Gökçen (2008), a LR tem recebido atenção nas últimas décadas devido à crescente preocupação ambiental, à redução dos recursos naturais não renováveis e ao esgotamento da capacidade de aterro em muitos países. De acordo com Govindan *et al.* (2012) muitas empresas estão também utilizando a LR como uma ferramenta estratégica para aumentar lucro, para evitar desperdícios e também para melhorar o relacionamento com os clientes.

A LR é definida como sendo o movimento de produtos ou materiais na direção oposta à da logística tradicional (direta) com o objetivo de criar e recapturar valor, ou para que seja feita a disposição adequada de diferentes tipos de produtos (DEMIREL *et al.*, 2014; DAS e DUTTA, 2013; DIAS, LABEGALINI e CSILLAG, 2012; TIBBEN-LEMBKE e ROGERS, 2002). Govindan *et al.* (2012) enfatizam a importância da LR através da definição de cadeia de suprimento: representa as atividades envolvidas no *marketing*, planejamento, compras, fabricação, distribuição, processo de entrega e LR.

Dias *et al.* (2012) iniciam um relato dos primórdios da LR mencionado que data do início dos anos 70 a mais antiga referência localizada na literatura sobre o tema: o autor Zikmund (1971) descreveu a necessidade de recolhimento de materiais sólidos provenientes do pós-consumo para reutilização pelo produtor sob o termo “ Distribuição Reversa”. Dias *et al.* (2012) continuam o histórico relatando que Ginter e Starling (1978) estudaram a questão

da reciclagem e consequentes vantagens econômicas e ecológicas utilizando o termo “Canais de Distribuição Reversos”. Publicações posteriores citadas por Dias *et al.* (2012), como a de Lambert e Stock (1981), que descrevia a “distribuição reversa”, e Barnes (1982) que utilizou o termo “Logística Reversa”, mostraram a importância da reciclagem em benefício dos negócios e da sociedade.

Apesar dos estudos sobre esta área do conhecimento terem se iniciado na década de 70, Chaves e Batalha (2006) afirmam que no meio empresarial, foi a partir da década de 1990 que as empresas passaram a vê-la como uma fonte importante de redução de perdas. Segundo estes autores, mesmo em países onde os conceitos e ferramentas clássicas de logística já eram mais utilizados, como na Europa e nos Estados Unidos, os conceitos de LR passaram a ser utilizados com mais intensidade.

De acordo com Schweiger e Sahamie (2013), a literatura sobre LR é dividida em dois tipos de problemas de planejamento quando é levado em consideração o relacionamento com a rede para frente: em circuito fechado e redes de recuperação (circuito aberto). Os circuitos fechados levam em consideração simultaneamente o fluxo para frente e o reverso, enquanto as redes de recuperação se referem apenas aos fluxos reversos. De acordo com Leite (2009) nos canais de circuito ou ciclo aberto os materiais não retornam para a mesma cadeia produtiva de origem. São exemplos os metais, os plásticos e os pneus. Já nos canais de ciclo fechado há o retorno de materiais para fabricação de um produto similar ou igual ao de origem. Um exemplo são as latas de alumínio.

Outra importante classificação da LR é em pós-venda e pós-consumo. Segundo Leite (2009) a LR pós-consumo refere-se ao retorno ao ciclo produtivo dos produtos e materiais originados do descarte depois de finalizada sua utilidade. Distinguem-se em três subsistemas: os canais reversos de reuso, de remanufatura e de reciclagem, caso de estudo deste trabalho. Já a LR pós-venda, segundo Leite (2009), é o retorno de produtos, com pouco ou nenhum uso, que fluem no sentido inverso, motivados por problemas relacionados à qualidade em geral ou a processos comerciais entre empresas, como devoluções por problemas de garantia, avarias no transporte, excesso de estoques, prazo de validade expirado e erros de expedição do pedido.

A LR é amplamente aplicada na atualidade, sendo um tema comum no meio empresarial e acadêmico. A Lei também menciona a necessidade de LR, sendo a PNRS uma referência neste campo, que ressalta a importância da LR dos pneus inservíveis. O próximo item mostra o porquê da preocupação legal com a destinação deste objeto.

2.2 Pneus: da fabricação ao fim de vida útil

Os pneus são objetos indispensáveis à vida moderna. São constituídos por borracha natural, borracha sintética, derivados de petróleo como o negro de fumo, cabos de aço, cordoneis de aço ou *nylon*, e produtos químicos como o enxofre (ANIP, 2017). A parcela de utilização de cada componente na fabricação destes itens varia de acordo com o uso que será dado ao produto final. Segundo Dhouib (2013), esta complexa composição dificulta a destinação final e a reciclagem quando chegam ao fim de suas vidas úteis.

De acordo com Stark (2015) há dois tipos de pneus comumente usados no transporte rodoviário: os radiais e os diagonais, também chamados de convencionais. Os primeiros são usados geralmente em veículos leves como carros e os outros em veículos de grande porte como caminhões e ônibus. Nos pneus radiais os reforços estruturais são de aço e nos pneus diagonais são de materiais têxteis como *nylon* (LAGARINHOS, 2008). Segundo esse autor, a estrutura determina a melhor destinação ao fim da vida útil, por exemplo, os pneus radiais são menos interessantes para o processo de laminação devido à presença de aço.

De acordo com Souza (2011), os pneus usados podem ser classificados em três tipos: em condição de reuso, em condição para remanufatura e pneus inservíveis. Para Kannan, Diabat e Shankar (2014) a definição de pneu em fim de vida mais aceita em nível mundial é a dada pelo “*World Business Council of Sustainable Development (WBSCD)*”: “um pneu que não pode ser mais usado para sua finalidade original”. Já Brasil (2009) define pneu inservível como sendo um pneu usado que sofreu algum tipo de desgaste ou dano em sua estrutura, e que por isso não pode mais ser utilizado para rodagem ou remanufatura. Nesse caso, faz-se necessário buscar alternativas de destinação adequadas e que não prejudiquem o meio ambiente nem a saúde pública. A Figura 2.1 mostra os fluxos possíveis para os pneus usados.

Souza (2011) explica que os pneus em condições de uso, por ainda possuírem as características funcionais dentro dos padrões de segurança, podem ser reinseridos no mercado de revenda de pneus sem a necessidade de nenhum tipo de processo de remanufatura. São os pneus usados vendidos no mercado a um preço mais acessível.

Os pneus com características funcionais comprometidas, mas em condição de reparo, podem ter a vida útil prolongada através de um processo que restaura as suas características de rodagem. Tais processos são conhecidos como processos de remanufatura e são de três tipos: recapagem, recauchutagem e remoldagem. Segundo Lebreton e Tuma (2006) esses processos podem recuperar financeiramente até 80% do valor de um pneu novo.

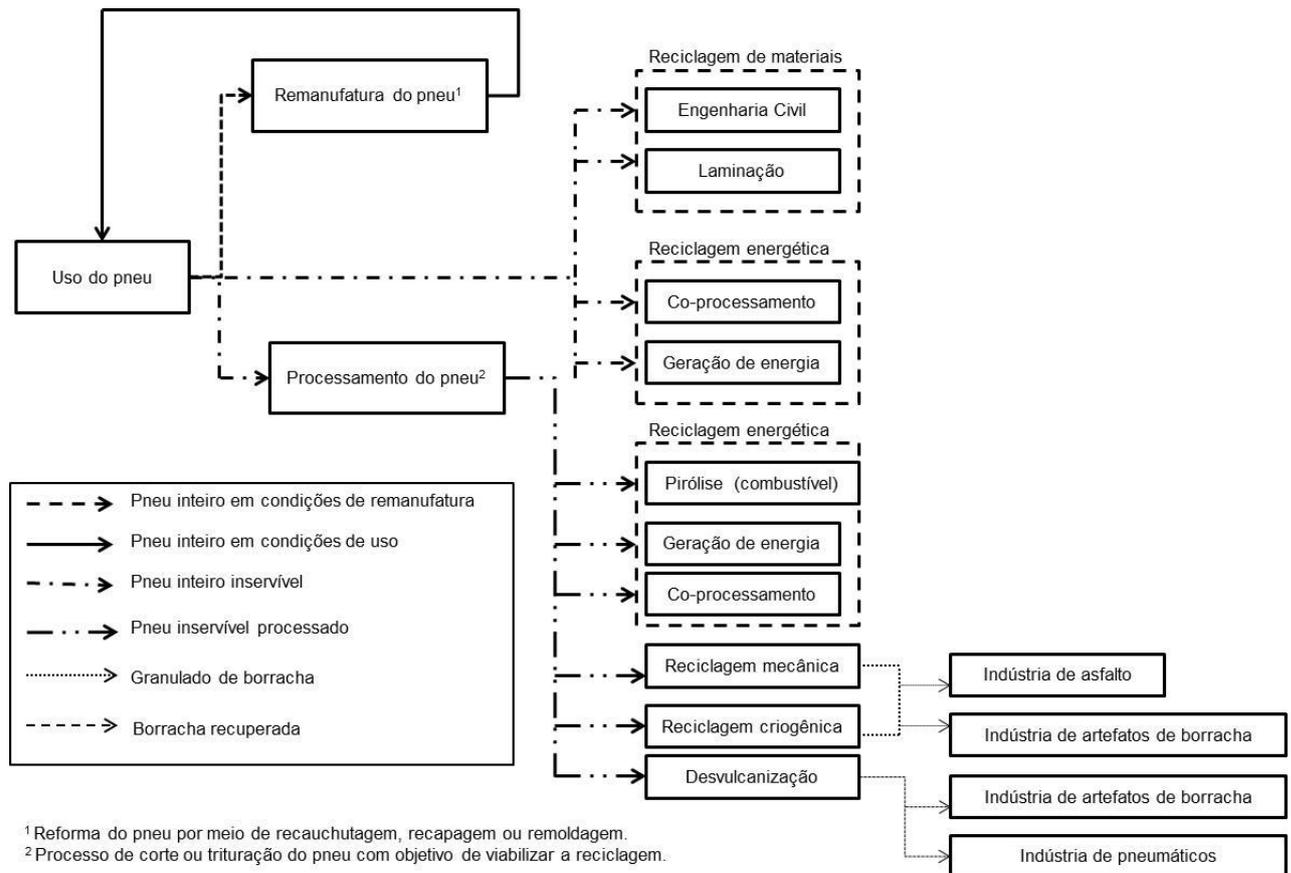


Figura 2.1-Alternativas para pneus usados

Fonte: Souza (2011)

Segundo Kamimura (2002) e ABR (2016) a reforma de pneus, consiste em substituir a banda de rodagem velha e desgastada por uma banda de rodagem nova, através de processos industriais. Na recapagem a reconstrução do pneu acontece através da substituição da banda de rodagem. Na recauchutagem ocorre a substituição da banda de rodagem e dos ombros e na remoldagem há a substituição da banda de rodagem, dos ombros e de toda a superfície de seus flancos (Lebreton e Tuma, 2006).



Figura 2.2- Tipos de reformas de pneus

Fonte: Lagarinhos (2011)

Conforme mostrado na Figura 2.1, uma das formas encontradas para utilizar um pneu inservível é a reciclagem, que pode ser de dois tipos. Na primeira forma o pneu inteiro pode ser destinado a obras de engenharia civil ou passar pelo processo de laminação, onde o pneu é cortado em tiras dimensionadas para ser utilizado na produção de outros produtos. O segundo tipo de reciclagem é a energética, onde o pneu pode ser utilizado para o coprocessamento e para a geração de energia. De acordo Stark (2015), Souza (2011), Lebreton e Tuma (2006), o coprocessamento acontece geralmente nas indústrias de cimento e consiste na utilização do pneu para geração de energia e adição dos resíduos oriundos da queima ao cimento. Lebreton e Tuma (2006) ainda relatam que na Alemanha é sempre mais econômico substituir os combustíveis tradicionais (carvão, coque de petróleo ou óleo diesel) por pneus inservíveis para o coprocessamento e para a geração de energia.

De acordo com Souza (2011) e mostrado na Figura 2.1 ainda há casos em que não é possível utilizar o pneu inteiro e, portanto, é necessário submeter o pneu a um pré-tratamento, que tem por objetivo diminuir o seu tamanho, tornando-o um pneu processado. São quatro tipos de reciclagem aplicados ao pneu processado: energética, mecânica, criogênica e desvulcanização. Detalhamento sobre estes processamentos são descritos em Souza (2011), Lagarinhos (2011), Costa (2009), Lagarinhos e Tenório (2008).

Além das utilizações da atualidade, muitos trabalhos citam a necessidade de desenvolver tecnologias que utilizem os pneus inservíveis de maneira eficiente. Basicamente os estudos têm duas frentes: a utilização na construção civil e melhorias no processo de geração de energia.

De acordo com Uruburu *et al.* (2013) o Sistema de Gerenciamento Integrado da Espanha tem participação em uma série de projetos que visam o desenvolvimento de novas aplicações para os materiais obtidos a partir dos pneus em fim de vida. O mais relevante é o

uso de materiais de pneus em massa de concreto. Os estudos precisam ser aprimorados, mas os resultados iniciais são promissores. Sang Son, Hajirasouliha e Pilakoutas (2011) investigaram a eficiência do concreto cheio de borracha oriunda de pneus inservíveis e observaram uma melhora na deformabilidade e capacidade de absorção de energia de pilares, o que o torna adequado para aplicações sísmicas. Aiello *et al.* (2009) mostram o projeto de pesquisa realizado na Universidade de Salento (Itália) com o objetivo de investigar o comportamento mecânico do concreto oriundo do cimento reforçado com fibras de aço reciclado a partir de resíduos de pneus.

Donatelli, Iovane e Molino (2010) e Singh *et al.* (2009) estudaram a utilização da borracha de pneus inservíveis como substituto de combustíveis tradicionais para a geração de energia com redução de poluentes emitidos. Aylón *et al.* (2010) e Bernardo *et al.* (2010) mostram experimentos de remoção de contaminantes no processo de pirólise que utiliza resíduos sólidos diminuindo assim a toxicidade dos resíduos.

2.3 Mercado Brasileiro de Pneus

Analisando as informações divulgadas pela ANIP (2017), pode-se perceber a importância do setor de pneumáticos na economia brasileira: no ano de 2016 a quantidade de postos de trabalho diretos gerado pelo setor de pneumáticos era de 28,5 mil, nas vinte fábricas espalhadas pelo território nacional (1 Amazonas, 3 Paraná, 2 Rio Grande do Sul, 9 São Paulo, 2 Rio de Janeiro e 3 Bahia). Além disto, soma em cerca de 110 mil postos de trabalho indiretos proporcionados pelo setor através da extração de borracha natural (50 mil trabalhadores), fabricação de elastômeros (mil trabalhadores), revendas de pneus de reposição (40 mil trabalhadores) e reformadores de pneus (17 mil trabalhadores).

A evolução da quantidade de pneus produzidos no Brasil pelas empresas que compõem a ANIP ao longo dos anos, assim como a quantidade de pneumáticos vendidos e os principais canais de vendas, são mostrados respectivamente na Tabela 2.1 e nas Figuras 2.3 e 2.4:

Tabela 2.1- Produção de pneus no Brasil

	PRODUÇÃO POR CATEGORIA (Milhares de unidades)										
	2006	2007	2008	2009	2010(*)	2011	2012	2013(**)	2014	2015	2016
CARGA	6.947,40	7.319,30	7.367,10	6.033,60	7.735,30	7.448,80	7.138,00	8.231,33	7.894,36	6.829,05	7.431,21
CAMIONETA	5.894,00	6.058,40	5.841,90	5.599,80	7.940,80	8.470,60	8.267,80	9.904,48	8.860,74	8.843,08	10.014,59
PASSEIO	28.948,70	28.791,40	29.585,90	27.489,30	33.812,80	32.568,20	30.406,40	32.554,32	33.266,71	37.399,85	36.584,87
MOTO	11.438,80	13.725,50	15.249,30	13.158,10	15.205,60	16.078,50	14.519,50	15.041,60	15.514,35	14.614,75	12.888,09
AGRÍCOLA	559,30	698,20	776,00	593,30	781,40	793,80	807,20	928,49	873,85	719,49	796,58
OTR	129,30	131,90	127,20	86,70	136,00	109,70	107,80	103,30	118,42	103,20	105,72
INDUSTRIAL	498,50	462,10	716,40	1083,30	1633,20	1396,90	1360,30	2072,81	151,55	120,80	49,29
AVIÃO	51,00	60,90	47,60	41,80	60,00	60,10	54,00	52,57	50,52	0,79	0,00
TOTAL	54.467,00	57.247,70	59.711,40	54.085,90	67.305,10	66.926,60	62.661,00	68.888,90	66.730,50	68.631,00	67.870,35

*entrada de novos associados

Fonte: ANIP (2017)

A diferença entre a produção, apresentada na Tabela 2.1, e as vendas, apresentada na Figura 2.3, deve-se ao fato da importação de pneus. O Brasil consome mais que produz.

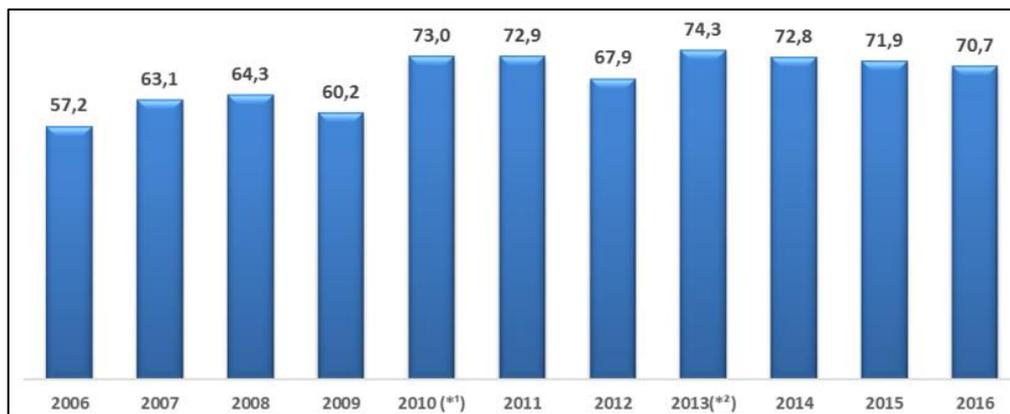


Figura 2.3- Vendas totais em milhões de unidade

Fonte: ANIP (2017)

A Figura 2.4 mostra que os principais consumidores estão no mercado de reposição. Isto enfatiza a importância do presente estudo, pois os pneus em fim de vida deste público, se devidamente descartados, passarão pelo processo estudado nesta tese.

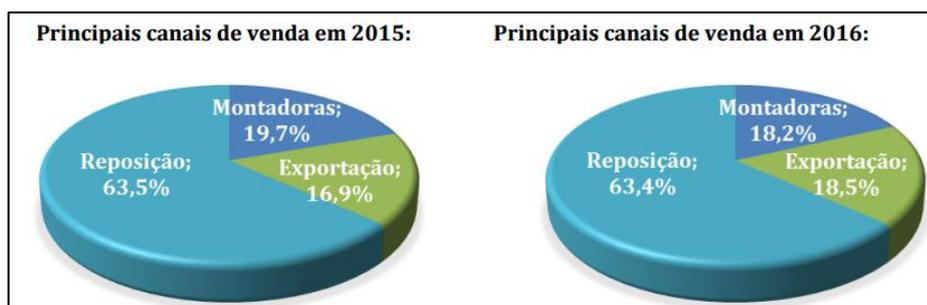


Figura 2.4- Principais canais de vendas

Fonte: ANIP (2017)

Segundo ANIP (2017), a balança comercial do setor, que era positiva até 2006, tornou-se deficitária devido a entrada maciça de produtos importados, principalmente da Ásia, onde custos menores de insumos, mão de obra e impostos criaram um ambiente de queda de competitividade da produção industrial no Brasil. Lagarinhos, Tenório e Espinosa (2013) citam que o pneu importado da China é um pneu de baixo custo, o que acaba interferindo no preço dos pneus remanufaturados e na produção nacional de pneus novos. Outros problemas citados pelos mesmos autores é a qualidade questionável dos produtos importados de países como a China e o não cumprimento por parte de algumas importadoras independentes de pneus, da obrigação legal de recolher os pneus inservíveis e dar-lhes destinação ambientalmente adequada.

A ANIP (2017) apresenta algumas propostas para solucionar problemas enfrentados dentro do cenário atual. Os que merecem atenção no presente trabalho devido ao tema são:

- Desoneração do custo de LR e redistribuição do custo: estima-se que a incidência tributária sobre a coleta, triagem, transporte e reciclagem dos pneus custa R\$ 9,3 milhões ao setor anualmente. A proposta é a desoneração do PIS/COFINS e ICMS em toda a cadeia de LR. Com esta desoneração a previsão é que a matéria prima resultante possa competir com o produto virgem e ter sua utilização ampliada. A proposta em distribuir o custo do processo de destinação competitiva a todos os participantes da cadeia, desde fabricantes, revendedores e consumidores, acontece porque de acordo com ANIP (2017), atualmente os custos são de responsabilidade exclusiva dos fabricantes, o que onera inclusive a parcela de pneus destinados à exportação e não envolve o consumidor nesta responsabilidade. A sugestão é adotar um sistema similar ao da Europa, onde o custo é coberto por uma taxa paga pelo consumidor na hora da aquisição do pneu, o que divide a responsabilidade por toda a cadeia.
- Equacionamento do passivo de pneus gerados pelos importadores: segundo ANIP (2017) existe um passivo ambiental no Brasil de 152,5 mil toneladas de pneus inservíveis de responsabilidade dos importadores que não cumpriram sua meta. A proposta é que sejam identificados importadores independentes que não efetuam o recolhimento e destinação de inservíveis correspondentes à quantidade que vendem no mercado brasileiro e agir contra os que não cumprem a legislação.
- Estímulo à ampliação do mercado de borracha reciclada: o Livro Branco da Indústria de Pneus disponibilizado em ANIP (2017) sugere condicionar às concorrências públicas à utilização do asfalto borracha para pavimentação de ruas e estradas. Mencionam que estudos do Departamento de Estradas de Rodagem (DER)

demonstram que a massa asfáltica com borracha recuperada (asfalto borracha) é 50% mais durável do que a tradicional, possui alta elasticidade, é mais resistente ao envelhecimento e ajuda na frenagem do veículo. Segundo ANIP (2017), o custo do asfalto borracha é quase o mesmo do asfalto comum e sua durabilidade maior compensa a diferença. Também sugere o estímulo a geração de calor e energia elétrica pela queima de pneus inservíveis.

2.4 Estudos sobre LR de Pneus Inservíveis no Brasil

A LR dos pneus inservíveis é objeto de muitos estudos realizados no Brasil. Além dos trabalhos mostrados na análise bibliométrica no capítulo 1, artigos, dissertações e teses nacionais mostram alguns exemplos de pesquisas realizadas em território brasileiro.

Fagundes, Amorim e Lima (2017) apresentam uma pesquisa-ação sobre a LR de pneus inservíveis em um município de pequeno porte com foco na fase inicial do processo, a coleta, que se apresenta como um dos gargalos. Segundo os autores, um dos principais fatores que complica o correto funcionamento do processo é que consumidores finais, órgãos públicos e empresas particulares devem trabalhar conjuntamente. Dentro deste contexto, o trabalho teve como objetivo identificar oportunidades de melhoria na coleta de pneus inservíveis, através de uma pesquisa-ação que envolveu a participação simultânea de um órgão público e de empresas privadas. O trabalho foi realizado em uma cidade com menos de cem mil habitantes no Brasil. O resultado final mostrou a eficiência do método de pesquisa-ação aplicado em um processo que envolveu os setores público e privado, uma vez que após a implementação das melhorias a coleta mensal aumentou em mais de 50%.

Stark (2015) propôs melhoria na LR de pneus inservíveis no estado de São Paulo por meio de um modelo linear inteiro misto como apoio às decisões de localização de instalações de centros de armazenamento e empresas intermediárias; alocação do material entre os níveis de ecopontos, centros, empresas intermediárias e destinação, visando a minimização dos custos.

Vivaldo *et al.* (2015) enfatizam a complexidade da LR de pneus inservíveis em uma cidade de 6164 habitantes localizada em Goiás. A cidade segue todo o procedimento para a adequada destinação deste resíduo: existem dois pontos de coleta que funcionam em duas borracharias, onde os agentes envolvidos na cadeia de pneumáticos depositam os pneus inservíveis. Os pneus coletados são levados semanalmente para uma área do aterro controlado municipal onde aguardam o transporte para a destinação final, que é uma fábrica de cimento

localizada a 60 km. O transporte para a destinação final acontece uma vez por mês e é de responsabilidade da prefeitura municipal, que para finalizar o ciclo solicita o certificado de destinação ambientalmente correta.

Vivaldo *et al.* (2015) citam como *benchmarking* na LR de pneus inservíveis o Programa Rodando Limpo que aconteceu em João Pessoa, (PB) desde março de 2005. O trabalho de Freitas e Nóbrega (2014) mostra em detalhes este programa, que consistiu na coleta e destinação final dos pneus inservíveis para utilização como combustível em fornos de fabricação de clínquer. Estes autores confirmaram os benefícios no coprocessamento e ações realizadas pelo setor de pneus em conjunto com a indústria cimenteira que ajudam a resolver os graves problemas ambientais resultantes do descarte de pneus inservíveis.

Bauer *et al.* (2015) através de um estudo de caso duplo descrevem como os pneus podem retornar ao ciclo de negócios após serem usados. O trabalho mostra os diferentes canais de retorno. Os pneus descartados que ainda são servíveis podem passar por processos de recuperação que ainda garantirão sua utilização por mais algum tempo. Já os pneus inservíveis podem retornar como matéria prima para a indústria cimenteira, destinados para o coprocessamento em fornos de clínquer. Neste caso, podem também ser destinados à reciclagem, para a indústria de artefatos, construção civil, indústria de construção rodoviária e de materiais de fricção.

Andrade, Jesus e Cruz (2015) relatam em seu trabalho a baixa eficiência da LR com posterior destinação ambientalmente correta dos pneus inservíveis no extremo sul da Bahia, como a inexistência de ponto de coleta e descarte dos pneus em lixões e aterros. Para auxiliarem na resolução do problema, propuseram a criação de uma usina de reciclagem e fizeram uma análise de viabilidade econômica, social e ambiental. Apesar dos resultados serem positivos quando analisados os aspectos sociais e ambientais, a viabilidade econômica não justifica o investimento, com uma rentabilidade de 3% ao ano e conseqüentemente um prazo de retorno de investimento de aproximadamente 34 anos. Os autores concluem que a inviabilidade econômica é devido ao alto custo com a implantação da recicladora, o que poderia ser resolvido com uma parceria com fabricantes de pneus ou com a própria ANIP.

Lagarinhos, Tenório e Espinosa (2013) apresentam os resultados obtidos com a reciclagem de pneus no Brasil pelos fabricantes e importadores de pneus inservíveis e as tecnologias utilizadas para a destinação final. Este trabalho traz como conclusão a importância de se aumentarem as ações para que a meta de destinação ambientalmente correta sempre seja alcançada. Outra contribuição deste trabalho é o ponto para reflexão sobre o fato de que os

fabricantes e importadores não trabalham em conjunto para realizar a coleta, transporte e destinação dos pneus inservíveis o que gera um aumento do custo da coleta e destinação.

Spreafico *et al.* (2012) fizeram o diagnóstico da LR de pneus inservíveis na região norte do Ceará. O resultado mostra a desinformação e não atendimento às legislações federais como os principais problemas na disposição final dos pneus inservíveis.

Souza e D' Agosto (2013) e Souza (2011) fizeram a análise da cadeia de valor de uma rede de LR de pneus inservíveis. O estudo comprova que é possível distribuir os benefícios financeiros ao longo da cadeia, quando a destinação final dos pneus é o coprocessamento em fábricas de cimento substituindo o coque de petróleo. O método proposto pode ajudar a melhorar os processos existentes ao longo da cadeia de LR, reduzir custos ou criar valor para o cliente. A grande contribuição do estudo de Souza e D' Agosto (2013) e Souza (2011) é que os pneus inservíveis que são geralmente considerados bens de valor negativo que não geram receita quando reintroduzidos no ciclo de produção, podem sim constituir uma rede sustentável economicamente. Apesar do método proposto mostrar que é possível remunerar os elementos da cadeia, em situações extremas em que o coque de petróleo atinge o valor mínimo, em outras situações torna-se insustentável a substituição. Apesar do estudo de Souza e D' Agosto (2013) e Souza (2011) ser limitado a situação proposta no trabalho, para a cidade do Rio de Janeiro tendo como cliente a fábrica de cimento mais próxima, é um grande passo para tratativas visando o lado econômico desta rede logística e não apenas ambiental. Souza e D' Agosto (2013) e Souza (2011) concluem que a possibilidade de obter algum benefício financeiro para todos os agentes da cadeia, aumenta a atratividade da utilização de pneus inservíveis na cadeia de LR, que pode fornecer um abastecimento mais regular dos pneus processados e um melhor nível de serviço ao cliente.

Uma conclusão importante do trabalho de Souza e D' Agosto (2013) e Souza (2011) é que a principal limitação para o uso de pneus inservíveis como um substituto para o coque de petróleo é o fato das fábricas de cimento no Brasil serem pagas para eliminar este resíduo, situação que foi desconsiderada no estudo. Os autores finalizam mencionando que essa destinação pode não ser a mais adequada, mas por ser a mais utilizada no Brasil e no restante do mundo, merece atenção e estudos para melhorias no processo. Neste estudo não foram considerados os potenciais benefícios sociais e ambientais oriundos da reciclagem dos pneus.

Rocha (2008) utilizou modelos de localização para um sistema de LR dos pneus inservíveis no estado do Ceará, visando à reciclagem da borracha a ser empregada na pavimentação asfáltica. O objetivo do trabalho foi determinar uma configuração adequada para a rede de coleta de pneus inservíveis no estado do Ceará, identificando a localização

apropriada para instalação de pontos de coleta e propondo ações que auxiliem na dinamização do fluxo reverso de pneus.

Pode-se perceber que existe uma lacuna de estudo referente ao aumento da eficiência no processo de LR dos pneus inservíveis relacionado ao funcionamento dos consórcios de cidade. Além disto, nenhum dos estudos descritos faz uso da SED para análise de alternativas que aumentem o desempenho do sistema. Estes aspectos são tratados na presente tese.

2.5 Logística Reversa de Pneus Inservíveis no Exterior

Há várias pesquisas realizadas a nível internacional com o intuito de melhorar a LR dos pneus inservíveis.

Subulan, Taşan e Baykasoğlu (2015) propuseram um modelo de cadeia de suprimentos fechada para os pneus usando programação linear inteira mista. O objetivo do trabalho foi otimizar a rede em termos de maximização de lucros e minimização de impactos ambientais. O modelo foi aplicado em uma região da Turquia.

Kannan, Diabat e Shankar (2014) analisaram os fatores motivadores da gestão dos pneus em fim de vida no cenário indiano com a ajuda de um processo de tomada de decisão multi-critério (MCDM) denominado *Interpretive Structural Modeling* (ISM). Segundo Sage (1997) *apud* Govindan *et al.* (2012) o ISM pode ser usado para identificar e sintetizar as relações entre variáveis que definem um problema e mostrar qual tem maior peso em uma tomada de decisão. Kannan, Diabat e Shankar (2014) justificaram a realização da pesquisa, devido ao fato de não existir uma LR para os pneus inservíveis na Índia, o que gera um milhão de pneus inservíveis anualmente. O resultado da análise mostra que os principais fatores que influenciam a gestão de pneus em fim de vida no cenário indiano são a conservação ambiental, responsabilidade estendida ao produtor (EPR), códigos de conduta e a escassez de recursos. Os outros fatores analisados, que se mostraram menos influentes no cenário analisado, foram: capacidade dos aterros, questões de saúde, pressão dos *stakeholders*, recuperação de valor, opções de reciclagem e remanufatura, LR, *eco design* e benefícios de custo.

Dhouib (2013) aplicou uma extensão do modelo de MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) para um ambiente *Fuzzy* com a intenção de auxiliar uma empresa de manufatura de pneus usados na Tunísia a encontrar as melhores alternativas de reciclagem. De acordo com Dhouib (2013) a abordagem *Fuzzy* MACBETH é um modelo genérico que avalia opiniões qualitativas de especialistas e unifica

as classificações criando um fator quantitativo. Três especialistas foram convidados a classificar qual a melhor forma de destinação dos pneus baseados nos seguintes critérios: mercado, lucro, empregabilidade e impactos ambientais. A avaliação final mostrou a seguinte ordem como melhores formas de aproveitamento: fornos de cimento, superfícies de *playground*, paredes com isolamento acústico, obras de engenharia civil e reuso.

Uruburu *et al.* (2013) analisaram o impacto da Diretiva 2008/98 da União Europeia para os pneus inservíveis na Espanha e fizeram a comparação com outros países. Os autores identificaram os desafios e oportunidades no contexto atual. Uma das análises mostra que a quantidade de pneus coletadas supera a quantidade de pneus colocados no mercado. Isto se deve principalmente às fraudes de vendas não declaradas (por exemplo, pneus importados através da Internet). Neste caso os vendedores não cumprem obrigações legais, o que traz consequências negativas não apenas para o próprio setor, mas para toda a sociedade, uma vez que os consumidores finais incorrem esse custo na compra de gestão dos pneus novos e os únicos beneficiários são os fraudadores. Uruburu *et al.* (2013) sugerem dois tipos de medidas para superar este problema: a administração pública deve tomar medidas para controle e punição deste tipo de atitude e todos os envolvidos devem se unir contra esta prática fraudulenta. As conclusões finais do trabalho mostram que o Sistema de Gerenciamento Integrado Espanhol é eficiente no gerenciamento dos pneus inservíveis atingindo 100% de retorno ambientalmente correto, assim como os demais países europeus. Os autores concluem que o desafio para o futuro é o desenvolvimento de novas aplicações para os pneus inservíveis com a finalidade de torná-lo matéria prima com valor e consequentemente tornar a cadeia reversa sustentável.

Sasiumar *et al.* (2010) fizeram uma revisão bibliográfica sobre remanufatura e ao identificarem falta na literatura de estudos sobre o mercado secundários no segmento de pneumáticos, propuseram um modelo genérico (modelo de programação linear inteira mista para maximizar o lucro de redes de LR em sistemas de remanufatura) para atender este mercado. Os autores validaram o modelo utilizando uma empresa de recauchutagem de pneus de caminhão situada na Índia.

Govindan *et al.* (2012) descrevem um estudo de caso onde foi utilizada uma análise da interação entre atributos através da ISM para escolha de um serviço terceirizado para fazer a LR de pneus inservíveis na Índia.

Lebreton e Tuma (2006) também estudaram a LR de pneus inservíveis para o caso de remanufaturas. O objetivo do trabalho foi investigar através da programação linear a rentabilidade do processo de recauchutagem. O modelo serviu para determinar o tempo ótimo

de retorno, bem como a quantidade ideal para evitar um excedente e conseqüente margem de contribuição em uma empresa representativa no mercado alemão de recauchutagem.

Ferrer (1997) pesquisou o processo de recauchutagem de pneumáticos e determinou uma regra de quantas vezes um pneu pode ser recauchutado para maximizar a sua utilização, antes de passar por um processo de destinação final. Apesar da variação de tempo decorrente das características específicas de cada tipo de pneumático, a maioria deve ser recauchutada de quatro a cinco vezes.

Como pode ser observado nenhum dos trabalhos citados fizeram uso da SED para analisar a LR de consórcios de cidades, reafirmando o ineditismo do presente trabalho.

2.6 Ações da LR de Pneus Inservíveis no Brasil

Bartholomeu e Caixeta-Filho (2011) citam que a primeira ação sobre coleta e destinação de pneus inservíveis no Brasil data de 1999 e foi implantado pela ANIP. O denominado “Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis” em 2007 foi substituído pela Reciclanip.

De acordo com a própria Reciclanip (2017), esta entidade sem fins lucrativos foi criada em março de 2007 pelos fabricantes de pneus novos Bridgestone, Goodyear, Michelin e Pirelli. Atualmente a Continental e a Dunlop também fazem parte da entidade, juntaram-se em 2010 e 2014, respectivamente. Quanto aos resultados alcançados, a Reciclanip (2017) divulga que desde 1999, quando começou a coleta dos pneus inservíveis pelos fabricantes, mais de 3,5 milhões de toneladas de pneus inservíveis foram coletados e destinados adequadamente.

Para viabilizar a LR, a Reciclanip conta com a ajuda das prefeituras municipais para instalação e administração dos pontos de coleta (PC). De acordo com a Reciclanip (2017) e Stark (2015), PC são os locais para onde devem ser levados os pneus recolhidos pelo serviço municipal de limpeza pública, por borracheiros, recapadores ou descartados voluntariamente pelo munícipe. Eles devem ter normas de segurança e higiene, como cobertura. Quando a prefeitura abre um PC, por meio da parceria de convênio, a Reciclanip fica responsável por toda gestão da logística de retirada dos pneus inservíveis do PC e pela destinação ambientalmente adequada deste material em empresas destinadoras licenciadas pelos órgãos ambientais competentes e homologados pelo IBAMA.

A Figura 2.5 mostra a evolução do número de pontos de coletas instalados pelo Brasil a partir do convênio entre prefeituras e Reciclanip.

Além da quantidade dos PC a nível nacional, outro indicador do programa são os Relatórios de Pneumáticos que anualmente são divulgados pelo IBAMA. A indústria nacional sempre cumpre as metas estipuladas.

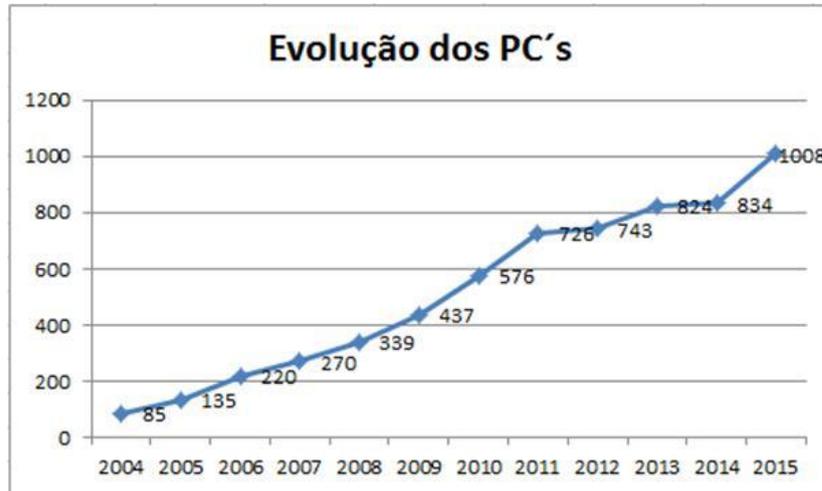


Figura 2.5- Evolução no Número de Pontos de Coleta no Brasil

Fonte: Adaptado de Reciclanip (2017)

No site da própria Reciclanip as prefeituras e empresas interessadas em abrir PC encontram as informações para obter a minuta do Convênio de Cooperação Mútua e conseqüentemente formalizar o acordo. No contrato firmado, as empresas ou prefeituras comprometem-se a:

- Definir local coberto, protegido de chuva, para instalação do PC. Gerenciar a sua operacionalização e efetuar o carregamento dos veículos de transporte de pneus inservíveis, certificando-se e garantindo que o local atenda as exigências legais a que se destina;
- Comunicar à Reciclanip sobre a disponibilidade de pneus para coleta com setenta e duas horas de antecedência;
- Comunicar e estimular a população local ao cumprimento do convênio;
- Garantir a disponibilidade do PC para o recebimento dos pneumáticos inservíveis do município; não sendo disponibilizado para recebimento de pedaços de borrachas, tiras, pó, lascas, ou qualquer outro resíduo de borracha.

Já a Reciclanip, através do contrato, compromete-se:

- A retirar dos PC os pneus inservíveis desde que atenda ao volume mínimo de 2.000 pneus de passeio ou 300 pneus de carga e dar destinação ambientalmente correta de acordo com a legislação;
- Informar ao município ou empresa, sempre que solicitado, a quantidade de pneus retirados e sua destinação.

Cada parte deve cumprir com suas obrigações com recursos financeiros próprios. O convênio depois de assinado tem duração de 24 meses, podendo ser estendido através de termo aditivo.

Existem três tipos de minutas disponibilizadas pela Reciclanip:

- Para cidades com mais de cem mil habitantes;
- Para cidades com menos de cem mil habitantes, que devem formar um consórcio de municípios para a efetivação do contrato;
- Para empresas.

De acordo com Recilanip (2017), os pneus inservíveis coletados nos PC são enviados para os pontos de destinação, que são empresas destinadoras que pagam pela obtenção dos pneus (recicladores) ou podem ser pagas para dar destinação (coprocessamento em cimenteiras).

O IBAMA tem o papel de homologação das empresas destinadoras. Conforme citado por Bartholomeu e Caixeta-Filho (2011), para que a destinação de um pneu seja considerada ambientalmente correta e conseqüentemente considerada para fins de contabilização junto a resolução do CONAMA, a unidade destinadora deve declarar a quantidade de pneus tratada. Essa declaração somente será considerada como um certificado válido se a empresa for homologada junto ao IBAMA.

Os importadores, representados pela Associação Brasileira de Importadores e Distribuidores de Pneus (ABIDIP), também promovem ações de forma análoga a Reciclanip, mas sem uma associação específica como a dos fabricantes (STARK, 2015).

2.7 Regulações relacionadas com a LR de Pneus Inservíveis no Brasil

Existem legislações obrigando os fabricantes a incorporarem fatores ambientais em suas decisões em vários seguimentos industriais. Obrigações promulgadas por governos para minimização de resíduos e de produtos em fim de vida fazem com que o processo de LR seja mais importante em determinados seguimentos industriais (DEMIREL *et al.*, 2014). Um dos

casos no Brasil é o ramo de pneumáticos, que têm resoluções do CONAMA e a PNRS incentivando a LR dos pneus em fim de vida.

No Brasil, as primeiras regulações envolvendo pneus datam dos anos 1990 sob o formato de normas voltadas para prevenir a geração de resíduos de pneus (MOTTA, 2008). Stark (2015) reafirma a existência de iniciativas por parte do CONAMA desde o ano de 1999 visando a destinação ambientalmente correta de pneus inservíveis. A questão da destinação ambientalmente correta de pneus inservíveis pode ser brevemente descrita através do Quadro 2.1, que mostra a evolução das legislações referentes a este assunto:

A Resolução CONAMA 258/1999, mencionada no quadro 2.1, é considerada um marco histórico para a destinação adequada dos pneus inservíveis, por estabelecer importantes definições sobre o tema. O artigo primeiro desta resolução tornou obrigatória a disposição correta de pneus inservíveis sob responsabilidade dos fabricantes e importadores: “as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final, ambientalmente adequada, aos pneus inservíveis existentes no território nacional” (BRASIL, 1999). Já o artigo nono determinava que: “a partir da data de publicação desta Resolução fica proibida a destinação final inadequada de pneumáticos inservíveis, tais como a disposição em aterros sanitários, mar, rios, lagos ou riachos, terrenos baldios ou alagadiços, e queima a céu aberto” (BRASIL, 1999).

Bauer *et al.* (2015) salientam que o rigor da legislação nacional tem crescido com o aumento da produção de pneus. Em 2002, era necessária a destinação correta de um pneu inservível para cada quatro pneus vendidos no varejo. A relação foi crescendo, até que, a partir de 2009, a relação é de um pneu inservível corretamente destinado para cada pneu vendido. Isto significa que na prática, para cada um pneu novo vendido, o varejo é obrigado a recolher um pneu usado.

Com relação à Instrução Normativa nº 01/2010, Lagarinhos (2011) cita os seguintes pontos como importantes diretrizes na LR de pneus inservíveis:

- Desde outubro de 2010, os comerciantes, distribuidores e revendas devem armazenar os pneus inservíveis e identificar a sua origem e destino, além da quantidade em estoque nas lojas;
- Os pneus inservíveis podem ser armazenados triturados em local adequado pelo prazo máximo de um ano, desde que sejam obedecidas as exigências do licenciamento dos órgãos ambientais estaduais. Os pneus inservíveis triturados armazenados podem ser utilizados para a comprovação junto ao IBAMA.

Quadro 2.1- Leis relacionadas com a LR de pneus inservíveis

Regulação	Responsável	Descrição
1.Portaria 8/1991	Departamento Comércio Exterior (DECEX)	Proibição de forma genérica da importação de bens usados, nos quais os pneus usados estavam também considerados, mas que não eram nitidamente mencionados.
2.Portaria 138-N/1992	IBAMA	Inibição da importação de pneus reformados com base na Convenção de Basileia (CB) sobre o Controle dos Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e sua Disposição.
3.Projeto de Lei 4109/1993	Ministério da Indústria e Comércio (MIC)	Proibiu a entrada de pneus usados no país.
4.Resolução 7/1994- foram MICT/MF	CONAMA	Adotou definições e proibiu a importação de resíduos perigosos e/ou indesejáveis em todo o território nacional, sob qualquer forma e para qualquer fim, inclusive reciclagem. Foi revogada pela Resolução 37/1994.
5.Resolução 37/1994	CONAMA	Proibiu a importação de resíduos perigosos - Classe I - em todo o território nacional, sob qualquer forma e para qualquer fim, inclusive reciclagem/reaproveitamento.
6. Portaria Interministerial MICT/MF 3/95	Ministério da Fazenda, Ministério da Indústria, Comércio e Turismo (DECEX passou a ser vinculado)	Proibição genérica para a importação de bens de consumo usados.
7.Resolução 23/1996	CONAMA	Vetou especificamente, a importação de pneus usados em seu artigo 4º, complementando a Portaria Interministerial MICT/MF 3/95.
8. Resolução 258/1999	CONAMA	Estabeleceu que os pneus inservíveis deveriam ser obrigatoriamente recolhidos pelos fabricantes de pneus novos, e importadores de pneus novos e reformados. Também conferiu a estes a responsabilidade pela destinação ambientalmente adequada dos pneus inservíveis recolhidos nos geradores.
9. Resolução 301/2002	CONAMA	Revogou a Resolução 258/1999, alterando alguns itens e inserindo um dispositivo ao artigo 12, que estendia a possibilidade de sanções também aos pneus usados, de qualquer natureza, que ingressassem no território nacional por força de decisão judicial, e que descumprissem o disposto no texto da referida Resolução.
10. Resolução 416/2009	CONAMA	Revogou a Resolução 301/2002. Alterou a forma de cálculo de produção para o mercado de reposição, estabelecendo que para cada pneu novo comercializado para o mercado de reposição, os fabricantes e importadores deveriam dar destinação adequada a um pneu inservível.
11. Instrução normativa 01/2010	IBAMA	Regulamentou a Resolução nº 416/2009. Determina os procedimentos a serem obedecidos pelos fabricantes e importadores de pneus, para o cadastro, cálculo das metas e comprovação da destinação.
12. Lei 12305/2010	Lei Federal	Instituiu a PNRS, dispendo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, assim como as diretrizes referentes à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo aqueles classificados como perigosos. Tratou, ainda, das responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

Amorim (2015) relata em seu trabalho o processo de prestação de contas sobre a meta de destinação, aspecto também tratado pela Instrução Normativa nº 01/2010: fabricantes e importadores de pneus novos devem preencher dois relatórios disponíveis no Cadastro Técnico Federal (CTF), no site do IBAMA, na internet. No primeiro, informam suas atividades de produção, importação, exportação e envios de pneus às montadoras de veículos novos, indicando a Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) e as quantidades em quilogramas e unidades. No segundo relatório, cadastram as informações referentes aos PC implementados. Já as empresas destinadoras de pneus inservíveis informam o número da inscrição da empresa beneficiada no Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ), e as destinações realizadas, indicando a quantidade em quilograma e o tipo de tecnologia de destinação utilizada. O próprio sistema informatizado vincula as informações, permitindo que as empresas acompanhem a evolução de sua meta de destinação e se esta foi devidamente cumprida. Para acessar o sistema do CTF, cada empresa tem que estar cadastrada e as atividades seguem o disposto na Instrução Normativa do IBAMA nº 06/2013, que regulamenta o CTF de atividades potencialmente poluidoras e utilizadoras de recursos naturais. Tais informações devem ser declaradas até o dia 31 do mês de março do ano subsequente.

Amorim (2015) ainda menciona que segundo a instrução normativa em questão, os fabricantes e importadores de pneus novos foram obrigados a elaborar um plano de gerenciamento de resíduos, que deve conter alguns requisitos: descrição das estratégias para coleta de pneus, indicação dos locais e capacidades instalada das unidades de armazenagem, descrição das modalidades de destinação, descrição dos programas educativos desenvolvidos junto aos agentes envolvidos, número das licenças ambientais emitidas pelos órgãos competentes, e descrição de programas pertinentes de auto monitoramento. O mesmo autor menciona a obrigatoriedade imposta pela Instrução Normativa do IBAMA nº 06/2013 de implementação de PC para pneus inservíveis em municípios com população acima de 100 mil habitantes, podendo optar por estabelecer parcerias.

Como relatado ao longo deste capítulo, todas as legislações desempenharam um papel fundamental para garantir que os pneus inservíveis recebam destinação final ambientalmente correta desde a década de 90, e continuam sendo o parâmetro legal, observado pelos fabricantes e importadores de pneus. No entanto, em 2010 a PNRS viria a compor de forma efetiva o arcabouço legal capaz de garantir que este e outros tipos de resíduos não fossem descartados de forma inadequada no meio ambiente.

Segundo Brasil (2010), o artigo 31 discorre sobre responsabilidade compartilhada dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes. Um dos aspectos abordados é no investimento, no desenvolvimento, na fabricação e na colocação no mercado de produtos que sejam aptos, após o uso pelo consumidor, à reutilização, à reciclagem ou a outra forma de destinação ambientalmente adequada. Este mesmo artigo de Brasil (2010) ressalta que cabe aos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes dos produtos: agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso constitua resíduo perigoso; pilhas e baterias; pneus; óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista; produtos eletroeletrônicos e seus componentes; tomar todas as medidas necessárias para assegurar a implementação e operacionalização do sistema de LR sob seu encargo. Sugere como medidas: implantar procedimentos de compra de produtos ou embalagens usadas; disponibilizar postos de entrega de resíduos reutilizáveis e recicláveis; atuar em parceria com cooperativas ou outras formas de associação.

2.8 Ações de Logística Reversa em outros países

Segundo Uruburu *et al.* (2013), existem três diferentes sistemas na Europa para a gestão dos pneus inservíveis:

- Responsabilidade do produtor (EPR): geralmente leva à criação de uma empresa sem fins lucrativos, financiada pelos produtores de pneus, que tem como objetivo gerir a coleta e recuperação de pneus em fim de vida, de acordo com as soluções mais econômicas;
- Imposto de sistema: neste modelo o governo de cada país é responsável pela recolha, valorização e reciclagem de pneus em fim de vida. Os produtores pagam um imposto ao Estado, que é responsável pela organização geral e remunera os operadores da cadeia de valorização;
- Sistema de livre mercado: neste modelo a legislação nacional define os objetivos a atingir, mas não designam quem são os responsáveis. Neste sistema todos os operadores da cadeia de valorização devem agir em conformidade com a legislação.

De acordo com Uruburu *et al.* (2013) a EPR parece ser a forma mais robusta e sustentável de resolver o problema dos pneus em fim de vida. Os autores citam que, de forma geral, a maioria dos produtores de pneus tem uma preferência por este sistema, de forma que em 2010 a rede de sistema EPR na Europa incluía 15 países: Bélgica, Estônia, Finlândia,

França, Grécia, Hungria, Holanda, Noruega, Polônia, Portugal, Romênia, Eslovênia, Espanha, Suécia e Turquia.

Uruburu *et al.* (2013) ressaltam o fato de que embora a Diretiva 2008/98 / CE considera a possibilidade de compartilhar o custo de financiamento total do sistema entre os produtores e distribuidores, no sistema espanhol, ele é financiado por usuários finais através do imposto de eco taxa em cada pneu novo colocado no mercado. O mesmo sistema pode ser encontrado na França com a Aliapur, em Portugal com a Valorpneu e na Itália com a Ecopneus.

2.9 Modelagem e Simulação

Oliveira (2015) define a modelagem como sendo a elaboração de um modelo para a representação de algum sistema ou processo. Segundo Trivelato (2003), um modelo é a representação do conhecimento e a principal ferramenta para o estudo do comportamento de sistemas complexos. O mesmo autor salienta a importância da modelagem ao enfatizar que se trata do primeiro passo para a análise de um sistema de qualquer natureza e sob qualquer aspecto. Uma característica de grande importância em um modelo é a relação simplicidade *versus* fidelidade (MORABITO e PUREZA, 2010). Quando o modelo é uma representação válida de um sistema, informações significativas podem ser retiradas sobre sua dinâmica ou seu desempenho (TRIVELATO, 2003).

Já a Simulação é definida por Montevechi *et al.* (2007) como sendo a importação da realidade para um ambiente controlado, onde pode ser visualizado o desempenho do sistema quando submetido a mudanças de parâmetros, com a vantagem de não ter riscos físicos e investimentos. Devido a versatilidade, flexibilidade e poder de análise, a simulação tem sido utilizada de forma crescente para auxílio à tomada de decisões (JAHANGIRIAN *et al.*, 2010; RYAN e HEAVEY, 2006).

Tako e Robinson (2012) mencionam que a simulação é uma abordagem ideal para analisar redes logísticas por ser adequada para lidar com diversidade e grande quantidade de dados. Hillier e Lieberman (2010) e Banks *et al.* (2009) também citam a logística como uma das principais áreas onde a simulação é utilizada. Segundo Brito (2011), a utilização da SED apresenta potencialidades, em relação aos seus aspectos práticos e técnicos, que a torna mais apropriada para a análise detalhada de sistemas específicos e bem definidos, como são tratados usualmente os sistemas logísticos no ambiente da simulação. De acordo com Hennies *et al.* (2014), Chatfield, Harrison e Hayya (2006), Holweg e Bicheno (2002) a simulação

facilita a análise de sistemas logísticos devido as suas características como complexidade, dinamismo e interação entre as variáveis. Os mesmos autores alertam que a simulação computacional pode auxiliar os gestores de logística a tomarem decisões com mais convicção, uma vez que possibilita escolha de uma solução apropriada após a análise de vários cenários.

Em uma revisão bibliográfica sobre os temas logística e simulação, Terzi e Cavaliere (2004) identificaram mais de 80 trabalhos. Segundo os autores, a maioria dos estudos aplica a SED para analisar problemas sobre localização, capacidade de produção e de armazenagem, estoque de segurança, tamanhos de lotes e previsão de demanda. Mais recentemente Tako e Robinson (2012) realizaram uma pesquisa e identificaram 127 artigos que tratavam simultaneamente de logística e simulação. Dos trabalhos analisados apenas sete tratavam de LR, sendo que quatro utilizavam a SED. Os trabalhos analisados por Tako e Robinson (2012) serão discutidos no item 2.10 e não apresentam similaridade com a presente tese.

Oliveira, Lima e Montevechi (2016) também fizeram um estudo da simulação aplicada a cadeia de suprimentos. Dos 168 artigos analisados pelos autores a maioria utiliza a SED para gestão de estoques e análise de variáveis que mais impactam os sistemas. Uma das conclusões dos autores é a necessidade de aplicação da modelagem e simulação em mais estudos de LR.

Chwif e Medina (2014) classificam a simulação em dois tipos: a simulação computacional, que é aquela que necessita de um computador para ser realizada; a simulação não computacional, que não necessita de um computador, como o uso de um protótipo de uma ponte em escala reduzida em um túnel de vento.

Oliveira (2015) cita que pode-se verificar na literatura a existência de duas grandes divisões aparente de modelos de simulação computacional:

- Simulação algébrica, numérica ou modelagem matemática analítica: as descrições das relações do sistema são expressas por funções matemáticas. A vantagem da simulação algébrica é poder obter uma solução exata e até mesmo ótima, porém sistemas complexos podem tornar este tipo de simulação extremamente difícil. Chwif e Medina (2014) destacam que na sua grande maioria, esses modelos são de natureza estática e não apresentam soluções analíticas para sistemas complexos, devendo-se utilizar hipóteses simplificadoras;
- Modelos experimentais, conhecidos como SED: simulam, por meio de relações lógicas, o funcionamento de sistemas que mudam o seu estado em pontos discretos no tempo. A SED tem a vantagem de poder representar sistemas complexos, com mais abrangência, porém sua resposta não é tão exata quanto às obtidas nas simulações

numéricas, sendo mais difícil a validação dos resultados. Chwif e Medina (2014) salientam que os sistemas reais geralmente apresentam uma maior complexidade, devido, principalmente, a sua natureza dinâmica e aleatória, assim a SED consegue capturar com mais fidelidade essas características do sistema quando submetido às mesmas condições de contorno.

A SED é definida por Banks *et al.* (2009) como sendo a imitação de um processo ou sistema do mundo real, observado com o passar do tempo. Este sistema é avaliado com o auxílio de um modelo computacional, que uma vez validado permite responder a perguntas do tipo: “*What if?*”.

Algumas vantagens na utilização da SED são:

- Quando o sistema real é muito complexo para ser analisado satisfatoriamente por um modelo matemático a simulação é usada (GAGLIARDI, RENAUD e RUIZ, 2014; HILLIER e LIEBERMAN, 2010);
- A SED é capaz de capturar com mais fidelidade a complexidade dos sistemas reais, devido, a sua natureza dinâmica e probabilística (CHWIF e MEDINA, 2014);
- Definições de *layouts*, projetos de equipamentos e sistemas de transportes podem ser testados com auxílio da SED, sem a necessidade de recursos ou compra de equipamentos (BANKS *et al.*, 2009);
- Gargalos produtivos podem ser identificados e analisados (BANKS *et al.*, 2009);
- A SED permite visualizar as interações entre variáveis e a importância de seus efeitos para o sistema como um todo (BANKS *et al.*, 2009);
- A SED permite localizar onde o estoque em processo e materiais que estão em excesso se encontram no sistema (BANKS *et al.*, 2009);
- A SED possibilita estudar um sistema por um longo período de tempo em um tempo relativamente curto (BRITO, LEITE e SILVA, 2008);
- A SED facilita a compreensão de como opera todo o sistema simulado, ao invés de apenas visualizar como operam suas partes (BANKS *et al.*, 2009);
- A SED permite responder questões do tipo “*What if?*”, o que é útil na proposição de novos sistemas (BANKS *et al.*, 2009).

Apesar das vantagens enumeradas, os usuários da SED devem estar atentos a algumas dificuldades, entre as quais, Banks *et al.* (2009) e Law (2009) destacam:

- É necessário que o usuário seja treinado em um simulador ou que conheça alguma linguagem de programação;

- Custo com a aquisição do *software*;
- Necessidade de uma grande quantidade de dados e que os mesmos sejam confiáveis;
- A modelagem computacional de um sistema real usando SED é cara e consome tempo para ser desenvolvida;
- Os resultados obtidos com o modelo de SED podem ser difíceis de serem interpretados;
- As informações obtidas com o modelo computacional só terão validade se este for previamente validado;
- São necessárias várias replicações para cada conjunto de parâmetros, de modo que os resultados possam ser interpretados corretamente.

Além de ficar atento às dificuldades, para minimizá-las, os usuários de SED devem reduzir a complexidade do sistema simulado sem que haja perdas à utilidade do modelo, conforme destaca Brito (2011). O mesmo autor alerta que seria praticamente impossível representar 100% de um sistema real em um modelo computacional, devido às várias relações internas e externas de seus componentes.

2.9.1. Aplicação da Simulação na LR

Oliveira (2015) realizou uma pesquisa sobre a aplicação da simulação em problemas relacionados a LR. A pesquisa é relevante por apresentar o detalhamento das ferramentas (*softwares* e linguagens de programação) utilizados em trabalhos das bases de dados da *Web of Science*, que indexa publicações científicas de todo o mundo e no “Portal Periódicos” da Capes. Os resultados estão apresentados na figura 2.6. Dentre os resultados, destaca-se a utilização de Algoritmo Genético, da Programação Inteira Mista e do *software* Arena, sendo que 67% dos trabalhos pesquisados utilizam simulação algébrica (cálculos e programações matemáticas).

A justificativa para maior utilização da simulação algébrica é a maior precisão dos resultados. Apesar disso, os trabalhos analisados mostram que a SED permite maior praticidade na modelagem quando há um elevado número de variáveis envolvidas e há necessidade de inserir interdependência entre as mesmas. Uma outra vantagem da SED é a maior facilidade de replicação por gestores não especializados e em novos setores. Estas são as justificativas que reforçam o porquê da utilização da SED no presente trabalho.

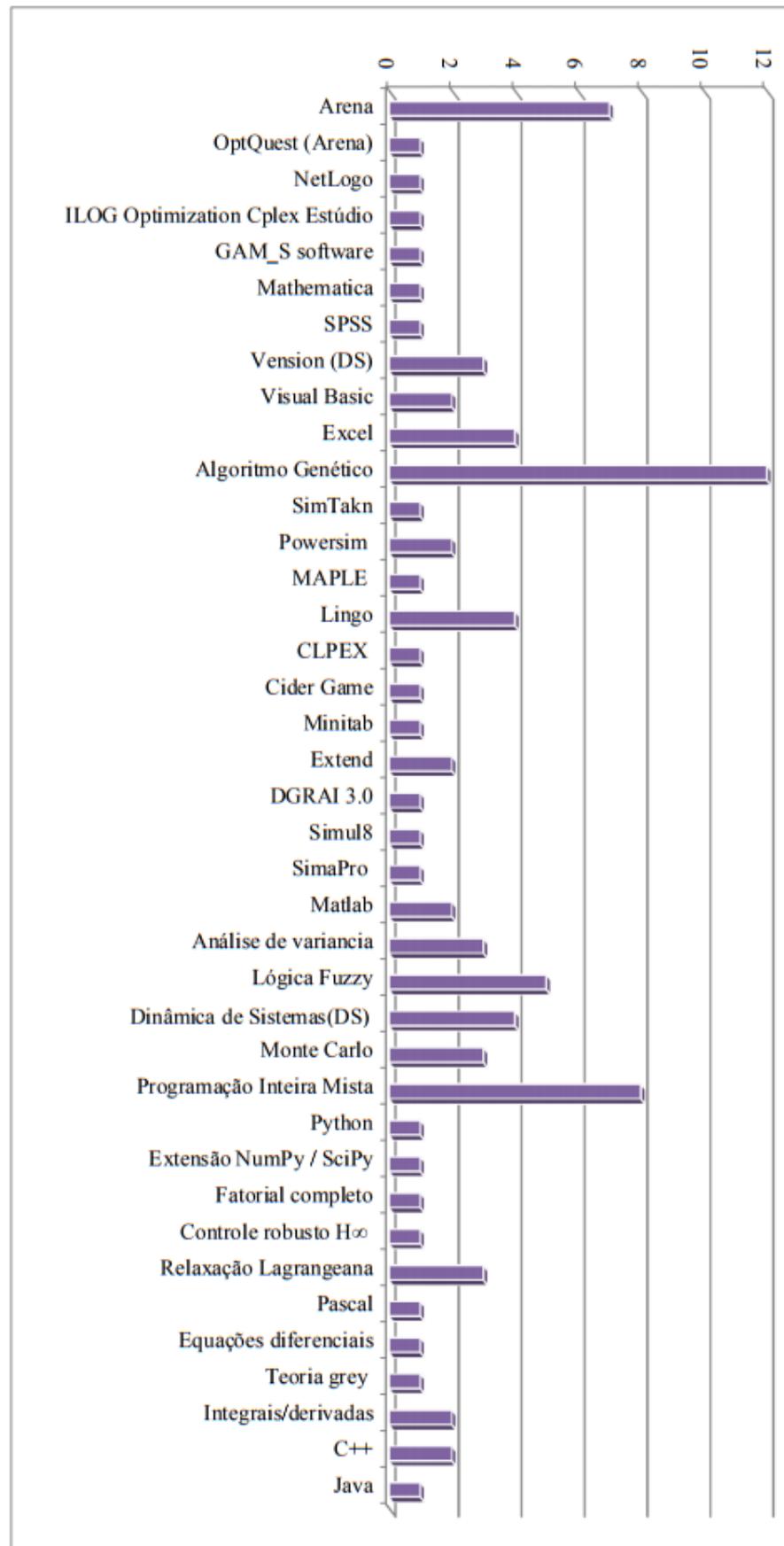


Figura 2.6- Ferramentas de Simulação utilizadas nos trabalhos de LR

2.10 SED e LR

Conforme mostrado na revisão bibliométrica, alguns trabalhos contemplam simultaneamente LR e SED. Neste item são mostrados os estudos envolvendo estes dois temas.

Ebner *et al.* (2016) realizaram um projeto de cadeia de suprimentos de ciclo fechado onde analisaram, através de uma série de modelos de simulação, o maior desempenho das estratégias de controle de produção considerando múltiplas variáveis relacionadas tanto no fluxo direto quanto reverso. O estudo consistiu em estudar estratégias de sistema puxado em cenários com 90% de produtos devolvidos e 40% de retorno.

Elia e Gnoni (2015) utilizaram a SED para analisar os sistemas de gestão de paletes em circuitos fechados. A simulação foi utilizada para identificar melhor tempo e custo para gerenciamento dos paletes. Os autores defendem que o estudo proposto pode auxiliar tanto profissionais quanto acadêmicos na compreensão dos principais aspectos envolvidos na gestão de paletes em malha fechada, permitindo assim um desenho mais eficaz deste sistema crítico de LR.

Umeda (2014) tem como foco a utilização da SED para analisar dois tipos de modelo de LR: sistema puxado e sistema empurrado. O intuito das análises é fornecer dados úteis para o planejamento de sistemas reversos de cadeia de suprimentos.

Berruto *et al.* (2013) usaram a simulação para estimar o custo de diferentes cenários de transporte para a aplicação de fertilizantes orgânicos em campos provenientes de uma planta de biogás.

Mutingi, Parasuram e Baiphisi (2013) desenvolveram uma estrutura conceitual que forma uma plataforma para a construção de modelos de simulação para a cadeia de suprimento verde. Para isto, em primeiro lugar, identificaram os componentes típicos da cadeia de abastecimento verde e a interação entre eles. Em segundo lugar, identificaram indicadores de desempenho específicos da cadeia de abastecimento verde. Em terceiro lugar, desenvolveram modelos conceituais para cada um dos componentes da cadeia de suprimento identificados, a partir de uma perspectiva de SED.

Altekin e Akkan (2012) utilizaram a SED na fase de desmontagem, comum em muitos sistemas de LR que coletam e reprocessam produtos em fim de vida. Segundo os autores, a variabilidade dos produtos de entrada e a extensão dos danos, que é mais provável de ocorrer durante a desmontagem, criam uma incerteza nas tarefas de desmontagem, principalmente a possibilidade de falhas nas tarefas. Tais falhas podem levar a que algumas tarefas sucessoras

sejam inviáveis, o que altera o conteúdo de trabalho das estações a jusante. Para melhorar a rentabilidade de uma linha de desmontagem, os autores propuseram uma abordagem de reação preditiva e então, em uma segunda etapa, dada uma falha de tarefa, as tarefas do produto desmontado com essa falha de tarefa são selecionadas novamente e retribuídas às estações. Na segunda etapa, a função objetivo modela tanto o lucro obtido com o produto desmontado, como o possível aumento na carga de trabalho de qualquer estação além do tempo de ciclo preditivo. A SED é usada para analisar e comparar o desempenho das linhas de desmontagem para os balanços de linha encontrados (preditivo e reativo).

O objetivo do trabalho de Yu e Wu (2010), que envolve SED e LR, é investigar os fatores que afetam a concepção de um canal de coleta de resíduos de acumuladores de chumbo ácido em Taiwan. O canal de coleta atual foi descrito e simulado como um modelo de SED. A fim de aumentar a eficiência do processo de coleta, foram examinados os efeitos das variáveis sobre o desempenho do sistema, incluindo flexibilidade de retorno, política de coleta e variabilidade da quantidade retornada.

Ilgin e Gupta (2009) modelaram uma rede de LR de televisores em fim de vida considerando aspectos relacionados à desmontagem e transporte de peças sobressalentes, e utilizaram a SED. O objetivo do estudo foi a otimização conjunta das políticas de transporte e estoque de peças sobressalentes na rede em questão.

Acaccia *et al.* (2007) apresentam um levantamento do quadro legal existente na União Europeia sobre LR e sugerem a modelagem e simulação para avaliar o processo de desmontagem. Segundo os autores, a SED permite a avaliação quantitativa dos operadores históricos de recuperação (reutilização, reciclagem) atribuídos, de acordo com as leis nacionais em vigor, às Centrais de Tratamento Autorizadas. Através das simulações, o estudo compara *layouts* competitivos e fornece opções para o *design* eficaz das Centrais de Tratamento.

Acaccia, Michellini e Qualich (2007) e Acaccia *et al.* (2006) descrevem caminhos de modelagem e simulação para avaliar problemas de LR para coleta de itens e gerenciamento de dados do processo de recuperação de veículos em fim de vida. Os resultados mostram uma inviabilidade econômica neste processo e os autores sugerem a adoção de regulamentações apropriadas para equilibrar o fluxo reverso.

O trabalho de Liu e Wang (2005) utiliza a SED para a alocação de rebocadores portuários. Este trabalho também utiliza a otimização via simulação para alcançar o melhor arranjo na logística de rebocadores.

Zolfagharinia *et al.* (2014) desenvolveram um modelo de SED para controle de estoque de uma cadeia de suprimento reversa, com pontos de inventário separáveis e remanufaturáveis, de uma empresa australiana.

Citados todos os trabalhos encontrados nas bases de dados pesquisadas, conclui-se que o presente trabalho apresenta o diferencial de usar a SED para analisar a LR de pneus inservíveis em um consórcio de cidades.

2.11 Consórcio de cidades

No presente trabalho a SED será aplicada para analisar a LR de um consórcio de cidades. Desta forma, o presente item traz uma revisão sobre este tema.

O conceito de consórcio de cidades ou consórcio intermunicipal não é recente. Naruo (2003), em um estudo sobre o tema, enfatiza que os consórcios são conhecidos por proporcionar aos participantes maior eficiência no uso dos recursos disponíveis, o que auxiliaria os pequenos governos locais para solucionar a escassez de recursos. Em uma descrição mais recente, o MMA (2011) caracteriza os consórcios públicos pela associação de diversos municípios, com a finalidade de planejamento, regulamentação, fiscalização e prestação de serviços. Este conceito continua o mesmo segundo Deus, Battistelle e Silva (2017) em um estudo atual sobre Gestão de Resíduos Sólidos que possui como objeto de estudo um consórcio de cidades.

Segundo Abrucio, Filippim e Dieguez (2013) o consórcio intermunicipal está previsto no Brasil desde a Constituição de 1937, mas que até a redemocratização eram poucos os consórcios públicos municipais. O movimento se expandiu a partir da década de 1990 e desde a Constituição de 1988, eles têm se multiplicado pelo país principalmente após a Lei no 11.107/2005 dos Consórcios Públicos. Os mesmos autores afirmam que os consórcios intermunicipais de saúde constituem a experiência setorial mais bem sucedida e com maior número de estudos.

Abrucio, Filippim e Dieguez (2013) ressaltam que o tema da cooperação federativa tornou-se fundamental na agenda política e de pesquisa no Brasil. Segundo os autores, parte importante dos estudos internacionais e nacionais realça a necessidade de construir mecanismos de coordenação e parceria entre os níveis de governo para resolver dilemas de ação coletiva e problemas das políticas públicas. Tal afirmação é embasada em Franzese (2010) e Lício (2010). A justificativa para a formação de consórcios é que em grande parte dos casos, as chances de sucesso em solucionar problemas de política pública são maiores quando as cidades trabalham em conjunto do que quando trabalham sozinhas.

De acordo com MMA (2011) a União vem induzindo a formação de consórcios por municípios, visando ganhos de escala e redução de custos, o que permitirá o alcance das metas propostas no gerenciamento de resíduos: os pequenos municípios, quando associados, podem superar a fragilidade da gestão, racionalizar e ampliar a escala no tratamento dos resíduos e ter um órgão preparado tecnicamente para gerir os serviços.

O histórico negativo dos processos de gestão de resíduos de forma individualizada pelos municípios nas várias regiões brasileiras deixa claro que é necessário avançar para a gestão associada entre vários municípios. Este é o caminho que a PNRS define como prioritário nos investimentos federais, pois não será possível cumprir os seus objetivos gerindo os resíduos da mesma forma que antes, cada município por si só, pois isto já não deu certo (MMA, 2011).

Urban (2016) também salienta a organização em forma de consórcio como alternativa às pequenas cidades, que enfrentam o problema da disposição dos resíduos sólidos urbanos (RSU). O autor enfatiza que consórcios contribuem para diminuição dos custos do processo, mas alerta que eles ainda são incipientes, representando em torno de 10 a 12% do número de municípios, população e resíduos gerados.

Uma análise de Brasil (2010) mostra que o consórcio de cidades é citado diretamente em dois momentos:

- Artigo 8: “incentivo à adoção de consórcios ou de outras formas de cooperação entre os entes federados, com vistas à elevação das escalas de aproveitamento e à redução dos custos envolvidos”. Neste mesmo artigo a LR é mencionada como um instrumento da PNRS;
- Artigo 45. Os consórcios públicos constituídos, nos termos da Lei no 11.107, de 2005, com o objetivo de viabilizar a descentralização e a prestação de serviços públicos que envolvam resíduos sólidos, têm prioridade na obtenção dos incentivos

instituídos pelo Governo Federal. Este artigo mostra a relação da PNRS com a lei de Consórcios Públicos.

Apesar do crescimento dos consórcios de cidades, segundo Abrucio, Filippim e Dieguez (2013), eles têm crescido menos do que as necessidades de cooperação intermunicipal, mas, de outro lado, há um aumento e uma diversificação crescentes nos tipos de associativismo territorial no Brasil. Os avanços apontados pela literatura, no entanto, concentram-se fortemente na capacidade de formar consórcios, e a maioria dos estudos empíricos não analisa se houve continuidade destes arranjos intermunicipais.

3. DESENVOLVIMENTO

Para a realização da simulação foi utilizado o modelo proposto por Montevechi *et al.* (2010), mostrado na Figura 3.1, que compreende três etapas principais: fase de concepção - modelo conceitual, fase de implementação - modelo computacional e análise - modelo operacional. A fase de concepção consiste na construção do modelo conceitual, validação de tal modelo, documentação do mesmo e modelagem dos dados de entrada. A fase de implementação consiste na construção e validação do modelo computacional. Já a fase de análise consiste na definição do *design* experimental, execução de experimentos, análises estatísticas e finalmente, as conclusões e recomendações obtidas.

3.1 Concepção

Na etapa de concepção, o analista de simulação deve entender claramente o sistema a ser simulado e os seus objetivos, por meio da discussão do problema com especialistas. Nesta fase, questões como o nível de detalhe pretendido no modelo são discutidas (LEAL, 2008). Kleijnen (1995) complementa que o modelo conceitual é desenvolvido por meio das fases de análise e modelagem.

De forma simplificada, Leal (2008) expõe que na etapa de concepção, o modelo que está na mente do analista (modelo abstrato) deve ser representado de acordo com alguma técnica de representação de modelo de simulação, a fim de torná-lo um modelo conceitual, de modo que outras pessoas possam entendê-lo. É nesta etapa que os dados de entrada devem ser coletados. Para a construção do modelo conceitual deve ser utilizada alguma técnica de modelagem.

Ainda na fase de concepção, logo após a construção do modelo conceitual ocorrerá a sua validação. Por fim, tem-se a modelagem dos dados de entrada, isto é, os dados que serão utilizados no modelo computacional (custo, quantidade, porcentagens, capacidades etc.) são coletados e tratados estatisticamente (ajustados).

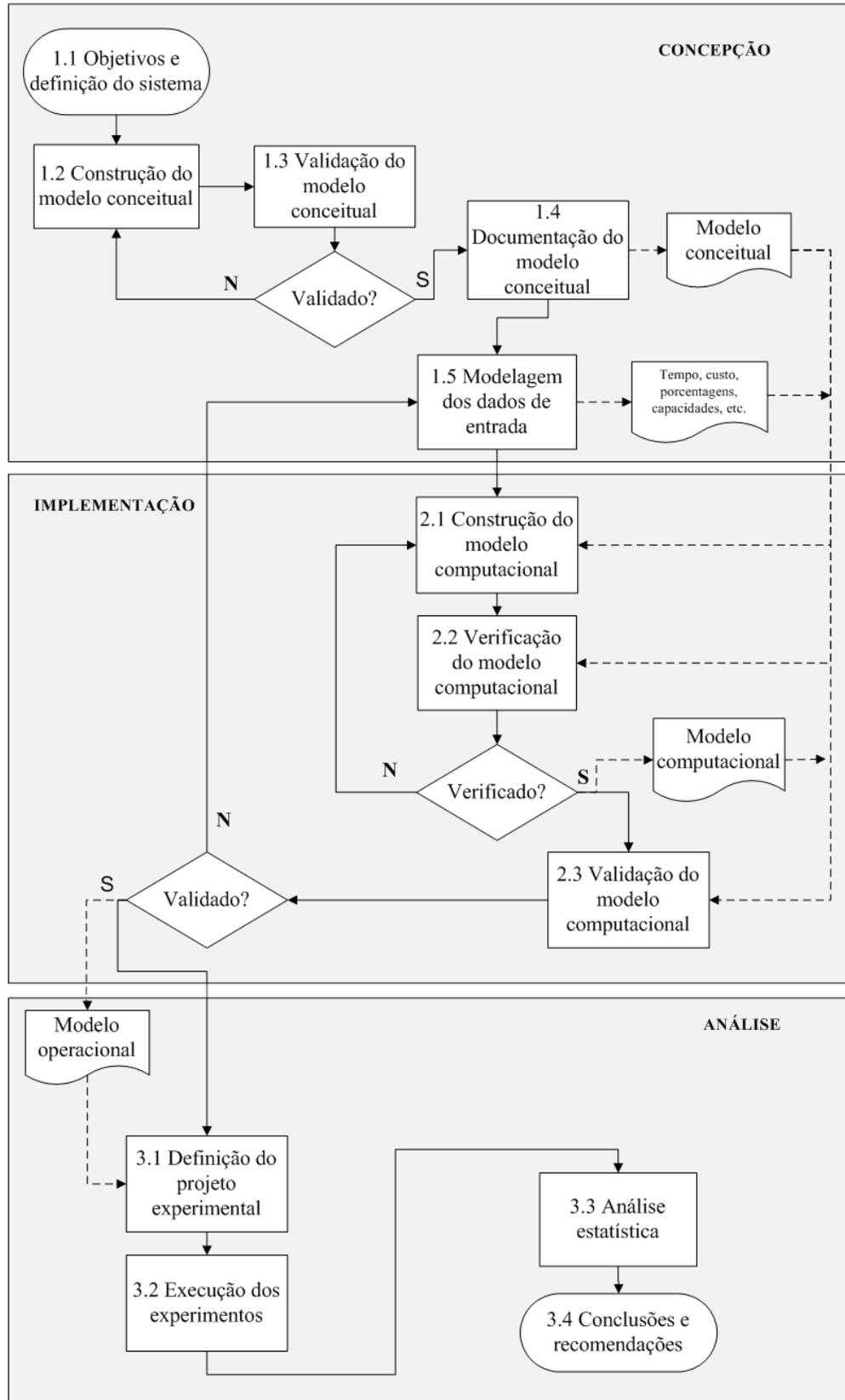


Figura 3.1- Sequência de passos para um projeto de simulação

Fonte: Montevechi *et al.* (2010)

3.1.1 Objetivos e definição do sistema

Por meio do conhecimento adquirido com a revisão de literatura e contato com a LR de pneus inservíveis em alguns municípios, ficou evidente a necessidade de estudos que aumentem o desempenho do funcionamento ou implementação deste processo em cidades com menos de cem mil habitantes. Desta forma, o objetivo definido foi utilizar a SED para realizar um melhor planejamento na LR de pneus realizada pelo consórcio de cidades.

O sistema escolhido é um consórcio de cidades representativo do perfil de cidades ainda não encontrado na literatura sobre o tema LR de pneus inservíveis: o Consórcio Intermunicipal de Saneamento Básico da Região do Circuito das Águas (CISBRA). Este consórcio possui a LR de pneus inservíveis implementada e em funcionamento. Segundo o Plano Cidades Limpas (2013), o CISBRA está localizado no estado de São Paulo e é formado por doze municípios: Águas de Lindóia, Amparo, Itapira, Lindóia, Monte Alegre do Sul, Morungaba, Pedra Bela, Pinhalzinho, Santo Antônio de Posse, Serra Negra, Socorro e Tuiuti.

Para a escolha do consórcio a ser analisado, foi necessário verificar o relatório dos PC disponibilizado pela Reciclanip. Várias cidades foram contactadas, mas a maioria faz a LR dos pneus inservíveis de forma isolada. Outras cidades não fazem o controle das informações, o que não permitiria a modelagem dos dados de entrada. Dessa forma, foi feita uma pesquisa na *internet* onde foi encontrado o CISBRA, que possui todas as características necessárias para a modelagem.

Para elaborar o modelo conceitual foram realizadas visitas a sede do CISBRA em Amparo, onde todo o processo foi evidenciado por meio de visita ao PC e dos registros de entradas de pneus. É importante destacar, que apesar do consórcio ser formado por doze cidades, para a LR de pneus inservíveis as cidades são divididas em dois grupos, sendo que a gestão e acúmulo nos pontos de coleta finais têm como sedes as cidades de Amparo e Socorro. O modelo foi realizado no grupo de Amparo devido ao controle dos dados referentes aos pneus entregues para destinação ambientalmente correta.

3.1.2 Construção e documentação do modelo conceitual

Para a construção do modelo conceitual foi necessário realizar um mapeamento do processo. De acordo com Montevechi *et al.* (2010), a utilização de técnicas de modelagem que não foram desenvolvidas com foco em projetos de simulação dificulta o mapeamento, o que implicaria em dificuldades na construção do modelo computacional. A técnica IDEF-SIM, desenvolvida com o foco específico para projetos de simulação e apresentada em Leal

(2008) e Montevechi *et al.* (2014) foi utilizada nesta tese. Segundo os autores, o IDEF-SIM é uma técnica de mapeamento ideal para posterior construção do modelo computacional, pois fornece apenas as informações necessárias para o modelo computacional e como ele não foi desenvolvido para um pacote específico de simulação, mas para uma lógica comum de simulação, informações específicas de cada pacote de simulação diferentes, não são contempladas. Os mesmos autores ainda citam que a vantagem desta técnica de mapeamento de processos com relação a técnicas clássicas, como fluxograma de processo, é que diminui a distância entre a modelagem clássica de processos e a modelagem conceitual com foco na simulação. Finalmente Leal, Almeida e Montevechi (2008) destacam como vantagem da utilização do IDEF-SIM, a facilidade do trabalho encontrado na fase de modelagem computacional, reduzindo o tempo gasto. O Quadro 3.1 mostra a simbologia utilizada no IDEF-SIM, assim como são designados os elementos da situação modelada no presente trabalho.

O mapeamento da LR de pneus inservíveis realizado no CISBRA é apresentado na Figura 3.2. Além das visitas ao PC, também foram utilizados os registros de entrada de pneus para a elaboração.

Para entendimento da linguagem utilizada neste trabalho o Quadro 3.2 mostra as cidades do CISBRA e a numeração utilizada para identificá-las.

É possível ver pelo mapeamento que três entidades diferentes entram no sistema: pneus de passeio (E1), pneus de carga (E2) e pneus de moto (E3). O percentual de cada tipo de pneu gerado por cada um dos municípios está especificado, ou seja, dos E1 que “chegaram” ao consórcio 59,66% são da Cidade 1, 1,14% pela Cidade 2 e assim sucessivamente para cada cidade e para cada tipo de pneu. A mesma lógica serve para visualizar o percentual de pneu em cada agente gerador: transportadora, borracharias e prefeituras.

Cada pneu de carro, caminhão e moto correspondem respectivamente a 5 kg, 40 kg e 2,5 kg, que são acumulados e depois transportados para o PC por cada um dos agentes geradores de pneus inservíveis. A cada viagem realizada por cada agente de cada cidade, as distâncias apresentadas abaixo dos símbolos de movimentação na Figura 3.2 são somadas na distância total percorrida por cada cidade.

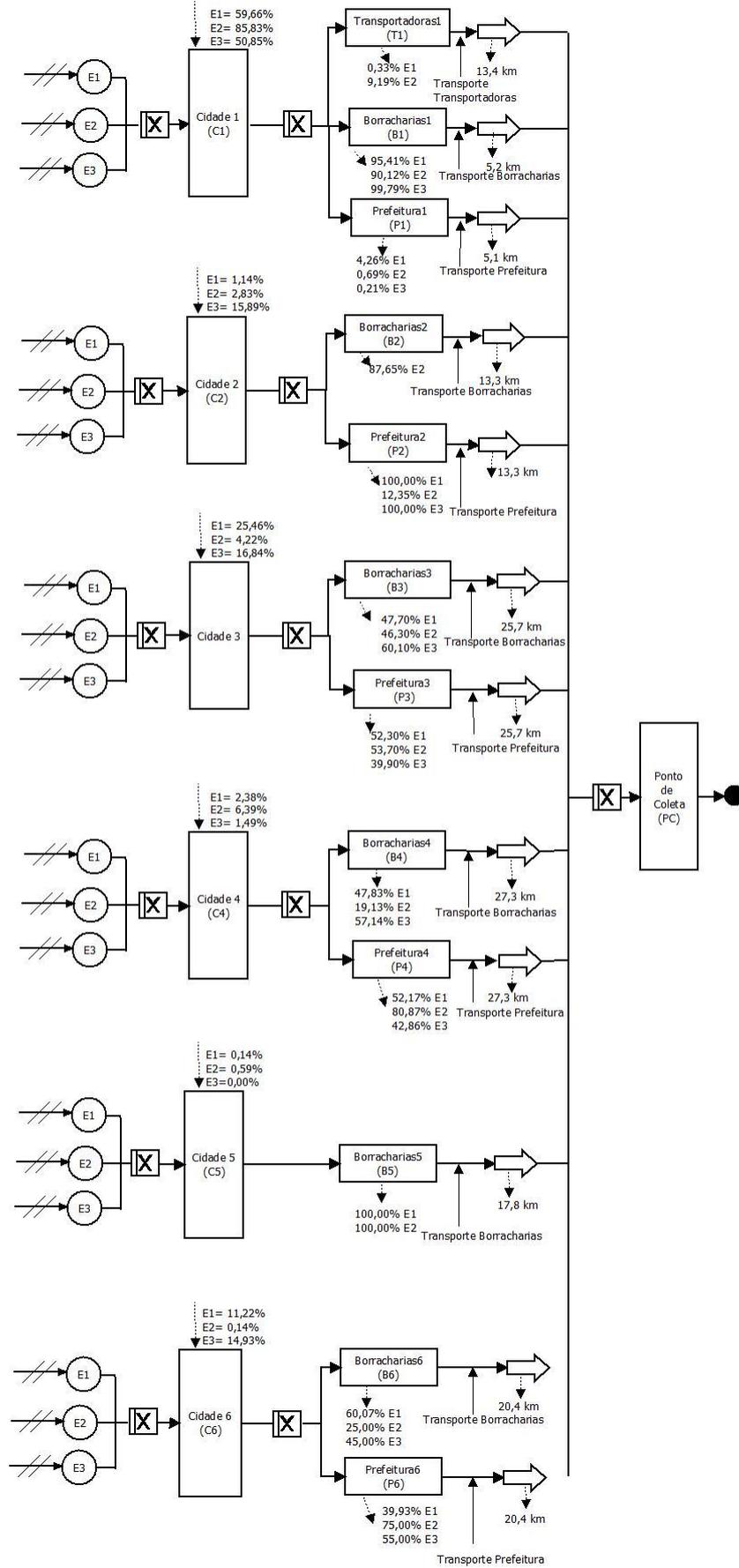


Figura 3.2- Mapeamento da LR dos pneus inservíveis do CISBRA

Quadro 3.1- Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM

Elementos	Simbologia	Definição	Modelo Atual
Entidades		Itens que serão processados pelo sistema, podendo ser matéria-prima, produtos, documentos ou pessoas.	E1= pneus de carro E2= pneus de caminhão E3= pneus de moto E= pneus
Funções		Locais onde a entidade sofrerá alguma ação: postos de trabalho, esteiras de movimentação, filas e estoques. Podem modificar uma entidade, ou mesmo alterar o ritmo desta entidade no fluxo, como uma espera.	Cidade, Borracharias, Prefeitura, Transportadoras e Ponto de Coleta (PC).
Recursos		São os elementos (pessoas ou equipamentos) utilizados para executar funções ou movimentar as entidades.	Veículos utilizados para transporte dos pneus entre os diferentes locais.
Controles		Regras utilizadas nas funções, como sequenciamento, regras de filas e programações.	Distribuições de probabilidade correspondente à entrada dos pneus no sistema.
Regras para fluxos paralelos e ou alternativos	 Regra E  Regra OU  RegraE/OU	Definem qual de dois ou mais caminhos, após uma função, podem ser executados juntos (junção E), ou de forma alternativa (junção OU), ou permitindo ambas as regras (junção E/OU).	Definição do percentual de cada tipo de pneus por ponto gerador.
Fluxo da Entidade		Direcionamento da entidade dentro do modelo, caracterizando os momentos de entrada e saída da entidade nas funções.	Ver na Figura 3.2.
Movimentação		Representa um deslocamento de entidade, no qual o modelador acredita possuir efeito importante sobre o modelo.	Ver na Figura 3.2.
Informação explicativa		Utilizado para inserir no modelo uma explicação, com o objetivo de facilitar o entendimento do mesmo.	Percentual de cada tipo de pneu que entra em cada função e distância entre os pontos geradores e PC.
Fluxo de entrada no sistema modelado		Define a entrada ou criação das entidades dentro do modelo.	Ver na Figura 3.2.
Ponto final do sistema		Define o final de um caminho dentro do fluxo modelado.	Ver na Figura 3.2.

Fonte: Adaptado de Leal (2008)

Quadro 3.2- Identificação das cidades do CISBRA

Nomenclatura	Sigla	Cidades
Cidade 1	C1	Amparo
Cidade 2	C2	Monte Alegre do Sul
Cidade 3	C3	Morungaba
Cidade 4	C4	Santo Antônio de Posse
Cidade 5	C5	Serra Negra
Cidade 6	C6	Tuiuti

3.1.3 Validação do modelo conceitual

Sargent (2013), explica que a validação é a determinação de que as teorias e suposições presentes no modelo conceitual estão corretas, e que a representação da entidade problema é razoável para a finalidade do modelo. Segundo Maciel (2013), uma das técnicas

mais utilizadas para esse fim é a validação “face a face”, devido sua ampla aplicação encontrada na literatura. De acordo com Chwif e Medina (2014), Kleijnen (1995) e Sargent (2013), esta validação é uma discussão com especialistas com o intuito de discutir se o modelo é uma boa representação da realidade e objetivando alcançar com estes especialistas o aval para o uso do modelo.

Das técnicas disponíveis para validação do modelo conceitual, foi escolhida a validação face-a-face. Este tipo de validação também pode ser aplicada no modelo computacional. O modelo foi apresentado ao superintendente e à Analista Ambiental do CISBRA, que consideraram o mapeamento representativo do processo.

3.1.4 Modelagem dos dados de entrada

Segundo Chwif e Medina (2014), a maioria dos sistemas que se procura modelar por meio da simulação possui algum fenômeno aleatório que o governa. Todo modelo de simulação deve ser capaz de representar os fenômenos aleatórios existentes no sistema através da observação e levantamento dos dados do fenômeno, de modo que o sistema seja o mais representativo possível. Por este motivo, uma das etapas mais importantes na construção de um modelo de simulação é a modelagem dos dados de entrada. Modelar dados é obter modelos probabilísticos que permitam inferir as propriedades de um dado fenômeno aleatório (CHWIF e MEDINA, 2014).

O estudo da modelagem dos dados pode ser resumido em três etapas: coleta de dados, tratamento dos dados e inferência.

O primeiro passo na coleta de dados foi a determinação da variável de entrada: a quantidade de pneus de cada tipo (passeio, carga e moto) que entra semanalmente no PC de Amparo proveniente de cada uma das cidades constituintes do consórcio. Os dados foram coletados durante 45 semanas e são apresentados no Apêndice A. Com os relatórios disponíveis pelo CISBRA foi possível encontrar o percentual de cada tipo de pneu originado por cada cidade e também por cada ponto gerador.

O próximo passo da modelagem dos dados de entrada consistiu em encontrar uma distribuição de probabilidade representativa do processo observado. Para encontrar a distribuição de probabilidade correspondente a entrada de cada tipo de pneu no PC foi utilizado o *software* Stat::fit®.

Para chegar a quantidade de pneus acumulados por cada um dos pontos geradores para o transporte para o PC central, localizado em Amparo, a quantidade total de pneus entregues

foi dividida pela quantidade de viagens realizadas. Os pneus de passeio e de carga foram tratados como pneus de moto. Cada pneu de carro corresponde a 2 pneus de moto e cada pneu de carga corresponde a 16 pneus de moto. Nesta situação cada ponto gerador faz acúmulo dos pneus de forma individual e cada um utiliza um meio de transporte particular para entrega no destino final. Estas informações estão disponíveis na Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Modelagem da quantidade de pneus transportada até o PC

	C1		C2			C3		C4		C5		C6	
	T1	B1	P1	B2	P2	B3	P3	B4	P4	B5	P5	B6	P6
Passeio (un.)	15	4407	197	0	88	940	1031	88	96	11	0	522	347
Moto (un.)	0	476	1	0	149	95	63	8	6	0	0	63	77
Caminhão (un.)	226	2216	17	71	10	56	65	35	148	17	0	1	3
Produto equivalente (un.)	3646	44748	666	1137	486	2871	3164	745	2567	292	0	1123	819
Numero viagens (un.)	25	229	5	3	3	32	7	1	1	1	0	9	2
Distância (Km)	13,4	5,1	5,2	13,3	13,3	25,7	25,7	27,3	27,3	17,8	18	20,4	20,4
Distância total percorrida (Km)	670	2335,8	52	79,8	79,8	1644,8	359,8	54,6	54,6	35,6	0	367,2	81,6
Total por viagem (un.)	146	195	133	379	162	90	452	745	2567	292	-	125	409
Total transportado(un.)	3646	44748	666	1137	486	2871	3164	745	2567	292	-	1123	819

No sistema real, 6 transportadoras e 59 borracharias da cidade 1 fizeram uso do PC. Uma simplificação foi feita no modelo, utilizando a distância média dos locais até o PC. Para as outras cidades foi utilizada a distância do centro de cada cidade até o PC localizado na cidade 1, tanto para as borracharias quanto para as prefeituras.

Nas Figuras 3.3, 3.4 e 3.5 é possível verificar a distribuição correspondente a entrada de cada tipo de pneu semanalmente no PC. As distribuições foram encontradas com o auxílio do *software* Stat::fit®.

Auto::Fit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
Geometric(6.18e-003)	100	do not reject
Discrete Uniform(0., 441)	1.5	reject
Poisson(161)	0.	reject

Figura 3.3- Modelagem dos dados pneus de carro

Auto::Fit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
Geometric(1.62e-002)	100	do not reject
Poisson(60.6)	2.07e-004	reject
Discrete Uniform(0., 301)	3.7e-012	reject

Figura 3.4- Modelagem dos dados pneus de carga

Auto::Fit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
Geometric(5.16e-002)	100	do not reject
Poisson(18.4)	2.19e-006	reject
Discrete Uniform(0., 151)	0.	reject

Figura 3.5- Modelagem dos dados pneus de moto

Além das informações apresentadas neste item, outros dados foram levantados e são apresentados no capítulo 4: quilometragens de cada um dos agentes até o PC de Amparo, as emissões de poluentes por tipo de veículo, o consumo de combustível por tipo de combustível e custos da LR dos pneus no consórcio.

3.2 Implementação do Modelo

Este item mostra os passos seguidos para a construção do modelo computacional.

3.2.1 Parâmetros de construção do modelo computacional

O modelo conceitual foi representado em um modelo computacional utilizando o *software* de simulação ProModel[®]. A Figura 3.6, mostra o modelo computacional desenvolvido para representar a LR de pneus inservíveis no CISBRA.

No presente modelo foram implementados chegadas, locais, entidades, processos, recursos, redes de caminho, macros e variáveis. O Quadro 3.3 apresenta todos os parâmetros elaborados para o modelo.

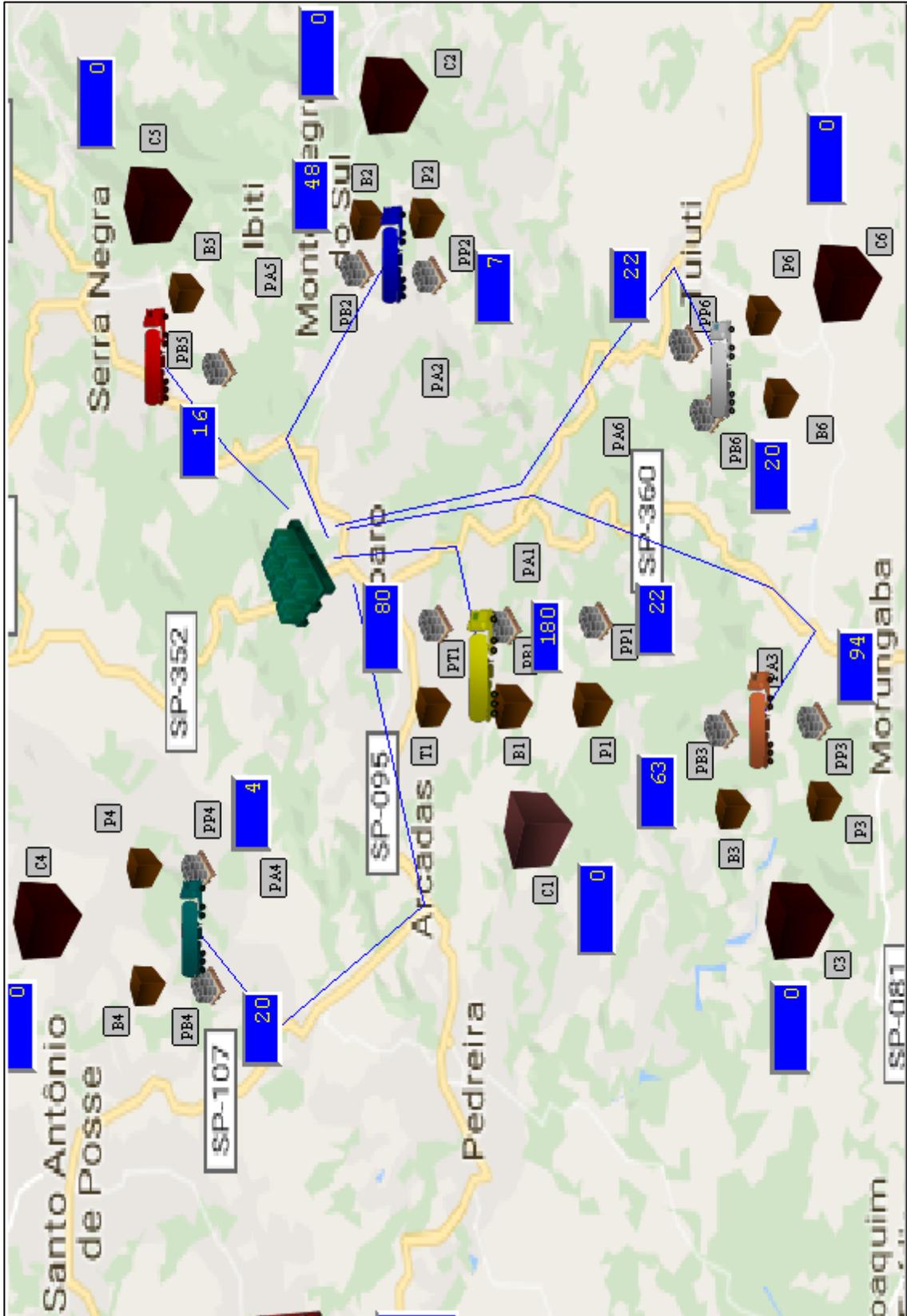


Figura 3.6- Modelo Computacional da LR de Pneus Inservíveis Realizado pelo CISBRA

Quadro 3.3- Parâmetros de implementação do modelo computacional

Parâmetro	Quantidade	Descrição
Locais (32)	Consórcio (1) Cidades (6) Transportadoras (1) Prefeitura (5) Borracharias (6) Ponto transportadoras (1) Ponto prefeitura (5) Ponto borracharias (6) Ponto de coleta (1)	Os pneus inservíveis no Consórcio alvo de estudo, constituído por seis cidades, têm três possíveis origens: transportadora, borracharias ou prefeituras. A transportadora e prefeituras funcionam como ponto de armazenamento dos pneus que foram utilizados nas próprias instituições. Já nas borracharias são acumulados os pneus da população, que ao fazerem reparo, ou trocarem os pneus de seus veículos, geralmente, deixam-nos para que seja realizada a destinação final.
Entidades (4)	Pneu passeio (E1) Pneu caminhão (E2) Pneu moto (E3) Pneus (E)	A modelagem e simulação consistiu em analisar os três principais tipos de pneus descartados: pneus de passeio, pneus de carga e pneus de moto. Foi utilizado o produto equivalente para permitir o transporte das diferentes entidades ao mesmo tempo pelo modelo computacional, por isto foi criada a entidade E. A proporção para o produto equivalente adotada é a seguinte: E1=2 E, E2=16 E, E3=E.
Redes de caminhos (6)	Seis redes de caminho com 2 arcos em cada cidade.	Representação em forma de linha que sai de cada cidade e chega ao Ponto de Coleta em Amparo.
Recursos (12)	12 veículos (3 na cidade 1, 1 na cidade 5 e 2 nas demais cidades).	Veículos utilizados para transportar os pneus inservíveis acumulados até o ponto de coleta central.
Processos (67)	67 processos	Processos lógicos construtivos, que ocorrem nos locais e entre locais.
Chegadas (3)	Pneus carga: GE (0.0162) Pneus passeio: GE (0.00618) Pneus moto: GE (0.0516)	Distribuição de probabilidade representativa da chegada de cada tipo de pneu no sistema.
Variáveis (54)	49 variáveis: 30 usadas para verificar o modelo e 24 necessárias para a saída.	30 variáveis usadas para verificação do modelo: quantidade de pneus de carga em cada cidade (6), quantidade de pneus de passeio em cada cidade (6), quantidade de pneus de moto em cada cidade (6), quilometragem percorrida por cada ponto gerador (12). 24 variáveis relacionadas com as respostas analisadas com o modelo: emissões de poluentes(8), quilometragem total percorrida (1), quilometragem percorrida por cada tipo de veículo (7), custo com combustível (2), quantidade total transportada (1), custo de transporte (1), custo de armazenagem (1), custo administrativo (1), custo de manuseio (1), custo total da LR (1).
Macros	12 macros referentes à quantidade transportada por cada local.	Informações pré-definidas de entrada no modelo: quantidade transportada por cada ponto gerador.

3.2.2 Medidas de desempenho do modelo computacional e tempo de simulação

Com a finalidade de medir o desempenho da LR dos pneus inservíveis no CISBRA foram utilizados alguns indicadores. Para a escolha dos indicadores foram levados em consideração o estudo de Milanez (2002), que pesquisou a melhor forma de desenvolver indicadores para a sustentabilidade, e Oliveira (2015), que aplicou indicadores de sustentabilidade para simular vários cenários na LR de embalagens longa vida.

Nikolaou (2013) cita que os indicadores de desempenho ambiental, que são usados na LR, centram-se principalmente na redução de CO₂, como o uso de energia por item, o consumo anual de combustível e a eficiência geral do veículo. Os inventários de emissões de poluentes atmosféricos, em um aspecto mais geral, são instrumentos estratégicos de gestão ambiental que estimam as emissões por fontes de poluição especificadas, numa dada área geográfica e num dado período de tempo, permitindo assim orientar medidas mais eficientes de intervenção (MMA, 2011).

3.2.2.1 Indicadores de desempenho: emissão de poluentes

Os seguintes poluentes foram escolhidos como medida de desempenho para o modelo desenvolvido no presente trabalho: Monóxido de carbono (CO), Óxidos de nitrogênio (NO_x), Hidrocarbonetos (HC) e Dióxido de carbono (CO₂). O relatório da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB- 2014) forneceu as informações da quantidade de poluente emitido por tipo de veículo, combustível e quilometragem percorrida.

Mota *et al.* (2013), apresentam características e prejuízos causados pelos poluentes analisados no presente trabalho:

- Óxidos de nitrogênio (NO_x): gás marrom avermelhado, com odor forte. Diminui a resistência às infecções respiratórias nos indivíduos e aumenta a sensibilidade à asma e bronquite;
- Monóxido de carbono (CO): gás incolor, inodoro e insípido. Apesar de não apresentar características desagradáveis, altos níveis desse gás ocasionam no ser humano prejuízo dos reflexos, da capacidade de estimar intervalos de tempo, do aprendizado e visual;
- Hidrocarbonetos (HC): compostos orgânicos que provocam irritação nos olhos, nariz, pele e aparelho respiratório, além de ser cancerígeno e mutagênico.
- Dióxido de carbono (CO₂): aparecimento de doenças respiratórias e cardiovasculares. O impacto mais negativo deste gás é o desequilíbrio do efeito estufa.

Mota *et al.* (2013) ainda citam que estes poluentes também podem causar prejuízos ambientais, merecendo destaque a chuva ácida e o efeito estufa.

3.2.2.2. Indicador de desempenho: Custo Total da LR dos pneus inservíveis

Com base nas informações disponibilizadas por Ballou (1992), Bowersox e Closs (2007), Novaes (2004) e Souza e D'Agosto (2013), determinam-se como aplicáveis à cadeia logística reversa os seguintes custos: custo de aquisição do resíduo, custo de transporte, custo de estoque, custo de processamento do pedido, custo de armazenagem, custo de manuseio de materiais, custo de embalagem e custo administrativo.

Dos oito itens citados, fazem parte dos custos da LR dos pneus inservíveis no consórcio de cidades: custo de transporte, custo de armazenagem, custo de manuseio de materiais e custo administrativo. Desta forma, o indicador de custo da LR dos pneus inservíveis no consórcio em questão, será utilizado como medida de desempenho no modelo do presente trabalho e o detalhamento de seu cálculo é apresentado no item 3.2.3.

3.2.3. Cálculo das medidas de desempenho

Levando em consideração os aspectos citados, os indicadores escolhidos para analisar o desempenho do uso de transporte no presente modelo estão descritos no Quadro 3.4.

Quadro 3.4: Medidas de desempenho do modelo

Medidas de Desempenho do Modelo	Unidade
Quilometragem total percorrida para entrega dos pneus inservíveis do consórcio no Ponto de Coleta de Amparo	Km
Custo total da LR	R\$
Emissão CO ₂	g/km
Emissão de CO	g/km
Emissão de NO _x	g/km
Emissão de HC	g/km
Emissão total de poluentes (CO+ NO _x +HC)	g/km

Fonte: Elaborado pela autora

Para a simulação foram utilizados os tipos de transporte citados na Tabela 3.2, de acordo com a classificação do MMA apresentada no relatório da CETESB (2014):

Tabela 3.2- Tipos de transportes utilizados na simulação

Tipo de veículo	Sigla	Capacidade (kg)	Produto Equivalente (pneus)
Comercial Leve	CoL	1.000	400
Comercial Pesado	CoP	2.000	800
Caminhão Semi Leve	CSL	3.000	1.200
Caminhão Leve (Toco)	CL	6.000	2.400
Caminhão Médio	CM	10.000	4.000
Caminhão Pesado	CP	14.000	5.600

Fonte: CETESB (2014) e Guia do TRC (2017)

Os cálculos foram realizados utilizando a Lógica de Finalização no *software* ProModel®. As fórmulas utilizadas para o cálculo dos indicadores referentes a emissão de poluentes são apresentadas da Eq. 3.2 a Eq. 3.17. Elas foram elaboradas usando dados de emissão de poluentes e consumo de combustível para diferentes tipos de veículos segundo CETESB (2014), apresentados no Anexo B. Também foram utilizados dados de preço de combustível disponível em ANP (2017), apresentados no Anexo A. Da Eq. 3.2 a Eq. 3.9 foram utilizados os valores médios para veículos fabricados de 2006 a 2013. Já da Eq. 3.10 a Eq. 3.17 foram utilizados valores para veículos com ano de fabricação 2014.

Para o cálculo das medidas de desempenho, primeiramente foi necessário levantar a quilometragem total percorrida pelos veículos do consórcio para a entrega dos pneus inservíveis no PC de Amparo. Esta informação foi levantada através da inserção da Eq. 3.1 na lógica de finalização do ProModel®.

$$Km\ Total = Km\ B_1 + Km\ B_2 + Km\ B_3 + Km\ B_4 + Km\ B_5 + Km\ B_6 + Km\ P_1 + Km\ P_2 + Km\ P_3 + Km\ P_4 + Km\ P_6 + Km\ T_1 \quad (3.1)$$

Sendo:

- Km Total= quilômetros percorridos pelos veículos do consórcio de cidades para entregar os pneus inservíveis no PC;
- Km B_i (i= 1,2,3,4,5,6) = quilometragem percorrida pelos veículos das borracharias de cada cidade até o PC de Amparo;
- Km P_i (i= 1,2,3,4,5,6) = quilometragem percorrida pelos veículos das prefeituras de cada cidade até o PC de Amparo;
- Km T₁= quilometragem percorrida pelo veículo da transportadora localizada na cidade 1 até o PC de Amparo.

3.2.3.1. Equações para cálculo da emissão de poluentes quando os veículos utilizados são antigos (fabricação de 2006 a 2013):

Na situação atual, os veículos utilizados para transporte dos pneus inservíveis até o PC central, são veículos fabricados de 2006 a 2013. Para encontrar a emissão de poluentes para este tipo de veículo, foram elaboradas as equações 3.2 a 3.9 com os dados disponíveis em CETESB (2014) e ANP (2017).

A lógica de construção de tais equações foi o levantamento médio de cada tipo de poluente por quilômetro percorrido. Por exemplo, a Eq. 3.2 calcula a quantidade total de emissão de CO emitida para o meio ambiente quando são utilizados veículos com ano de fabricação entre 2006 e 2013 movidos a diesel e gasolina: 0,399 g de CO por quilômetro percorrido por um veículo comercial leve, 0,26 g de CO por quilômetro percorrido por um veículo comercial pesado, 0,359 g CO por quilômetro percorrido por um caminhão semi leve, 0,510 g de CO por quilômetro percorrido por um caminhão leve, 0,399 g de CO por quilômetro percorrido por um caminhão médio, 0,770 g de CO por quilômetro percorrido por um caminhão semi pesado e 0,688 g de emissão de CO por quilômetro percorrido por um caminhão pesado. Os veículos comerciais leves podem utilizar como combustível etanol ou gasolina, os demais sempre usarão diesel.

$$\text{Emissão CO DG} = 0,399 \times \text{Km CoL} + 0,26 \times \text{Km CoP} + 0,359 \times \text{Km CSL} + 0,510 \times \text{Km CL} + 0,438 \times \text{Km CM} + 0,770 \times \text{Km CSP} + 0,688 \times \text{Km CP} \quad (3.2)$$

$$\text{Emissão CO DE} = 0,524 \times \text{Km CoL} + 0,26 \times \text{Km CoP} + 0,359 \times \text{Km CSL} + 0,510 \times \text{Km CL} + 0,438 \times \text{Km CM} + 0,770 \times \text{Km CSP} + 0,688 \times \text{Km CP} \quad (3.3)$$

$$\text{Emissão HC DG} = 0,055 \times \text{Km CoL} + 0,0258 \times \text{Km CoP} + 0,066 \times \text{Km CSL} + 0,1065 \times \text{Km CL} + 0,076 \times \text{Km CM} + 0,1125 \times \text{Km CSP} + 0,145 \times \text{Km CP} \quad (3.4)$$

$$\text{Emissão HC DE} = 0,10 \times \text{Km CoL} + 0,0258 \times \text{Km CoP} + 0,066 \times \text{Km CSL} + 0,1065 \times \text{Km CL} + 0,076 \times \text{Km CM} + 0,1125 \times \text{Km CSP} + 0,145 \times \text{Km CP} \quad (3.5)$$

$$\text{Emissão Nox DG} = 0,054 \times \text{Km CoL} + 0,634 \times \text{Km CoP} + 1,461 \times \text{Km CSL} + 2,620 \times \text{Km CL} + 2,534 \times \text{Km CM} + 4,215 \times \text{Km CSP} + 4,365 \times \text{Km CP} \quad (3.6)$$

$$\text{Emissão Nox DE} = 0,057 \times \text{Km CoL} + 0,634 \times \text{Km CoP} + 1,461 \times \text{Km CSL} + 2,620 \times \text{Km CL} + 2,534 \times \text{Km CM} + 4,215 \times \text{Km CSP} + 4,365 \times \text{Km CP} \quad (3.7)$$

$$\text{Emissão CO}_2 \text{ DG} = 2,378 \times \text{Km CoL} + 0,268 \times \text{Km CoP} + 0,029 \times \text{Km CSL} + 0,465 \times \text{Km CL} + 0,465 \times \text{Km CM} + 0,765 \times \text{Km CSP} + 0,765 \times \text{Km CP} \quad (3.8)$$

$$\text{Emissão CO}_2 \text{ DE} = 0,224 \times \text{Km CoL} + 0,268 \times \text{Km CoP} + 0,029 \times \text{Km CSL} + 0,465 \times \text{Km CL} + 0,485 \times \text{Km CM} + 0,765 \times \text{Km CSP} + 0,765 \times \text{Km CP} \quad (3.9)$$

Sendo:

- Emissão “poluente” DG= emissão do poluente quando são usados veículos a Diesel e a Gasolina;
- Emissão “poluente” DE= emissão do poluente quando são usados veículos a Diesel e a Etanol;
- Km CoL= quilometragem percorrida por veículos Comerciais Leves;
- Km CoP= quilometragem percorrida por veículos Comerciais Pesados;
- Km CSL= quilometragem percorrida por Caminhão Semi Leve;
- Km CL= quilometragem percorrida por Caminhão Leve;
- Km CM= quilometragem percorrida por Caminhão Médio;
- Km CSP= quilometragem percorrida por Caminhão Semi Pesado;
- Km CP= quilometragem percorrida por Caminhão Pesado.

3.2.3.2. Equações para cálculo da emissão de poluentes quando os veículos utilizados são novos:

Para tornar viável a análise de desempenho com relação à emissão de poluentes, caso sejam utilizados veículos mais recentes, foram elaboradas as equações 3.10 a 3.17. A Eq. 3.10 calcula a quantidade total de emissão de CO emitida para o meio ambiente quando são utilizados veículos com ano de fabricação de 2014 movidos a diesel e gasolina: 0,555 g de CO por quilômetro percorrido por um veículo comercial leve, 0,08 g de CO por quilômetro percorrido por um veículo comercial pesado, 0,012 g CO por quilômetro percorrido por um caminhão semi leve, 0,115 g de CO por quilômetro percorrido por um caminhão leve, 0,081 g de CO por quilômetro percorrido por um caminhão médio, 0,107 g de CO por quilômetro percorrido por um caminhão semi pesado e 0,285 g de emissão de CO por quilômetro percorrido por um caminhão pesado. Os veículos comerciais leves podem utilizar como combustível etanol ou gasolina, os demais sempre usarão diesel.

$$\begin{aligned} \text{Emissão CO DG} = & 0,267 \times \text{Km CoL} + 0,08 \times \text{Km CoP} + 0,012 \times \text{Km CSL} + 0,115 \times \\ & \text{Km CL} + 0,081 \times \text{Km CM} + 0,107 \times \text{Km CSP} + 0,285 \times \text{Km CP} \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} \text{Emissão CO DE} = & 0,555 \times \text{Km CoL} + 0,08 \times \text{Km CoP} + 0,012 \times \text{Km CSL} + 0,115 \times \\ & \text{Km CL} + 0,081 \times \text{Km CM} + 0,107 \times \text{Km CSP} + 0,285 \times \text{Km CP} \end{aligned} \quad (3.11)$$

$$\text{Emissão HC DG} = 0,032 \times \text{Km CoL} + 0,023 \times \text{Km CoP} + 0,005 \times \text{Km CSL} + 0,007 \times \text{Km CL} + 0,009 \times \text{Km CM} + 0,017 \times \text{Km CSP} + 0,029 \times \text{Km CP} \quad (3.12)$$

$$\text{Emissão HC DE} = 0,09 \times \text{Km CoL} + 0,023 \times \text{Km CoP} + 0,005 \times \text{Km CSL} + 0,007 \times \text{Km CL} + 0,009 \times \text{Km CM} + 0,017 \times \text{Km CSP} + 0,029 \times \text{Km CP} \quad (3.13)$$

$$\text{Emissão Nox DG} = 0,029 \times \text{Km CoL} + 0,285 \times \text{Km CoP} + 0,489 \times \text{Km CSL} + 0,956 \times \text{Km CL} + 1,061 \times \text{Km CM} + 1,061 \times \text{Km CSP} + 1,543 \times \text{Km CP} \quad (3.14)$$

$$\text{Emissão Nox DE} = 0,04 \times \text{Km CoL} + 0,285 \times \text{Km CoP} + 0,489 \times \text{Km CSL} + 0,956 \times \text{Km CL} + 1,061 \times \text{Km CM} + 1,061 \times \text{Km CSP} + 1,543 \times \text{Km CP} \quad (3.15)$$

$$\text{Emissão CO}_2 \text{ DG} = 0,251 \times \text{Km CoL} + 0,261 \times \text{Km CoP} + 0,029 \times \text{Km CSL} + 0,465 \times \text{Km CL} + 0,485 \times \text{Km CM} + 0,723 \times \text{Km CSP} + 0,723 \times \text{Km CP} \quad (3.16)$$

$$\text{Emissão CO}_2 \text{ DE} = 0,241 \times \text{Km CoL} + 0,261 \times \text{Km CoP} + 0,029 \times \text{Km CSL} + 0,465 \times \text{Km CL} + 0,449 \times \text{Km CM} + 0,723 \times \text{Km CSP} + 0,723 \times \text{Km CP} \quad (3.17)$$

Sendo:

- Emissão “poluente” DG= emissão do poluente quando são usados veículos a Diesel e a Gasolina;
- Emissão “poluente” DE= emissão do poluente quando são usados veículos a Diesel e a Etanol;
- Km CoL= quilometragem percorrida por veículos Comerciais Leves;
- Km CoP= quilometragem percorrida por veículos Comerciais Pesados;
- Km CSL= quilometragem percorrida por Caminhão Semi Leve;
- Km CL= quilometragem percorrida por Caminhão Leve;
- Km CM= quilometragem percorrida por Caminhão Médio;
- Km CSP= quilometragem percorrida por Caminhão Semi Pesado;
- Km CP= quilometragem percorrida por Caminhão Pesado.

3.2.3.3. Equações para cálculo do custo total da LR de pneus pelo CISBRA:

Para o cálculo do custo da LR dos pneus inservíveis no CISBRA, foram utilizadas as equações propostas por Souza e D’Agosto (2013), adaptadas ao processo específico da LR dos pneus inservíveis. O custo total da LR dos pneus inservíveis para o CISBRA foi calculado pela Eq. 3.18:

$$\text{Custo total LR} = CT + CM + CAdm + CA \quad (3.18)$$

Sendo:

- Custo total LR= Custo total para a LR dos pneus inservíveis do consórcio;
- CT= Custo de Transporte (R\$);
- CM= Custo de Manuseio (R\$);
- CAdm= Custo Administrativo (R\$);
- CA= Custo de Armazenamento (R\$).

A primeira variável para cálculo do custo da LR dos pneus inservíveis é o Custo de Transporte, que é calculado por meio da equação 3.19:

$$CT = (C + L + Lav + Pn + Mn) \times Km + CP \quad (3.19)$$

Sendo:

- CT= custo de transporte (R\$);
- C= custo de combustível (R\$/km);
- L= custo de lubrificante (R\$/km);
- Lav= custo de lavagem (R\$/km);
- Pn= custo com pneus (R\$/km);
- Mn= custo de manutenção (R\$/km);
- Km= quilometragem percorrida (km/mês);
- Cp= custo com pessoal (Salário + encargos + benefícios) (R\$).

Para este trabalho foi necessário levantar os custos de combustível para os veículos antigos (fabricação de 2006 a 2013) e veículos novos (fabricação de 2014).

As equações utilizadas para o cálculo do custo de combustível para veículos antigos são apresentadas na Eq. 3.20 e na Eq. 3.21. Já para o custo de combustível quando são utilizados veículos novos, são utilizadas as equações Eq. 3.22 e Eq. 3.23. Essas equações dividem a quilometragem percorrida por cada tipo de veículo usado para transporte dos pneus inservíveis até o PC pela eficiência média do tipo de veículo, segundo relatório CETESB (2014), multiplicado pelo preço de combustível no período analisado, segundo relatório da ANP (2017).

$$\begin{aligned} \text{Custo DE} = & (\text{Km CoL} / 6,4) \times 3,138 + (\text{Km CoP} / 9,75) \times 2,772 + (\text{Km CSL} / 9,1) \times 2,596 + (\text{Km CL} / 5,6) \times 2,596 + (\text{Km CM} / 5,6) \times 2,596 + (\text{Km CSP} / 3,4) \times 2,596 \\ & + (\text{Km CP} / 3,4) \times 2,596 \end{aligned} \quad (3.20)$$

$$\begin{aligned} \text{Custo DG} = & (\text{Km CoL} / 8,3) \times 3,138 + (\text{Km CoP} / 9,75) \times 2,772 + (\text{Km CSL} / 9,1) \times 2,596 + (\text{Km CL} / 5,6) \times 2,596 + (\text{Km CM} / 5,6) \times 2,596 + (\text{Km CSP} / 3,4) \times 2,596 \\ & + (\text{Km CP} / 3,4) \times 2,596 \end{aligned} \quad (3.21)$$

$$\begin{aligned} \text{Custo DE} = & (\text{Km CoL} / 6,1) \times 2,017 + (\text{Km CoP} / 10,4) \times 2,772 + (\text{Km CSL} / 9,1) \times 2,596 + (\text{Km CL} / 5,6) \times 2,596 + (\text{Km CM} / 5,8) \times 2,596 + (\text{Km CSP} / 3,6) \times 2,596 \\ & + (\text{Km CP} / 3,6) \times 2,596 \end{aligned} \quad (3.22)$$

$$\begin{aligned} \text{Custo DG} = & (\text{Km CoL} / 8,9) \times 3,138 + (\text{Km CoP} / 10,4) \times 2,772 + (\text{Km CSL} / 9,1) \times 2,596 + (\text{Km CL} / 5,6) \times 2,596 + (\text{Km CM} / 5,8) \times 2,596 + (\text{Km CSP} / 3,6) \times 2,596 \\ & + (\text{Km CP} / 3,6) \times 2,596 \end{aligned} \quad (3.23)$$

Sendo:

- Km CoL= quilometragem percorrida por veículos Comerciais Leves;
- Km CoP= quilometragem percorrida por veículos Comerciais Pesados;
- Km CSL= quilometragem percorrida por Caminhão Semi Leve;
- Km CL= quilometragem percorrida por Caminhão Leve;
- Km CM= quilometragem percorrida por Caminhão Médio;
- Km CSP= quilometragem percorrida por Caminhão Semi Pesado;
- Km CP= quilometragem percorrida por Caminhão Pesado;
- Custo DG= custo com Diesel e Gasolina;
- Custo DE= custo com Diesel e Etanol.

O segundo componente do Custo de Transporte é o custo do óleo lubrificante. Foram utilizados os dados do óleo lubrificante com base mineral, que é o mais barato entre as opções de mercado.

O consumo de óleo lubrificante é calculado mediante o volume de combustível consumido. Considera-se como aceitável, um valor aproximado de 0,5% do combustível consumido pelo veículo, ou seja, para cada 100 litros de combustível também é consumido 0,5 litro de óleo lubrificante (LIBORIO, 2017).

O preço do óleo lubrificante foi pesquisado junto a lojas especializadas situadas na região estudada:

- Preço do óleo lubrificante mineral para carro= 21,00 (R\$/l)

- Preço do óleo lubrificante mineral para motor diesel= 16,35 (R\$/l)

Tendo as informações levantadas sobre consumo e preço do óleo lubrificante, foi possível elaborar as Eq. 3.24 a Eq. 3.27, para cálculo deste custo componente do custo de transporte. O custo com óleo lubrificante, quando os veículos utilizados são antigos (fabricação de 2006 a 2013), são apresentadas nas equações Eq. 3.24 e Eq. 3.25, já quando são utilizados veículos novos (fabricação 2014), as equações representativas desse custo são as equações Eq. 3.26 e Eq. 3.27:

$$LDE = (Km\ CoL / 6,4) \times 0,105 + (Km\ CoP / 9,75) \times 0,082 + (Km\ SL / 9,1) \times 0,082 \quad (3.24)$$

$$+ (Km\ CL / 5,6) \times 0,082 + (Km\ CM / 5,6) \times 0,082 + (Km\ SP / 3,4) \times 0,082 + (Km\ CP / 3,4) \times 0,082$$

$$LDG = (Km\ CoL / 8,3) \times 0,105 + (Km\ CoP / 9,75) \times 0,082 + (Km\ SL / 9,1) \times 0,082 + \quad (3.25)$$

$$(Km\ CL / 5,6) \times 0,082 + (Km\ CM / 5,6) \times 0,082 + (Km\ SP / 3,4) \times 0,082 + (Km\ CP / 3,4) \times 0,082$$

$$LDE = (Km\ CoL / 6,1) \times 0,105 + (Km\ CoP / 10,4) \times 0,082 + (Km\ CSL / 9,1) \times \quad (3.26)$$

$$0,082 + (Km\ CL / 5,6) \times 0,082 + (Km\ CM / 5,8) \times 0,082 + (Km\ CSP / 3,6) \times 0,082$$

$$+ (Km\ CP / 3,6) \times 0,08$$

$$LDG = (Km\ CoL / 8,9) \times 0,105 + (Km\ CoP / 10,4) \times 0,082 + (Km\ CSL / 9,1) \times \quad (3.27)$$

$$0,082 + (Km\ CL / 5,6) \times 0,082 + (Km\ CM / 5,8) \times 0,082 + (Km\ CSP / 3,6) \times 0,082$$

$$+ (Km\ CP / 3,6) \times 0,082$$

Sendo:

- LDE= custo com óleo lubrificante quando são usados veículos movidos a Diesel e Gasolina;
- LDG= custo com óleo lubrificante quando são usados veículos movidos a Diesel e Etanol;
- Km CoL= quilometragem percorrida por veículos Comerciais Leves;
- Km CoP= quilometragem percorrida por veículos Comerciais Pesados;
- Km CSL= quilometragem percorrida por Caminhão Semi Leve;
- Km CL= quilometragem percorrida por Caminhão Leve;
- Km CM= quilometragem percorrida por Caminhão Médio;
- Km CSP= quilometragem percorrida por Caminhão Semi Pesado;
- Km CP= quilometragem percorrida por Caminhão Pesado.

O próximo custo componente do custo de transporte é o custo de lavagem. Para chegar a este custo primeiramente foi necessário pesquisar o valor da lavagem simples na cidade de Amparo. Os valores encontrados estão mostrados na Tabela 3.3:

Tabela 3.3: Preço médio de lavagem por veículos na cidade de Amparo:

Tipo de Veículo	Valor (R\$)
Comerciais leves	35,00
Caminhonete	50,00
Vans e similares	50,00
Caminhões pequenos	70,00
Caminhões médios	100,00
Caminhões grandes	120,00

Para elaborar a Eq. 3.28, foi considerada a informação de funcionários do CISBRA que os veículos são lavados a cada 400 km rodados.

$$Lav = Km CoL x 0,087 + Km CoP x 0,125 + (Km CSL + Km CL) x 0,018 + Km CM x 0,175 + (Km CSP + Km CP) x 0,3 \quad (3.28)$$

Para o cálculo do valor com manutenção dos veículos, próximo item do custo de transporte, foi usada a informação de Dias, Angnes e Wegner (2016). De acordo com tais autores, o valor de manutenção de caminhões é de R\$ 2.000,00 a cada 5.000 km rodados, ou seja, 0,4 (R\$/km). Esse valor foi considerado uma boa estimativa pelos funcionários do CISBRA, que propuseram os seguintes valores para manutenção de veículos comerciais pesados e leves, baseado no valor de manutenção de caminhões:

- Valor de manutenção de veículos comerciais pesados=R\$ 1500,00 a cada 10.000 km rodados, ou seja, 0,15 (R\$/km);
- Valor de manutenção de veículos comerciais leves=R\$ 900,00 a cada 10.000 km rodados, ou seja, 0,09 (R\$/km).

Com essas informações, foi possível formular o cálculo para manutenção dos veículos utilizados pelo CISBRA no transporte dos pneus inservíveis até o PC, conforme mostrado na Eq. 3.29:

$$Man = Km CoL x 0,09 + Km CoP x 0,15 + (Km CSL + Km CL + Km CM + Km CSP + Km CP) x 0,4 \quad (3.29)$$

O custo com pneus também influencia no custo de transporte. De acordo com Dias, Angnes e Wegner (2016) a cada 60.000 km os pneus de caminhões devem ser trocados.

Associada a essa informação foi pesquisado o preço de pneus para os diferentes tipos de veículos para compor a equação para cálculo do custo com pneus.

- Valor de aquisição de um pneu de caminhão= R\$ 1.800,00 (Dias, Angnes e Wegner, 2016);
- Valor de aquisição de um pneu de caminhonete = R\$ 700,00 (pesquisa com CISBRA)
- Valor de aquisição de um pneu de comercial leve = R\$ 480,00 (pesquisa com CISBRA)

A equação Eq. 3.30 apresenta a forma de cálculo do custo com pneus:

$$Pn = Km CoL \times 0,032 + Km CoPx 0,012 + (Km CSL + Km CL + Km CM + Km CSP + Km CP) \times 0,12 \quad (3.30)$$

O último custo de transporte é o custo com pessoal. Para o cálculo dessa variável, foi necessário levantar o salário e encargos de um motorista, conforme detalhado no Apêndice F. O resultado mostra:

- Custo com motorista= 14,33 (R\$/h)

Baseado em todas as informações mencionadas, a lógica de finalização implementada no ProModel[®], que permitiu o cálculo do custo de transporte, está apresentada nas Equações Eq. 3.31 e Eq. 3.32:

$$Custo_de_transporte_DE = Custo_combustivel_DE + Lav + LDE + Man + Pn + Cp \quad (3.31)$$

$$Custo_de_transporte_DG = Custo_combustivel_DG + Lav + LDE + Man + Pn + Cp \quad (3.32)$$

Sendo:

- Custo de transporte DE= custo total de transporte quando são utilizados veículos movidos a Diesel e Etanol;
- Custo de transporte DG= custo total de transporte quando são utilizados veículos movidos a Diesel e Gasolina;
- Custo combustível DE= soma dos gastos com combustível quando são utilizados veículos movidos a Diesel e Etanol;
- Custo combustível DG= soma dos gastos com combustível quando são utilizados veículos movidos a Gasolina e Etanol;
- Lav = Custo de lavagem dos veículos;

- LDE = Custo com óleo lubrificante quando são usados veículos movidos a Diesel e Etanol;
- LDG = Custo com óleo lubrificante quando são usados veículos movidos a Diesel e Gasolina;
- Man = Custo de manutenção dos veículos;
- Pn = Custo com pneus;
- Cp = Custo com pessoal.

O segundo componente do Custo da LR é o custo de armazenagem, que é calculado pela Eq. 3.33:

$$Ca = Ax Va \quad (3.33)$$

Sendo:

- Ca: custo de armazenagem (R\$);
- A: área considerada para o armazenamento dos pneus (m²);
- Va: Valor da unidade de área (R\$/m²).

Para cálculo da área de armazenagem foi levada em consideração a informação de Souza e D'Agosto (2013), que 15 m² é suficiente para cada 100 pneus inservíveis. O valor do aluguel foi consultado junto à imobiliárias da região e o preço do m² encontrado foi de R\$ 4,50.

No ProModel®, o custo de armazenagem, foi implementado segundo a Eq. 3.34:

$$Ca = (QB_1 + QB_2 + QB_3 + QB_4 + QB_5 + QB_6 + QP_1 + QP_2 + QP_3 + QP_4 + QP_6 + QT_1) \times 0,675 \quad (3.34)$$

Sendo:

- QB_i= Quantidade de pneus armazenados nas borracharias;
- QP_i= Quantidade de pneus armazenados nas prefeituras;
- QT₁= Quantidade de pneus armazenados na transportadora.

Outro componente do Custo Total da LR é o custo de manuseio. Para a situação em questão, o custo de manuseio é referente ao custo da mão-de-obra utilizada para carregar o

caminhão da Reciclanip com os pneus armazenados no PC central e foi calculado usando a Eq. 3.35:

$$CM = (Sal + Es + Bf) \times n \times m \quad (3.35)$$

Sendo:

- CM: custo de manuseio de materiais (R\$);
- Sal: salário do funcionário (R\$);
- Bf: benefícios (R\$);
- Es: encargos sociais (R\$);
- n: número de funcionários;
- m número de viagens.

O cálculo dos salários, encargos sociais e benefícios está apresentado no Apêndice F. O custo de mão de obra é de 8,95 (R\$/h).

Em visita ao CISBRA, foi passado que uma pessoa em uma hora de trabalho, consegue carregar 100 pneus no caminhão. Desta forma, a equação implementada na lógica de finalização do ProModel® é:

$$CM = \frac{\text{Total transportado}}{100} \times 8,95 \quad (3.36)$$

O último componente do Custo Total da LR é o Custo Administrativo, que é calculado utilizando a equação Eq. 3.37:

$$CAdm = Cadm + CMO \quad (3.37)$$

Sendo:

- CAdm: custo administrativo (R\$);
- Cadm: custo referente a gestão administrativa (R\$);
- CMO: custo de mão de obra (R\$).

Na situação estudada, o custo administrativo resume-se ao custo de um funcionário disponível no ponto de coleta de cada uma das cidades 4 horas por semana, para recebimento e controle de entrada dos pneus inservíveis. O custo da mão de obra é o mesmo utilizado no custo de manuseio e apresentado no Apêndice F, sendo de 8,95 (R\$/h). Dessa forma, o custo

administrativo é um custo fixo de R\$ 9666,00 durante 45 semanas, que é o prazo de simulação.

Com todas as variáveis levantadas, a lógica de finalização implementada no ProModel® para cálculo do Custo Total da LR de pneus inservíveis está apresentada na Eq. 3.38 e na Eq. 3.39:

$$\text{Custo Total DE} = CT DE + CA + CM + CAdm \quad (3.38)$$

$$\text{Custo Total} = CT DG + CA + CM + CAdm \quad (3.39)$$

Sendo:

- Custo Total DE= Custo total da LR dos pneus inservíveis quando são utilizados veículos movidos a diesel e etanol;
- Custo Total DG= Custo total da LR dos pneus inservíveis quando são utilizados veículos movidos a diesel e gasolina;
- CA= Custo de armazenagem;
- CM= Custo de manuseio;
- CAdm= Custo administrativo.

O tempo de simulação determinado é de 45 semanas, correspondente ao período dos dados coletados para construção e validação do modelo.

3.3 Verificação e Validação do Modelo de Simulação

O processo de verificação e validação de modelos de simulação (V&V) é fundamental para que o estudo de simulação seja bem sucedido (CHWIF e MEDINA, 2014).

Segundo Chwif e Medina (2014) e Kleijnen (1995), a validação relacionada com o modelo conceitual equivale a responder a pergunta: será que as considerações feitas, o nível de detalhamento e o escopo do modelo representarão de forma adequada o sistema a ser simulado?

Já a verificação do modelo computacional, segundo Chwif e Medina (2014) e Kleijnen (1995), consiste em corrigir os elementos que estão causando seu mau funcionamento. São técnicas de verificação: implementação modular/verificação modular; valores constantes ou

simplificados *versus* cálculos manuais; utilização do *debugger*, *trace* ou depurador; simulação manual; animação gráfica; revisão em grupo; técnicas estatísticas.

No caso do modelo computacional deste trabalho, ele foi construído em estágios de forma a facilitar sua verificação. Além disto, o *debugger* do ProModel® foi utilizado para verificar possíveis erros de construção. Contadores foram inseridos no modelo computacional para verificação nos diferentes locais.

Sargent (2013) define brevemente que o modelo conceitual é a representação da realidade a ser estudada e o modelo computacional é a representação do modelo conceitual.

Nesta etapa foi possível aumentar a confiabilidade de validação do modelo conceitual por meio de uma validação estatística, que consistiu em comparar estatisticamente o resultado do sistema real (dados históricos) com os resultados da simulação. Chwif e Medina (2014) e Kleijnen (1995) citam o teste *t* como um dos tipos de validação estatística mais utilizados.

Antes de realizar o teste *t*, foram realizados os seguintes passos:

- Definição do tipo de sistema simulado: terminal ou não terminal

Segundo Chwif e Medina (2014), nos sistemas terminais a simulação é executada por um tempo exato e acaba. Nesse caso, um dado evento que determina o término do processo de simulação. Neste tipo de sistema as condições iniciais são fixas e o sistema volta a assumir estas condições no início de cada rodada. Alguns exemplos: *pub*, restaurantes, lojas comerciais. Os mesmos autores classificam os sistemas não terminais sendo aqueles que não possuem condições iniciais fixas, a simulação não possui um tempo exato para terminar e nem um evento que determina o fim da simulação.

O presente trabalho caracteriza-se como um sistema não terminal pelo fato de não possuir nenhum evento que determina o término do processo.

- Seleção das variáveis de desempenho

Resposta ou variável de resposta é a medida de desempenho ou saída do modelo de simulação (LAW, 2009). No caso estudado, as principais variáveis de desempenho são a quilometragem total percorrida pelos veículos para transportarem os pneus até o PC em Amparo e o total de pneus transportados. Estas variáveis que influenciarão no custo total da LR e emissão total de poluentes.

- Determinar o período de *warm-up*

Chwif e Medina (2014) e Leal (2008) alertam que para simulação de sistema não terminal é necessário que os dados de saída sejam coletados durante o estado de regime permanente. O período transitório é chamado de *warm up* (ROBINSON, 2007). De acordo com Chwif e Medina (2014), a melhor forma de determinar o período de *warm up* é através

da observação visual dos resultados de saída do modelo replicado um grande número de vezes.

Seguindo a teoria, o modelo foi observado e verificou-se que o período de *warm up* é de 3 semanas.

- Cálculo do número de replicações

Para chegar ao número de replicações necessárias para o presente trabalho, primeiramente foi necessário escolher a confiança estatística e a precisão desejada. Segundo Chwif e Medina (2014) a confiança estatística refere-se ao intervalo de confiança, ou seja, um intervalo de valores que contém a média da população, com uma certa probabilidade. Quanto maior for esta probabilidade, maior a confiança estatística de que a média da população se encontra nesse intervalo construído. Já a precisão estatística está relacionada ao tamanho desse intervalo, pois de nada adianta uma alta confiança estatística se o tamanho do intervalo é tão grande que não se pode concluir nada sobre a média da população.

Para o modelo atual, foi escolhido trabalhar com uma confiança estatística de 95% ($\alpha=0,05$) e com uma precisão de 5%. Para Chung (2004), uma precisão de 10% (quanto menor, melhor) pode ser considerada suficiente para trabalhos em simulação.

A precisão assumida de 5% significa uma variação de 5% dos valores reais para as variáveis analisadas (58951 pneus equivalentes transportados e 5495,4 km percorridos durante 45 semanas). Desta forma, a precisão estatística (h^*) pode ser de, no máximo, 274,77 km para a variável “quilometragem total percorrida” e 2948 pneus equivalentes para a variável “quantidade de pneus transportados”.

Após a escolha da precisão e confiança foi possível definir o número de replicações. Para Chung (2004), a seleção do número inicial de replicações é arbitrária, sendo que um número comum é de 10 replicações. Desta forma, o modelo foi simulado inicialmente com 10 replicações. Os resultados para as variáveis “quilometragem total percorrida” e “quantidade total de pneus entregues” estão apresentados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4- Resultados para 10 replicações

											Média	Desvio padrão
Km	4235,8	5706,8	5334	5799,2	5911,2	5701,6	5627,8	5696	5468,8	5790	5527,12	483,07
Qtd	42834	63010	54271	64388	60573	60421	61029	63552	55088	56979	58214,5	6423,59

Com estas informações foi possível verificar a precisão com 10 replicações. Para o cálculo do intervalo de confiança $100(1-\alpha)\%$ para a média de uma população, foi utilizada a equação Eq. 3.40 proposta por Devore (2000):

$$h = t_{n-1, \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3.40)$$

Sendo:

- $h = t_{n-1, \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$ é a metade do tamanho do intervalo de confiança, aqui denominada de precisão;
- $t_{n-1, \alpha/2}$ é o $(1-\alpha/2)$ percentil da distribuição t de *Student* com $n-1$ graus de liberdade;
- s é o desvio-padrão da amostra;
- n é o número de dados da amostra.

Com $\alpha=0,05$ e $n= 10$ replicações, da tabela t de *Student*, tem-se:

$$t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} = t_{10-1, \frac{0,05}{2}} = 2,26$$

Para a quilometragem real percorrida a precisão ficou:

$$h_{\text{km}} = t_{n-1, \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} = 2,26 \times \frac{483,07}{\sqrt{10}} = 345,24$$

Para a quantidade de pneus equivalentes transportados, a precisão ficou:

$$h_{\text{qtd}} = t_{n-1, \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} = 2,26 \times \frac{6423,59}{\sqrt{10}} = 4591$$

Como os valores de precisão ficaram acima do desejado, foi necessário fazer o cálculo do número de replicações necessárias para que a precisão seja a desejada. Para determinar o número de replicações necessárias, para que seja atingida a precisão desejada, foi utilizada a Eq. 3.41 proposta por Cwif e Medina (2014):

$$n^* = \left\lceil n \left(\frac{h}{h^*} \right)^2 \right\rceil \quad (\text{Eq. 3.41})$$

Sendo:

- n= número de replicações realizadas
- h= confiança estatística
- h*= precisão estatística

Utilizando os valores de saída do modelo para 10 replicações e a fórmula proposta por Chwif e Medina (2014), tem-se:

$$n_{\text{km}} = \left\lceil 10 \left(\frac{345,24}{274,77} \right)^2 \right\rceil = [15,78] = 16$$

$$n_{\text{qtd}} = \left\lceil 10 \left(\frac{4591}{2948} \right)^2 \right\rceil = [24,26] = 25$$

Executando o modelo com 25 replicações, foi possível chegar aos valores apresentados na Tabela 3.5:

O cálculo para verificar se a precisão obtida está dentro do desejado:

$$t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} = t_{24; \frac{0,05}{2}} = 2,06$$

Para a quilometragem real percorrida a precisão ficou:

$$h_{\text{km}} = t_{n-1, \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} = 2,06 \times \frac{535,99}{\sqrt{25}} = 220,83$$

Para a quantidade de pneus equivalentes transportados, a precisão ficou:

$$h_{\text{qtd}} = t_{n-1, \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} = 2,06 \times \frac{6710,01}{\sqrt{25}} = 2765$$

Tabela 3.5- Resultados para 25 replicações

	Km	Qtd.
	4235,80	42834,00
	5706,80	63010,00
	5334,00	54271,00
	5799,20	64388,00
	5911,20	60573,00
	5701,60	60421,00
	5627,80	61029,00
	5696,00	63552,00
	5468,80	55088,00
	5790,00	56979,00
	6926,60	72641,00
	6334,20	68254,00
	5713,20	62262,00
	5406,60	58209,00
	5935,40	63145,00
	5117,20	52285,00
	5338,80	54029,00
	5975,20	67834,00
	6434,80	67303,00
	5402,00	54313,00
	5270,20	52863,00
	5630,60	61227,00
	6252,80	65761,00
	5171,40	53842,00
	6406,00	68133,00
Média	5703,45	60169,84
Desvio padrão	535,99	6710,01

Como as precisões ficaram abaixo do desejado, foi possível fazer a validação do modelo com as saídas do modelo de simulação. Para isto foi utilizado o teste *1-Sample t*, que segundo Montgomery e Runger (2003), é aplicado em situações onde é necessário decidir entre aceitar ou rejeitar uma afirmativa. Neste caso, a hipótese testada é se as distribuições das variáveis “quantidade total de pneus transportados” e “quilometragem total percorrida” representam os valores do sistema real. Os mesmos autores alertam a necessidade de verificar a normalidade das distribuições antes da realização do teste de hipóteses. O teste *1-Sample* foi usado porque só se conhece os dados referentes a um ano de operação para comparar com os resultados de saída do modelo de simulação.

O teste de normalidade de *Anderson-Darling* foi realizado usando o *software* Minitab®. As Figuras 3.7 e 3.8 mostram que as duas distribuições, quilometragem percorrida e quantidade de pneus, correspondem a uma distribuição normal. Os valores de *p-values* encontrados foram 0,284 para “quilometragem total percorrida” e 0,495 para “quantidade de pneus transportados”. Como os valores são superiores a 0,05 a hipótese de aceitar a distribuição normal representativa da realidade foi aceita.

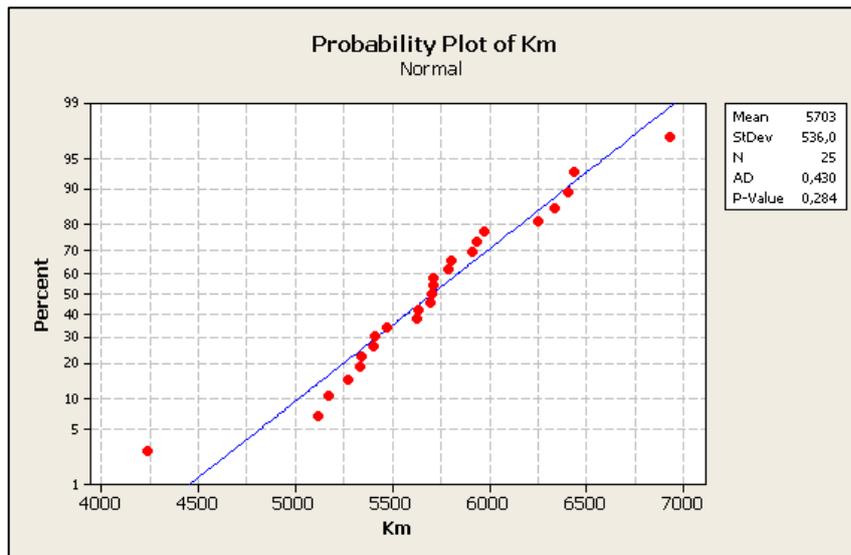


Figura 3.7- Teste de normalidade para quilometragem percorrida (25 replicações)

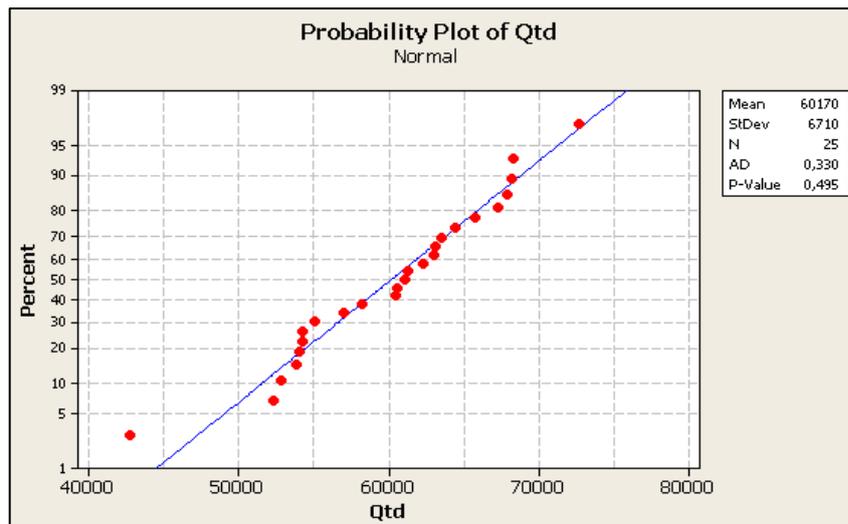


Figura 3.8- Teste de normalidade para quantidade de pneus transportados (25 replicações)

4. ANÁLISE

Com o modelo verificado e validado, foi possível iniciar a etapa de Análise com a execução dos experimentos conforme o modelo proposto por Montevechi *et al.* (2010) e mostrado na Figura 3.1. Neste trabalho, esta etapa consiste em gerar cenários comparativos. A partir das medidas de desempenho é possível comparar os diferentes cenários e propor melhorias para a LR do consórcio.

4.1. Elaboração e Análise de Cenários Comparativos

Dentro do escopo definido para o presente trabalho, os experimentos foram realizados com a finalidade de aumentar o desempenho de transporte dos pneus inservíveis até o destino de armazenamento final. As simulações consistiram em alterar a quantidade de pneus armazenados antes do transporte, usar combustíveis diferentes, usar veículos mais novos e em integrar os diferentes agentes, primeiramente dentro de cada cidade e posteriormente uma integração do consórcio. O objetivo foi verificar como isto impacta a quantidade de quilômetros percorridos por período de tempo e conseqüentemente avaliar ganhos em custos e redução na emissão de poluentes.

4.1.1. Simulação 1.1:

A primeira simulação representa o sistema real. A Tabela 4.1 mostra as informações utilizadas nesta situação. A coluna “GET”, expressão utilizada no ProModel®, representa a quantidade de pneus acumulados por cada um dos pontos geradores para o transporte para o PC central, localizado em Amparo. Nesta situação cada ponto gerador faz acúmulo dos pneus de forma individual e cada um utiliza um meio de transporte particular para entrega no destino final.

No sistema real, 6 transportadoras e 59 borracharias da Cidade 1 fizeram uso do PC. Uma simplificação foi feita no modelo, utilizando a distância média dos locais até o PC. Para as outras cidades foi utilizada a distância do centro de cada cidade até o PC localizado na Cidade 1, tanto para as borracharias quanto para as prefeituras. As distâncias mostradas na Tabela 4.1 equivalem à ida e volta dos veículos em cada entrega.

Tabela 4.1- Informações utilizadas nos cenários 1.1, 1.2, 2.1 e 2.2

Local	Significado	GET	Km até PC	Veículo
QT1	Quantidade transportadora 1	155	26,8	1 CoL
QP1	Quantidade prefeitura 1	133	10,4	1 CoL
QB1	Quantidade borracharia 1	181	10,2	1 CoL
QP2	Quantidade prefeitura 2	162	26,6	1 CoL
QB2	Quantidade borracharia 2	379	26,6	1 CoL
QP3	Quantidade prefeitura 3	453	51,4	1 CoL
QB3	Quantidade borracharia 3	92	51,4	1 CoL
QP4	Quantidade prefeitura 4	2566	54,6	1 CM
QB4	Quantidade borracharia 4	744	54,6	1 CoP
QB5	Quantidade borracharia 5	294	35,6	1 CoL
QP6	Quantidade prefeitura 6	410	40,8	1 CoP
QB6	Quantidade borracharia 6	121	40,8	1 CoL

A última coluna mostrada na Tabela 4.1 mostra o tipo de veículo utilizado para transporte, levando em consideração a quantidade transportada. Os veículos utilizados neste cenário têm ano de fabricação entre 2006 e 2013, portanto, as informações para emissões de poluentes e consumo de combustível são referentes a média dos veículos deste período de fabricação. Conforme pode ser observado na Tabela 4.1, neste caso são utilizados veículos comerciais leves (CoL) e neste cenário, este tipo de veículo utiliza gasolina. O veículo comercial pesado (CoP) e caminhão médio (CM) utilizados neste cenário utilizam diesel como combustível. Desta forma, este cenário traz como resposta a emissão de poluentes e custo da LR quando são utilizados veículos a diesel e à gasolina (DG).

4.1.2. Cenário 1.2

O cenário 1.2 é uma variação do cenário 1.1. Enquanto o cenário 1.1 utiliza veículos comerciais leves movidos à gasolina, neste caso são utilizados veículos comerciais leves movidos a etanol. Esta diferença impacta nas diferenças na emissão de poluentes e no custo com combustível. Todas as demais informações são as mesmas do cenário 1.1.

Com relação ao modelo computacional, a única diferença é a “lógica de término” que utiliza as informações de quilometragem percorrida para fazer o cálculo das variáveis analisadas. A quilometragem percorrida e quantidade de pneus transportados são as mesmas do cenário 1.1 devido à similaridade do modelo.

4.1.3. Cenário 2.1

Neste cenário a diferença simulada em relação ao cenário 1.1 foi a alteração dos veículos utilizados para o transporte dos pneus inservíveis. Enquanto no cenário 1 o transporte é realizado por veículos mais antigos, com fabricação de 2006 até 2013, neste cenário são utilizados os fatores de emissão de poluentes e consumo de combustível para veículos fabricados a partir de 2014.

No modelo computacional a Lógica de Finalização do ProModel® foi alterada para fornecer custo de combustível e emissão de poluentes para este tipo de veículo. As demais informações são as mesmas apresentadas na Tabela 4.1. Os combustíveis utilizados neste cenário são diesel e gasolina para veículos novos.

4.1.4. Cenário 2.2.

O cenário 2.2 é uma variação do cenário 2.1. Nesta situação são utilizados os veículos mais novos, com fabricação a partir de 2014, como no cenário anterior. No entanto, em vez de simular os veículos mais novos (comerciais leves) utilizando gasolina, eles utilizam etanol. Todas as demais informações necessárias para o modelo são as mesmas apresentadas na Tabela 4.1.

4.1.5. Cenário 3.1

O cenário 3.1 representa um planejamento individual, onde cada ponto gerador ainda utilizaria transporte individual e acumularia pneus de forma isolada. No entanto, um acúmulo mais próximo das cargas máximas de transporte permitido pelos veículos foi simulada. A Tabela 4.2 apresenta as informações utilizadas no cenário 3.1.

Com relação ao modelo computacional, as diferenças com relação ao cenário representativo da situação atual são as quantidades transportadas representadas na Tabela 4.2 por “GET”. Neste cenário, os veículos comerciais leves utilizam gasolina para fazer o transporte dos pneus inservíveis até o PC.

Tabela 4.2- Informações utilizados nos cenários 3.1, 3.2, 4.1 e 4.2

Local	Significado	GET	Km até PC	Veículo
QT1	Quantidade transportadora 1	400	26,8	1 CoL
QP1	Quantidade prefeitura 1	400	10,4	1 CoL
QB1	Quantidade borracharia 1	400	10,2	1 CoL
QP2	Quantidade prefeitura 2	400	26,6	1 CoL
QB2	Quantidade borracharia 2	400	26,6	1 CoL
QP3	Quantidade prefeitura 3	800	51,4	1 CoP
QB3	Quantidade borracharia 3	400	51,4	1 CoL
QP4	Quantidade prefeitura 4	2566	54,6	1 CM
QB4	Quantidade borracharia 4	800	54,6	1 CoP
QB5	Quantidade borracharia 5	400	35,6	1 CoL
QP6	Quantidade prefeitura 6	400	40,8	1 CoP
QB6	Quantidade borracharia 6	400	40,8	1 CoL

4.1.6. Cenário 3.2

Utilizando a mesma lógica apresentada até o momento, o cenário 3.2 é a variação do cenário 3.1 com a utilização de etanol em vez de gasolina nos veículos comerciais leves. As informações necessárias para este cenário são as mostradas na Tabela 4.2 e as equações utilizadas são as que mostram o resultado da emissão de poluentes e custo com combustível para o caso de utilização de veículos comerciais leves movidos a etanol e demais veículos utilizando diesel.

4.1.7. Cenário 4.1

As quantidades acumuladas em cada local são as mesmas do cenário 3 (3.1. e 3.2), no entanto, é simulada a situação utilizando veículos de fabricação mais recente (ano de fabricação de 2014). Como no cenário 3.1, é considerado que os veículos comerciais leves utilizam gasolina e por este motivo as variáveis foram calculadas utilizando as equações apresentadas no item 3.2.2 para o caso de utilização de gasolina e diesel de acordo com o tipo de veículo.

4.1.8. Cenário 4.2

Similar ao cenário 4.1 (transporte realizado por veículos novos), mas utilizando etanol como combustível para os veículos comerciais leves.

4.1.9. Cenário 5.1

O cenário 5.1 apresenta o primeiro caso onde a situação simulada é planejar de forma integrada o acúmulo de pneus pelas transportadoras, borracharias e prefeitura de cada cidade. Nesta situação, não é mais utilizado um veículo por local e sim um veículo por cidade. A distância percorrida pelo caminhão 1 será de 32 km para Cidade 1 (16 km ida e volta), maior distância de uma transportadora até o PC. Para as demais cidades permanecem as mesmas distâncias percorridas. A Tabela 4.3 mostra as informações utilizadas no cenário 5.1.

Seguindo a mesma lógica dos cenários anteriores, neste caso foram considerados que os veículos comerciais leves utilizam gasolina como combustível no transporte dos pneus inservíveis. Todos os veículos utilizados são mais antigos. Consequentemente, as equações para o cálculo das variáveis são as mesmas utilizadas em todos os cenários no caso em que são utilizados veículos comerciais leves utilizando gasolina e demais veículos utilizando diesel, com ano de fabricação anterior a 2014.

Tabela 4.3- Informações utilizadas nos cenários 5.1, 5.2, 6.1 e 6.2

Local	Significado	GET	Km até PC	Veículo
QB1	Quantidade cidade 1	400	26,8	1 CoL
QB2	Quantidade cidade 2	400	26,6	1 CoL
QB3	Quantidade cidade 3	400	51,4	1 CoL
QB4	Quantidade cidade 4	800	54,6	1 CoP
QB5	Quantidade cidade 5	400	35,6	1 CoL
QB6	Quantidade cidade 6	400	40,8	1 CoP

4.1.10. Cenário 5.2

A diferença entre o cenário 5.2 com relação ao cenário 5.1 é a utilização de etanol nos veículos comerciais leves em vez de gasolina. Neste caso são utilizados veículos mais antigos, os dados necessários estão apresentados na Tabela 4.3.

4.1.11. Cenário 6.1

As quantidades acumuladas em cada local são as mesmas do cenário 5 (5.1 e 5.2), no entanto, é simulada a situação utilizando veículos de fabricação mais recentes. Os dados estão apresentados na Tabela 4.3.

4.1.12. Cenário 6.2

A diferença em relação ao cenário 6.1 é a utilização de etanol nos veículos comerciais leves. Como os veículos utilizados são novos e a mistura de combustível utilizada é etanol e diesel de acordo com o tipo de veículo utilizado, as equações utilizadas para cálculo das emissões de poluentes e custo total da LR são as pertinentes para tal situação.

4.1.13. Cenário 7

O cenário 7, como os cenários 5 (5.1 e 5.2) e 6 (6.1 e 6.2), representa o transporte de forma integrada pelas transportadoras, borracharias e prefeitura de cada cidade com a utilização apenas de um veículo por cidade. A diferença está na quantidade de pneus acumulada antes do transporte para o PC. As informações utilizadas no cenário 7 são apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4- Informações utilizadas nos cenários 7 e 8

Local	Significado	GET	Km até PC	Veículo
QB1	Quantidade cidade 1	800	26,8	1 CoP
QB2	Quantidade cidade 2	800	26,6	1 CoP
QB3	Quantidade cidade 3	800	51,4	1 CoP
QB4	Quantidade cidade 4	1200	54,6	1 CSM
QB5	Quantidade cidade 5	800	35,6	1 CoP
QB6	Quantidade cidade 6	800	40,8	1 CoP

Neste caso não será necessário um cenário complementar (7.2), pois não há a utilização de veículos leves que podem usar etanol ou gasolina, apenas são usados veículos movidos a diesel. Os veículos utilizados neste cenário são os mais antigos

4.1.14. Cenário 8

As quantidades acumuladas em cada local são as mesmas do cenário 7, no entanto, é simulada a situação utilizando veículos de fabricação mais recentes. Como a quantidade de transporte é maior e conseqüentemente os veículos utilizados também, não foi necessário fazer um cenário complementar (8.2), pois todos os veículos usam apenas diesel.

4.1.15. Cenário 9

O cenário 9 representa o transporte de forma integrada pelas transportadoras, borracharias e prefeitura de cada cidade com a utilização de apenas um veículo por cidade. Além disto, nesta situação, as cidades mais próximas trabalham de forma conjunta no transporte dos pneus inservíveis até o PC em Amparo (Morungaba e Tuiuti, Monte Alegre do Sul e Serra Negra). As informações utilizadas no cenário 9 são apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5- Informações utilizadas nos cenários 9 e 10

Local	Significado	GET	Km até PC	Veículo
QB1	Quantidade cidade 1	800	26,8	1 CoP
QB2	Quantidade cidades 2 e 5	1200	39,9	1 CSL
QB3	Quantidade cidades 3 e 6	1200	63,9	1 CSL
QB4	Quantidade cidade 4	1200	54,6	1 CSL

Neste caso não será necessário um cenário complementar, pois não há a utilização de veículos leves que podem usar etanol ou gasolina, apenas são usados veículos movidos a diesel. Os veículos utilizados neste cenário são os mais antigos.

4.1.16. Cenário 10

A diferença simulada neste cenário em relação ao cenário 9, é que são utilizados veículos com ano de fabricação mais recentes para o transporte dos pneus inservíveis até o PC de Amparo. As informações utilizadas no cenário 10 são as apresentadas na Tabela 4.5.

Neste caso apenas são usados veículos movidos a diesel.

4.1.17. Cenário 11

A diferença simulada neste cenário em relação aos cenários 9 e 10 é a maior quantidade acumulada de pneus inservíveis nas cidades que estão trabalhando juntas, antes do transporte dos pneus inservíveis até o PC em Amparo (Morungaba e Tuiuti; Monte Alegre do Sul e Serra Negra). As informações utilizadas no cenário 11 são apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Informações utilizadas nos cenários 11 e 12

Local	Significado	GET	Km até PC	Veículo
QB1	Quantidade cidade 1	800	26,8	1 CoP
QB2	Quantidade cidades 2 e 5	2400	39,9	1 CL
QB3	Quantidade cidades 3 e 6	2400	63,9	1 CL
QB4	Quantidade cidade 4	1200	54,6	1 CSL

Os veículos utilizados neste cenário são os mais antigos, todos movidos a diesel.

4.1.18. Cenário 12

A diferença simulada neste cenário em relação ao cenário 11, é que são utilizados veículos com ano de fabricação mais recentes para o transporte dos pneus inservíveis até o PC de Amparo. As informações utilizadas no cenário 12 são apresentados na Tabela 4.6.

4.1.19. Cenário 13

A situação simulada é o uso de um mesmo transporte para coleta dos pneus inservíveis nas cidades de Serra Negra, Monte Alegre do Sul, Tuiuti e Morungaba. As cidades de Amparo e Santo Antonio de Posse continuam com o transporte realizado de forma integrada pelas prefeituras, borracharias e transportadoras do município. Nesse cenário são utilizados veículos com fabricação anterior a 2014. As informações utilizadas para a simulação deste cenário encontram-se na Tabela 4.7.

Tabela 4.7- Informações utilizadas nos cenários 13 e 14

Local	Significado	GET	Km até PC	Veículo
QB1	Quantidade cidade 1	800	26,8	1 CoP
QB3	Quantidade cidades 2,3,5 e 6	2400	131,4	1 CL
QB4	Quantidade cidade 4	1200	54,6	1 CSL

4.1.20. Cenário 14

A diferença entre o cenário atual e o cenário 13 é que nessa situação são utilizados veículos mais recentes. As informações utilizadas são as disponíveis na Tabela 4.7.

4.1.21. Cenário 15

A situação simulada é o uso de um mesmo transporte para coleta dos pneus inservíveis nas cidades de Serra Negra, Monte Alegre do Sul, Tuiuti e Morungaba, no entanto, diferencia-

se dos cenários 13 e 14 pela maior quantidade de pneus acumulados antes do transporte até o PC em Amparo. São utilizados veículos mais antigos e as informações utilizadas neste cenário estão apresentadas na Tabela 4.8.

Tabela 4.8- Informações utilizadas nos cenários 15 e 16

Local	Significado	GET	Km até PC	Veículo
QB1	Quantidade cidade 1	800	26,8	1 CoP
QB3	Quantidade cidades 2,3,5 e 6	4000	131,4	1 CM
QB4	Quantidade cidade 4	1200	54,6	1 CSL

4.1.22. Cenário 16

São utilizados os dados do cenário 15, apresentados na Tabela 4.8, no entanto, são utilizados veículos mais novos para o transporte.

4.2. Análise

Depois de executados todos os cenários, foi possível comparar o desempenho do uso de transportes. A Tabela 4.9 mostra a média das 25 replicações para a quilometragem percorrida, quantidade de pneus transportados, emissão de poluentes e custo total da LR.

O indicador emissão de gases poluentes foi dividido em dois:

- Emissão de gases poluentes: é a somatória dos gases Nox, CO e HC;
- Emissão de CO₂: este gás foi tratado de forma isolada na análise dos cenários, pois conforme mostrado na sua definição no item 3.2.2.1 se trata de um gás de efeito estufa, considerado mais prejudicial ao meio ambiente que os demais gases poluentes analisados nesse trabalho.

Tabela 4.9 - Resultados dos Cenários

Variáveis	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1
Km Comercial Leve (km)	5264,44	5264,44	5264,44	5264,44	1973,33
Km Comercial Pesado (km)	412,80	412,80	412,80	412,80	192,74
Km Caminhão Médio (km)	26,21	26,21	26,21	26,21	26,21
Km Caminhão Semi Leve (km)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Km Caminhão Semi Pesado (km)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Km Caminhão Pesado (km)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Km Caminhão Leve (km)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Km Total (km)	5703,45	5703,45	5703,45	5703,45	2192,28
Total transportado	60169,84	60169,84	60169,84	60169,84	58927,68
Emissão CO (g)	2219,32	2877,37	1440,75	2956,91	848,95
Emissão HC (g)	302,19	539,09	178,19	483,53	115,50
Emissão No _x (g)	612,41	628,20	298,12	356,03	295,17
Emissão CO ₂ (g)	1374,85	1303,52	1440,88	1388,23	533,17
Emissão total de poluentes (g)	3133,91	4044,66	1917,07	3796,47	1259,62
Emissão CO₂ por pneu transportado (g/pneu)	0,0228	0,0217	0,0239	0,0231	0,0090
Emissão por pneu transportado (g/pneu)	0,0521	0,0672	0,0319	0,0631	0,0214
Custo combustível (R\$)	2119,85	2710,73	1977,92	1862,47	813,01
Custo combustível por pneu transportado (R\$/p)	0,0352	0,0451	0,0329	0,0310	0,0138
LD (R\$)	70,44	90,21	70,44	90,21	26,96
Lav (R\$)	516,82	516,82	516,82	516,82	201,35
Man (R\$)	546,20	546,20	546,20	546,20	216,99
Pn (R\$)	190,87	190,87	190,87	190,87	75,29
Cp (R\$)	1021,63	1021,63	1021,63	1021,63	392,69
Custo de transporte (R\$)	4465,82	5076,47	4323,89	4228,22	1726,29
Custo de armazenagem (R\$)	3840,75	3840,75	3840,75	3840,75	5242,05
CM (R\$)	5385,20	5385,20	5385,20	5385,20	5274,03
CAdm (R\$)	1611,00	1611,00	1611,00	1611,00	1611,00
Custo Total (R\$)	23357,17	23968,43	23215,84	23120,17	21908,37
Custo total por pneu transportado (R\$/pneu)	0,3882	0,3983	0,3858	0,3842	0,3718

Tabela 4.9 (continuação) - Resultados dos Cenários

Variáveis	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Km Comercial Leve (km)	1973,33	1973,33	1973,33	4326,43	4326,43
Km Comercial Pesado (km)	192,74	192,74	192,74	203,11	203,11
Km Caminhão Médio (km)	26,21	26,21	26,21	0,00	0,00
Km Caminhão Semi Leve (km)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Km Caminhão Semi Pesado (km)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Km Caminhão Pesado (km)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Km Caminhão Leve (km)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Km Total (km)	2192,28	2192,28	2192,28	4529,54	4529,54
Total transportado	58927,68	58927,68	58927,68	61520,00	61520,00
Emissão CO (g)	1095,62	544,42	1112,74	1779,06	2319,86
Emissão HC (g)	204,30	67,82	182,27	243,19	437,88
Emissão No _x (g)	301,09	139,97	161,67	362,40	375,38
Emissão CO ₂ (g)	506,43	557,37	537,64	1083,34	1024,71
Emissão total de poluentes (g)	1601,00	752,20	1456,68	2384,65	3133,12
Emissão CO₂ por pneu transportado (g/pneu)	0,0086	0,0095	0,0091	0,0176	0,0167
Emissão por pneu transportado (g/pneu)	0,0272	0,0128	0,0247	0,0388	0,0509
Custo combustível (R\$)	1034,50	758,87	715,60	1693,45	2179,05
Custo combustível por pneu transportado (R\$/p)	0,0176	0,0129	0,0121	0,0275	0,0354
LD (R\$)	34,37	26,96	34,37	56,43	72,68
Lav (R\$)	201,35	201,35	201,35	403,95	403,95
Man (R\$)	216,99	216,99	216,99	419,85	419,85
Pn (R\$)	75,29	75,29	75,29	147,92	147,92
Cp (R\$)	392,69	392,69	392,69	811,35	811,35
Custo de transporte (R\$)	1955,19	1672,15	1636,29	3532,96	4034,81
Custo de armazenagem (R\$)	5242,05	5242,05	5242,05	1890,00	1890,00
CM (R\$)	5274,03	5274,03	5274,03	5506,04	5506,04
CAdm (R\$)	1611,00	1611,00	1611,00	9666,00	9666,00
Custo Total (R\$)	22137,26	21818,37	21854,23	20595,00	21096,85
Custo total por pneu transportado (R\$/pneu)	0,3757	0,3703	0,3709	0,3348	0,3429

Tabela 4.9 (continuação) - Resultados dos Cenários

Variáveis	6.1	6.2	7	8
Km Comercial Leve (km)	4326,43	4326,43	0,00	0,00
Km Comercial Pesado (km)	203,11	203,11	2126,29	2126,29
Km Caminhão Médio (km)	0,00	0,00	0,00	0,00
Km Caminhão Semi Leve (km)	0,00	0,00	126,67	126,67
Km Caminhão Semi Pesado (km)	0,00	0,00	0,00	0,00
Km Caminhão Pesado (km)	0,00	0,00	0,00	0,00
Km Caminhão Leve (km)	0,00	0,00	0,00	0,00
Km Total (km)	4529,54	4529,54	2252,96	2252,96
Total transportado	61520,00	61520,00	60544,00	60544,00
Emissão CO (g)	1171,41	2417,42	598,31	171,62
Emissão HC (g)	143,12	394,05	63,22	49,54
Emissão No _x (g)	183,35	230,94	1533,13	667,93
Emissao CO ₂ (g)	1138,95	1095,68	606,88	591,19
Emissão total de poluentes (g)	1497,88	3042,41	2194,66	889,10
Emissão CO₂ por pneu transportado (g/pneu)	0,0185	0,0178	0,0100	0,0098
Emissão por pneu transportado (g/pneu)	0,0243	0,0495	0,0362	0,0147
Custo combustível (R\$)	1579,57	1484,70	640,66	602,87
Custo combustível por pneu transportado (R\$/p)	0,0257	0,0241	0,0106	0,0100
LD (R\$)	56,43	72,68	18,97	18,97
Lav (R\$)	403,95	403,95	287,95	287,95
Man (R\$)	419,85	419,85	369,61	369,61
Pn (R\$)	147,92	147,92	114,43	114,43
Cp (R\$)	811,35	811,35	403,56	403,56
Custo de transporte (R\$)	3419,08	3340,46	1835,18	1797,39
Custo de armazenagem (R\$)	1890,00	1890,00	3510,00	3510,00
CM (R\$)	5506,04	5506,04	5418,69	5418,69
CAdm (R\$)	9666,00	9666,00	9666,00	9666,00
Custo Total (R\$)	20481,12	20402,50	20429,86	20392,08
Custo total por pneu transportado (R\$/pneu)	0,3329	0,3316	0,3374	0,3368

Tabela 4.9 (continuação) - Resultados dos Cenários

Variáveis	9	10	11	12
Km Comercial Leve (km)	0,00	0,00	0,00	0,00
Km Comercial Pesado (km)	1663,74	1663,74	1663,74	1663,74
Km Caminhão Médio (km)	0,00	0,00	0,00	0,00
Km Caminhão Semi Leve (km)	539,75	126,67	539,75	126,67
Km Caminhão Semi Pesado (km)	0,00	0,00	0,00	0,00
Km Caminhão Pesado (km)	0,00	0,00	0,00	0,00
Km Caminhão Leve (km)	0,00	173,81	0,00	173,81
Km Total (km)	2203,49	1964,22	2203,49	1964,22
Total transportado	60656,00	58976,00	60656,00	58976,00
Emissão CO (g)	626,34	566,69	139,58	154,61
Emissão HC (g)	78,55	69,80	40,96	40,12
Emissão No _x (g)	1843,39	1695,26	738,10	702,27
Emissão CO ₂ (g)	600,90	563,53	588,63	551,26
Emissão total de poluentes (g)	2548,28	2331,74	918,65	896,99
Emissão CO₂ por pneu transportado (g/pneu)	0,0099	0,0096	0,0097	0,0093
Emissão por pneu transportado (g/pneu)	0,0420	0,0395	0,0151	0,0152
Custo combustível (R\$)	626,99	589,72	597,43	560,16
Custo combustível por pneu transportado (R\$/p)	0,0103	0,0100	0,0098	0,0095
LD (R\$)	18,80	17,63	18,80	17,63
Lav (R\$)	302,42	260,55	302,42	260,55
Man (R\$)	465,46	369,75	465,46	369,75
Pn (R\$)	142,41	113,70	142,41	113,70
Cp (R\$)	394,70	351,84	394,70	351,84
Custo de transporte (R\$)	1950,79	1703,20	1921,22	1673,63
Custo de armazenagem (R\$)	2970,00	4590,00	2970,00	4590,00
CM (R\$)	5428,71	5278,35	5428,71	5278,35
CAdm (R\$)	9666,00	9666,00	9666,00	9666,00
Custo Total (R\$)	20015,50	21237,55	19985,94	21207,98
Custo total por pneu transportado (R\$/pneu)	0,3300	0,3601	0,3295	0,3596

Tabela 4.9 (continuação) - Resultados dos Cenários

Variáveis	13	14	15	16
Km Comercial Leve (km)	0,00	0,00	0,00	0,00
Km Comercial Pesado (km)	1663,74	1663,74	1663,74	1663,74
Km Caminhão Médio (km)	0,00	0,00	257,54	257,54
Km Caminhão Semi Leve (km)	126,67	126,67	126,67	126,67
Km Caminhão Semi Pesado (km)	0,00	0,00	0,00	0,00
Km Caminhão Pesado (km)	0,00	0,00	0,00	0,00
Km Caminhão Leve (km)	446,76	446,76	0,00	0,00
Km Total (km)	2237,18	2237,18	2047,96	2047,96
Total transportado	60608,00	60608,00	60288,00	60288,00
Emissão CO (g)	705,90	186,00	590,85	155,48
Emissão HC (g)	98,86	42,03	70,86	41,22
Emissão No _x (g)	2410,39	963,21	1892,50	809,36
Emissão CO ₂ (g)	690,40	678,13	602,45	586,05
Emissão total de poluentes (g)	3215,15	1191,24	2554,21	1006,06
Emissão CO₂ por pneu transportado (g/pneu)	0,0114	0,0112	0,0100	0,0097
Emissão por pneu transportado (g/pneu)	0,0530	0,0197	0,0424	0,0167
Custo combustível (R\$)	716,26	686,69	628,54	594,86
Custo combustível por pneu transportado (R\$/p)	0,0118	0,0113	0,0104	0,0099
LD (R\$)	21,61	21,61	18,85	18,85
Lav (R\$)	308,32	308,32	275,21	275,21
Man (R\$)	478,93	478,93	403,25	403,25
Pn (R\$)	146,45	146,45	123,75	123,75
Cp (R\$)	400,73	400,73	366,84	366,84
Custo de transporte (R\$)	2072,31	2042,74	1816,43	1782,75
Custo de armazenagem (R\$)	2970,00	2970,00	4050,00	4050,00
CM (R\$)	5424,42	5424,42	5395,78	5395,78
CAdm (R\$)	9666,00	9666,00	9666,00	9666,00
Custo Total (R\$)	20132,72	20103,16	20928,21	20894,53
Custo total por pneu transportado (R\$/pneu)	0,3322	0,3317	0,3471	0,3466

É possível perceber ganhos significativos, com diminuição da emissão de poluentes e custo da LR, em vários cenários quando comparados à simulação da situação real. Uma forma de comparar os resultados dos diferentes cenários, levando em consideração a resposta de cada uma das replicações para cada cenário, é através dos *Boxplots*. O Apêndice D apresenta os *Boxplots* das principais variáveis analisadas no modelo.

A Tabela 4.10 mostra a variação percentual entre as principais medidas de desempenho quando comparadas à situação real, ou seja, o cenário 1.1. A coluna “% Emissão de Poluentes” apresenta o aumento ou diminuição de emissão de poluentes durante a LR, entre os cenários e a situação real. Por exemplo, no cenário 1.2 há uma maior emissão de poluentes do que na situação atual, já o cenário 2.1 apresenta uma redução na emissão de

poluentes, ou seja, um ganho de 38,83%. A coluna “% Emissão CO₂” segue a mesma lógica da coluna “%Emissão de Poluentes”, ou seja, o cenário 1.2 apresenta uma diminuição na emissão de CO₂ em 5,19% quando comparado à situação atual. A coluna “% Custo LR” apresenta o aumento ou redução de custos do processo, entre cada cenário e a situação real. Por exemplo, no cenário 1.2 há um aumento nos custos, já o cenário 2.1 apresenta uma redução nos custos da LR, ou seja, um ganho de 0,61%.

Tabela 4.10 – Variação percentual das medidas de desempenho comparadas à situação real

Cenários	% Emissão Poluentes	% Emissão CO₂	% Custo LR
1.2	-29,06	5,19	-2,62
2.1	38,83	-4,80	0,61
2.2	-21,14	-0,97	1,01
3.1	58,96	60,40	4,23
3.2	47,84	62,39	3,23
4.1	75,49	58,60	4,62
4.2	52,54	60,07	4,46
5.1	25,58	22,93	13,76
5.2	2,22	27,10	11,66
6.1	53,25	18,98	14,24
6.2	5,05	22,05	14,57
7	30,40	56,13	13,07
8	71,81	57,27	13,23
9	19,34	56,64	14,99
10	24,09	58,18	7,23
11	70,92	57,53	15,12
12	70,80	59,09	7,36
13	-1,85	50,15	14,43
14	62,26	51,03	14,55
15	18,66	56,27	10,57
16	67,96	57,46	10,72

As figuras 4.1 e 4.2 mostram uma análise gráfica respectivamente da emissão de poluentes e dos custos da LR nos diferentes cenários.

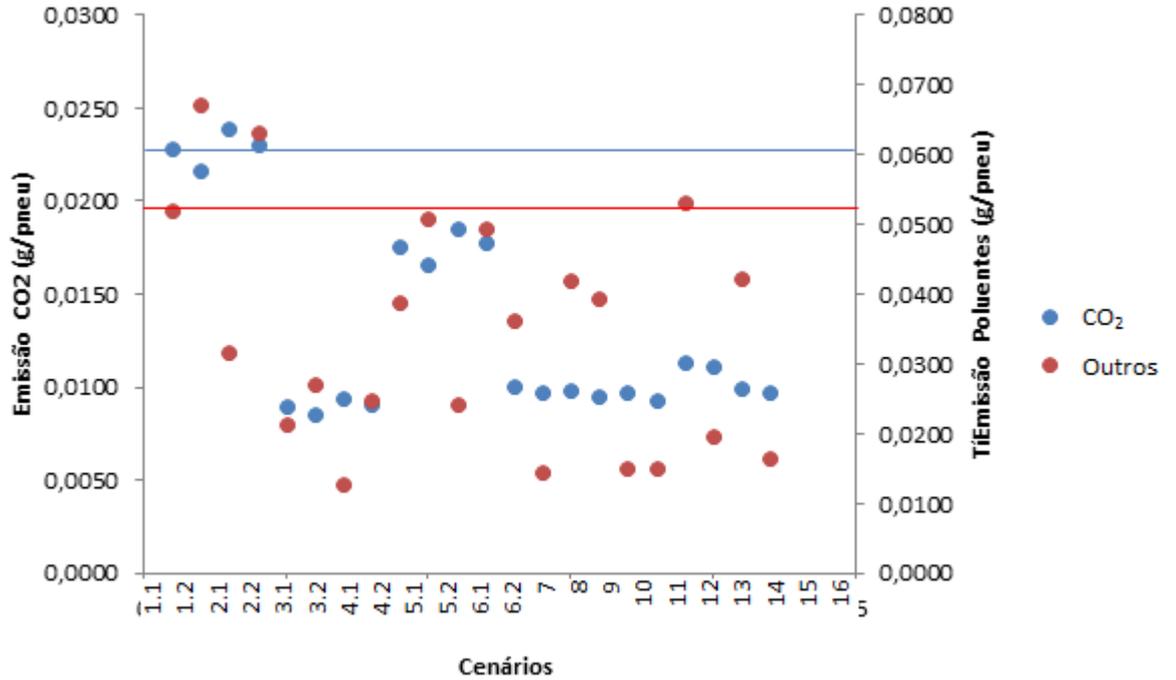


Figura 4.1- Emissão de poluentes nos diferentes cenários

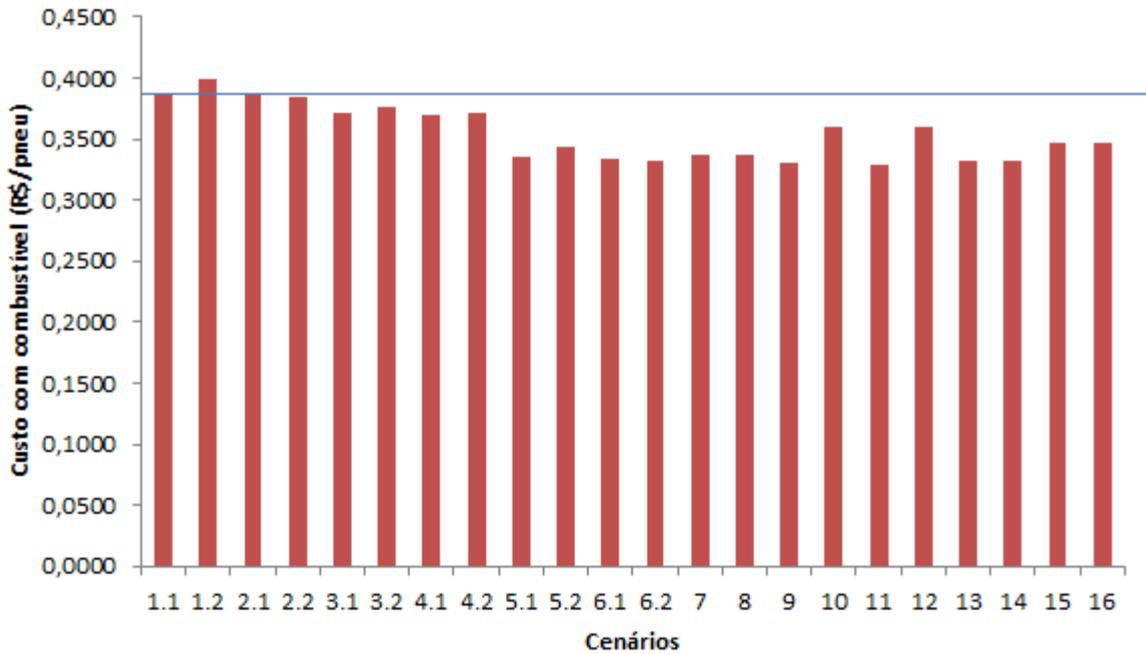


Figura 4.2- Custo da LR nos diferentes cenários

Os cenários 4.1, 8, 11 e 12 são os que oferecem melhor desempenho com relação a quantidade de emissão de poluentes, uma redução que chega a 75,49%. Conforme alertado anteriormente, é importante fazer a análise da emissão de CO₂ separadamente, pelas características especiais desse gás poluente. Nesse sentido, o cenário com melhor resultado é o 3.2, com uma redução da emissão de CO₂ de 62,39%. Os cenários 3.1 e 4.2 apresentam

também bons resultados quanto à redução de emissão de CO₂, respectivamente 60,40% e 60,07%. Os custos totais da LR de pneus inservíveis pelo consórcio de cidades têm como melhores cenários 6.2,9 e 11, podendo atingir uma redução de 15,12%.

O que merece destaque na comparação entre os cenários é o ganho que se pode obter com pequenas melhorias. O cenário 3.1 não implica em mudança dos veículos utilizados atualmente, nem no uso de transporte solidário. A única alteração realizada no cenário foi aumentar o número de pneus armazenados por cada um dos pontos geradores antes do transporte para o PC, de forma a utilizar melhor a capacidade dos veículos. Apesar da ação ser pequena o impacto é grande com redução na emissão média de poluentes em 58,96% quando comparado a simulação 1, representativa da situação real. O cenário 3.1 também apresenta uma redução com emissão de CO₂ de 60,40% e redução do custo da LR de 4,23% por pneu transportado. O cenário 7, que também não implica troca dos veículos antigos por novos e sim apenas a utilização dos veículos com maior capacidade para transporte, apresenta redução de custos na LR de 13,07%, redução de 30,40% na emissão de poluentes e redução de 56,13% na emissão de CO₂.

Um outro aspecto que merece destaque é que veículos leves movidos à gasolina apresentam melhor desempenho quanto à emissão de poluentes do que quando é utilizado etanol. Se a emissão avaliada fosse apenas de CO₂ a utilização de etanol seria mais viável, mas a análise de outros poluentes muda a situação. Os gráficos da figura 4.1 e 4.2 auxiliam que os gestores possam fazer uma análise conjunta da emissão dos diferentes tipos de poluentes antes de tomarem a decisão com maior impacto para o consórcio.

Apesar dos custos da LR dos pneus inservíveis terem sido levantados com rigor científico, considerando todos os custos necessários para tornar o processo viável, as prefeituras do consórcio estudado alocam muitos recursos que já possuem. Um exemplo são as áreas utilizadas para armazenamento, que são galpões próprios do poder público que são utilizados para o armazenamento dos pneus e, portanto não é necessário o pagamento de aluguel. Isto também acontece com a mão de obra que já é contratada e deve ser alocada sem nenhum custo adicional na prática: os funcionários responsáveis pelo recebimento e controle dos pneus (custo administrativo), os funcionários responsáveis pelo carregamento dos pneus nos veículos da Reciclanip (custo de manuseio) e os motoristas (componente do custo de transporte). Desta forma, o custo extra da LR dos pneus inservíveis para o consórcio é mostrado na Tabela 4.11.

Levando em consideração apenas os custos com combustíveis, com óleo lubrificante, com manutenção e pneus, utilizados exclusivamente para a LR dos pneus inservíveis, a partir

daqui chamados de custos extras da LR , a percepção de ganho econômico analisada pelos gestores públicos é maior, podendo chegar a mais de 60%. Apesar dos valores apresentados na Tabela 4.11 não apresentarem o custo total real da LR, podem ser utilizados para tomada de decisão, uma vez que os demais custos dependem de uma gestão que permita a alocação de tais recursos nos momentos necessários para que o processo ocorra sem interferências.

Tabela 4.11 – Variação percentual dos custos extras da LR dos pneus inservíveis para o consórcio de cidades

Cenários	%Custos Extras LR
1.2	-10,87
2.1	9,07
2.2	-6,32
3.1	60,34
3.2	56,21
4.1	64,20
4.2	58,32
5.1	22,89
5.2	14,07
6.1	29,35
6.2	16,95
7	44,04
8	53,89
9	34,03
10	54,08
11	35,40
12	54,33
13	26,69
14	41,75
15	38,84
16	50,52

A Tabela 4.12 mostra a variação percentual de cada cenário comparado a situação real, similar à mostrada na Tabela 4.10, mas considerando apenas os custos extras para a LR e a emissão de poluentes.

Enquanto a Tabela 4.10 mostra que a maior melhoria referente aos custos da LR é no cenário 11 com ganho de 15,12%, a Tabela 4.12 mostra que quando são considerados apenas os custos extras, a melhor situação é o cenário 4.1 com 64,20% de ganho.

Tabela 4.12– Ganho Total na LR do CISBRA considerando os custos extras para a LR

Cenários	% Emissão Poluentes	%Emissão CO ₂	%Custos Extras LR
1.2	-29,06	5,19	-10,87
2.1	38,83	-4,80	9,07
2.2	-21,14	-0,97	-6,32
3.1	58,96	60,40	60,34
3.2	47,84	62,39	56,21
4.1	75,49	58,60	64,20
4.2	52,54	60,07	58,32
5.1	25,58	22,93	22,89
5.2	2,22	27,10	14,07
6.1	53,25	18,98	29,35
6.2	5,05	22,05	16,95
7	30,40	56,13	44,04
8	71,81	57,27	53,89
9	19,34	56,64	34,03
10	24,09	58,18	54,08
11	70,92	57,53	35,40
12	70,80	59,09	54,33
13	-1,85	50,15	26,69
14	62,26	51,03	41,75
15	18,66	56,27	38,84
16	67,96	57,46	50,52

4.3. Discussões

Apesar da LR de pneus inservíveis já ser uma realidade brasileira há anos, na etapa de diagnóstico houve dificuldade em encontrar cidades de menor porte com a LR de pneus implementada e em funcionamento, conforme mostrado em Fagundes, Lima e Oliveira (2014). Através da fase de diagnóstico foi encontrado o CISBRA e em visita foi evidenciado o processo em funcionamento e com controle dos dados de entrada, o que possibilitou a análise realizada.

A SED já foi aplicada em estudos de LR conforme apresentado em Ebner *et al.* (2016), Elia e Gnoni (2015), Zolfagharinia *et al.* (2014), Umeda (2014), Berruto *et al.* (2013), Mutingi, Parasunan e Baiphisi (2013), Alteia e Akkan (2012), Yu e Wu (2010), Ilgin e Gupta (2009), Acaccia, *et al.* (2007), Acaccia, Michelini e Qualich (2007), Acaccia *et al.* (2006) e Liu e Wang (2005). Apesar destas aplicações, Oliveira, Lima e Montevechi (2016), em uma

revisão da literatura sobre aplicação da SED em cadeias de suprimentos, apontam a necessidade de mais aplicações da ferramenta na LR.

A SED se mostrou uma ferramenta eficiente na análise da LR de pneus inservíveis por um consórcio de cidades, primeiramente porque as características deste tipo de simulação permitem representar o sistema analisado. Além disto, a SED permitiu analisar situações diferentes da que ocorre atualmente sem intervenção na realidade, o que é uma situação complicada por necessitar do empenho de vários agentes (prefeituras, borracharias e transportadoras) ao mesmo tempo.

As análises realizadas por meio da SED focaram em dois aspectos da sustentabilidade: ambiental e custo. Os cenários mostram que é mais vantajoso fazer o transporte utilizando veículos movidos a Gasolina do que a Etanol, ou seja, há menor emissão de poluentes e menor gastos com combustível.

Desta forma, o presente trabalho colabora com a lacuna na literatura sobre a aplicação da SED para analisar problemas da LR de pneus inservíveis e principalmente para mostrar na prática o que alterações, mesmo simples, no transporte dos pneus inservíveis para destinação ambientalmente correta, podem trazer de benefícios.

A contribuição científica do presente trabalho é o modelo descrito abaixo por meio dos dezoito passos que permitem a replicação do modelo realizado nesta tese:

- 1) Locais (Pesquisa de campo): Determinar as cidades que trabalham no consórcio e dentro de cada cidade os agentes (transportadoras, borracharias e prefeituras).
- 2) Locais (Modelo Computacional): Construir as origens, cidades constituintes do consórcio, agentes de cada cidade (transportadoras, borracharias e prefeituras) e do PC central.
- 3) Entidades (Modelo Computacional): Construir as entidades que percorrerão o sistema (pneus de carro, caminhão e moto). Verificar a necessidade de criar uma entidade representativa de produto equivalente (no caso do presente modelo, pneus).
- 4) Rotas (Pesquisa de campo): Determinar o percurso de cada agente e cidade para entrega dos pneus inservíveis nos PC's e no PC central e respectivas distâncias. Verificar percursos alternativos e suas distâncias em caso de trabalho conjunto entre os agentes e cidades do consórcio.
- 5) Rotas (Modelo computacional): Construir as rotas necessárias para o modelo. Considerar na construção os cenários que incluem rotas individuais de cada agente, de cada cidade e rotas comuns.

- 6) Chegadas (Pesquisa de campo): Coleta de dados em cada local da quantidade de pneus que chegam.
- 7) Chegadas (modelo conceitual): Análise estatística dos dados coletados: distribuição de probabilidade representativa da entrada de cada tipo de pneu nos diferentes locais e o percentual de cada tipo de pneu.
- 8) Chegadas (Modelo Computacional): Colocar no modelo computacional as informações obtidas no passo 8.
- 9) Recurso (Pesquisa de campo): Levantar os veículos utilizados em cada local para transporte dos pneus inservíveis.
- 10) Recurso (Modelo Computacional): Inserir os veículos no modelo computacional.
- 11) Processo (Pesquisa de campo): Observar o processo na prática.
- 12) Processo (Modelo Conceitual): Mapear o processo.
- 13) Processo (Modelo Computacional): Implementar os processos observados na prática no modelo computacional. Relacionar os processos internos e externos aos locais, relacionando estes entre si e aos recursos, entidades e rotas estabelecidas. Usar funções do *software* para acúmulo antes do transporte, atribuir recursos para cada local.
- 14) Lógica de finalização (Pesquisa de campo): Levantar emissões de poluentes e custos da LR na prática de acordo com recursos utilizados.
- 15) Lógica de finalização (Modelo Computacional): Inserir equações na Lógica de Finalização do *software* de forma a calcular as emissões de poluentes e os custos da LR.
- 16) Execução (Modelo Computacional): Executar a simulação de acordo com o tempo de coleta de dados.
- 17) Validação do modelo.
- 18) Análise de cenários: Realizar mudanças no processo para analisar o impacto que tais mudanças provocam no sistema.

A Figura 4.1 ilustra os passos para replicação do modelo.

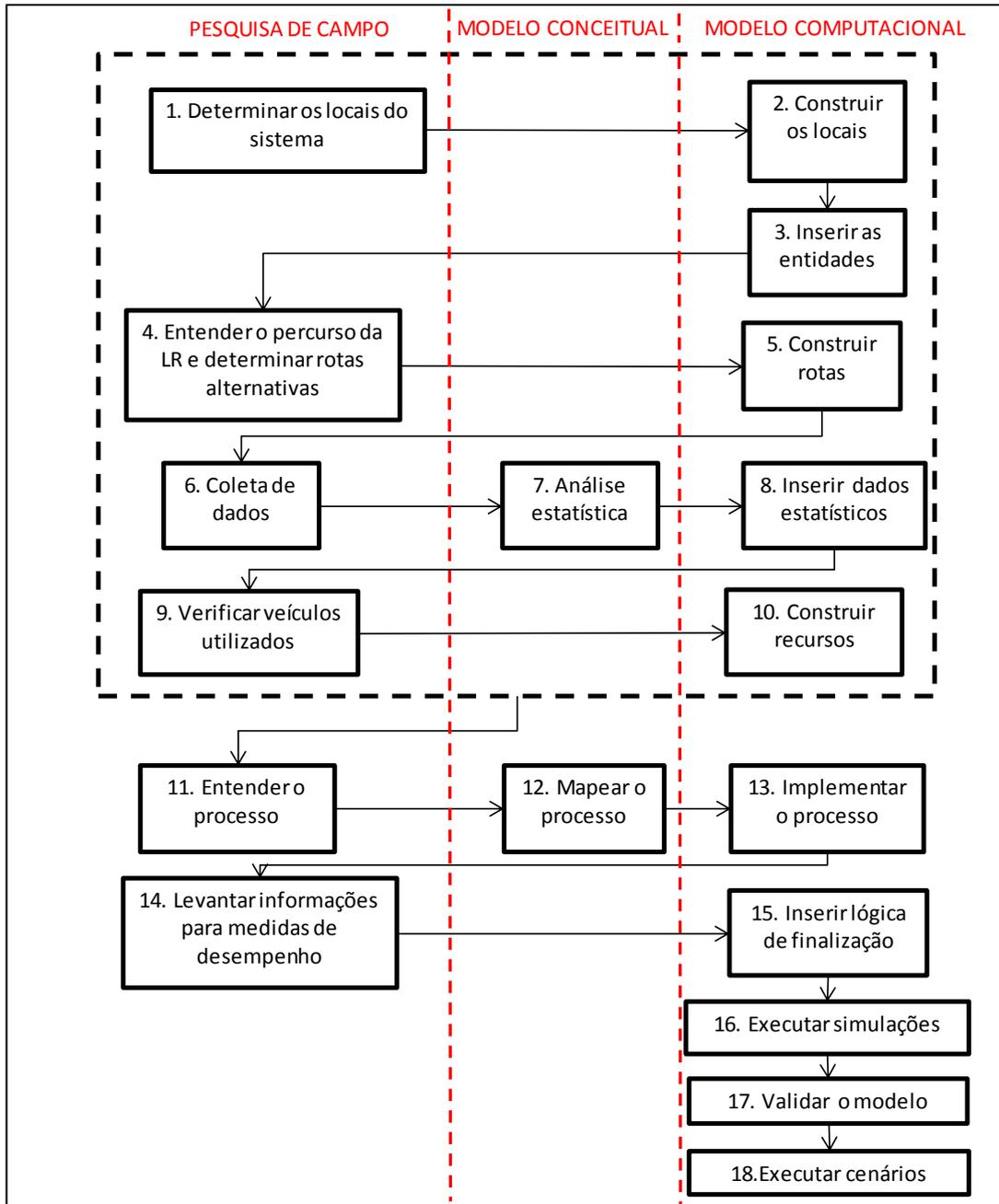


Figura 4.3- Modelo para LR de Pneus Inservíveis

Outra contribuição científica desta tese é a importância da SED como apoio ao processo de decisão na LR dos pneus inservíveis em consórcios de cidades. A utilização da SED pode proporcionar visualizar ganhos significativos com mudanças no processo. O recomendado para o consórcio analisado é implementar a curto prazo o cenário 3.1, caso a prioridade seja diminuir a emissão de gases poluentes (redução de 58,96%) e reduzir os custos do processo de LR dos pneus inservíveis (60,34%). Este cenário exige um trabalho de conscientização da prefeitura junto a todos os agentes da quantidade de ganho proporcionada

quando são utilizados os veículos com a capacidade máxima para o transporte dos pneus até o PC central. Caso o consórcio tenha prioridade em aumentar o desempenho com relação a emissão de CO₂, o recomendado é implementar o cenário 3.2 (redução de 62,39%).

Dos cenários com melhor desempenho, apenas o cenário 3.1 consegue ser implementado a curto prazo. Para a implementação dos outros cenários citados é necessário um planejamento de longo prazo, pois além de envolver um planejamento de coleta utilizando transporte solidário em cada cidade, existe a necessidade de alocação de um veículo mais novo para o transporte dos pneus até o PC. Essas discussões foram realizadas considerando que as cidades optarão em fazer a análise considerando as medidas de desempenho “Custos Extras da LR” e “Emissão de Poluentes”. Caso optem por analisar utilizando “Custos Totais da LR” e “Emissão de Poluentes”, a análise deve ser feita observando a Tabela 4.10.

5. CONCLUSÕES

A preocupação com os pneus em fim de vida é demonstrada pela legislação brasileira há quase 30 anos. Mais recentemente a PNRS reforçou a necessidade de descarte correto dos pneus, ao citá-los como um dos seis tipos de produtos que necessitam de atenção especial quando não podem ser mais utilizados. Para viabilizar o que a lei exige, a LR é uma ferramenta imprescindível.

A legislação forneceu a base necessária para o processo que acontece atualmente na prática possibilitando a destinação ambientalmente correta de 93% dos pneus. Na fase de diagnóstico do presente trabalho foi possível verificar, em locais que realizam a LR dos pneus inservíveis, a presença de três etapas no processo: o início do descarte acontece quando os usuários trocam os pneus de seus veículos e os deixam no estabelecimento comercial (quando são grandes usuários, como prefeitura ou transportadora, armazenam os pneus em um local específico); a segunda etapa consiste no acúmulo até uma determinada quantidade e entrega em um PC cadastrado na Reciclanip geralmente por uma prefeitura; a terceira etapa consiste na coleta dos pneus pela Reciclanip e destinação ambientalmente correta. Pode-se perceber a necessidade de quatro agentes nesse processo: usuários, comerciantes, poder público e fabricantes. Este envolvimento de diferentes agentes em um mesmo processo é denominado “responsabilidade compartilhada” pela PNRS. A última etapa do processo, promovida pelos fabricantes, possui um processo consolidado e bem sucedido. No entanto, existem problemas na etapa de abertura e gestão dos PCs em cidades menores com pouca adesão ao cadastramento de PC ou falta de planejamento quando existem. Isto significa que existe uma necessidade maior de contribuição de usuários, comerciantes e poder público para que realmente a responsabilidade seja realmente compartilhada.

Por meio da presente pesquisa foi possível identificar um consórcio de cidades onde o processo da LR de pneus inservíveis acontece de acordo com o solicitado pela lei. O processo foi estudado e mapeado por meio da técnica IDEF-SIM. Os dados de entrega de pneus por 45 semanas foram disponibilizados, o que permitiu a modelagem e aplicação da SED para o caso.

Com o modelo simulado foi possível identificar como alterações no sistema podem impactar no desempenho no uso de transportes para a LR dos pneus inservíveis. A SED permitiu verificar em que situações torna-se viável a integração das cidades para o transporte e situações em que é mais interessante cada cidade trabalhar individualmente.

Conforme demonstrado pelas simulações, é possível definir melhores arranjos do que o utilizado atualmente de forma a aumentar o desempenho na utilização de transportes, reduzindo as despesas da LR e reduzindo a emissão de poluentes. Como toda ferramenta de apoio a decisão, ponderações devem ser realizadas pelos gestores antes de sua utilização. Do ponto de vista científico, o levantamento dos custos totais da LR incluem custos que na prática devem ser analisados sob uma perspectiva diferente. O trabalho deixa claro este aspecto ao expor os resultados dos custos totais da LR e dos denominados custos extras da LR.

Outra questão a ser analisada pelos gestores é o planejamento para mudanças de cenários. O melhor cenário nem sempre poderá ser implementado a curto prazo, pois pode demandar um planejamento maior que conseqüentemente demore mais tempo para ser implementado. Foi considerado que o planejamento a curto prazo são aquelas situações que necessita de planejamento integrado entre os agentes de cada cidade e de maior utilização dos veículos já disponíveis para uso. Os planejamento a médio prazo são os cenários que exigem integração entre as cidades, mas utilizando veículos já existentes. Já o planejamento a longo prazo são os cenários analisados com a utilização de veículos novos, que o consórcio ainda precisaria adquirir.

No caso do presente trabalho os cenários (1.2, 3.1, 3.2, 5.1, 5.2 e 7) são os que podem ser implementados a curto prazo, pois envolvem a mudança apenas da quantidade de pneus transportados por viagem, a mudança do tipo de combustível utilizado ou a ação conjunta entre os agentes da mesma cidade. Nesta situação o cenário 3.1 é o que representa o melhor desempenho quando é levado em consideração a emissão de poluentes e os custos com a LR, 58,96% e 60,34% respectivamente. Os cenários 9, 11, 13 e 15 necessitam de um planejamento de médio prazo, pois envolvem a ação conjunta entre os municípios constituintes do consórcio na coleta e transporte dos pneus. O cenário 11 é a melhor opção para melhoria na redução de poluentes a médio prazo (70,92%) e de CO₂ (57,53%). Já os cenários de 2.1, 2.2, 4.1, 4.2, 6.1, 6.2, 8, 10, 12, 14 e 16 necessitam de articulação política e econômica entre municípios diferentes para serem implementados, o que representaria um planejamento de longo prazo. Nessas situações seria necessária a alocação de veículos mais novos disponíveis no consórcio ou até mesmo a análise de viabilidade financeira para comprovar os benefícios de utilizar veículos mais novos no processo da LR dos pneus inservíveis. A longo prazo o cenário 4.1 é a melhor opção, com ganho de 75,49% na emissão de poluentes e 58,32% nos custos da LR.

Independente do cenário escolhido para ser implementado, o trabalho mostra a importância de analisar com maior rigor a LR dos pneus inservíveis no consórcio de cidades.

Por meio da utilização da SED, para o estudo e posterior escolha do melhor arranjo de funcionamento do processo, toda a sociedade acaba ganhando, pois melhorias no processo podem ser visualizadas e implementadas.

Um ponto positivo do presente trabalho é que ele se apoia no tripé da LR: econômico, ambiental e social. Os dois primeiros aspectos citados são visualizados diretamente, uma vez que a análise dos custos totais da LR ou dos custos extras da LR dos pneus inservíveis impacta em ganhos financeiros e menor emissão de poluentes para o meio ambiente. O aspecto social também é levado em consideração, mesmo que de forma indireta, pois o dinheiro que financia o processo analisado no presente trabalho é oriundo de impostos e quanto menor a emissão de poluentes, mais qualidade de vida a população da região poderá ter.

Em resumo, com este do trabalho é possível afirmar que a SED pode ser usada como ferramenta de apoio à decisão para gestores públicos fazerem um melhor planejamento da LR de pneus inservíveis.

5.1. Propostas para trabalhos futuros

Uma vez que o modelo construído e as simulações realizadas mostraram ser eficientes na análise da LR dos pneus inservíveis em um consórcio de cidades, são propostas para trabalhos futuros:

- Analisar a LR dos pneus inservíveis com auxílio da SED integrando a associação dos fabricantes e os importadores de pneus: o que foi percebido na fase de diagnóstico é que apesar de serem obrigados a darem a destinação ambientalmente correta dos pneus em fim de vida, fabricantes e importadores de pneus nunca tiveram parceria. A SED pode analisar se o trabalho integrado entre a associação de fabricantes e de importadores pode trazer ganhos para as partes;
- Analisar via SED a LR realizada por consórcio de cidades de outros tipos de resíduos sólidos como latas de alumínio, garrafas plásticas, eletroeletrônicos e até mesmo de vários tipos de resíduos ao mesmo tempo;
- Utilizar a otimização em modelos similares para mostrar os melhores tipos de veículos, combustíveis, quantidade de transporte e arranjo entre cidades;
- Analisar a viabilidade econômica dos cenários que necessitam de veículos novos para serem implementados, considerando que estes tipos de veículos ainda não

existem no consórcio, ou se existem, não podem ser alocados por estarem focados em outras atividades;

- Analisar a situação de aumento da demanda na LR dos pneus inservíveis por consórcio de cidades, utilizando a SED;
- Utilizar Análise de Decisão Multicritério para identificar o peso das medidas de desempenho para o consórcio de cidades, com a finalidade de definir o ganho total sob a perspectiva dos gestores;
- Utilizar a Análise Envoltória de Dados para avaliar o desempenho da LR dos pneus inservíveis considerando a eficiência de cada uma das medidas de desempenho.

REFERÊNCIAS

- ABR- Associação Brasileira do Seguimento de Reforma de Pneus. **Cenário da Reforma de Pneus no Brasil**. Disponível em: <http://www.abr.org.br/dados.html>. Acesso: 12 de out. 2016.
- ABRUCIO, F. L.; FILIPPIM, E. S.; DIEGUEZ, R. C. Inovação na cooperação intermunicipal no Brasil: a experiência da Federação Catarinense de Municípios (Fecam) na construção de consórcios públicos. **Rev. Adm. Pública**, v.47, n.6, p.1543-1568, 2013.
- ACACCIA, G.M., MICHELINI, R.C., PENZO, L.P., QUALICH, N. Reverse logistics and resource recovery: Modelling car dismantling facilities. **World Review of Entrepreneurship, Management and Sustainable Development**, v. 3, p. 284-301, 2007.
- ACACCIA, G.M., MICHELINI, R.C., QUALICH, N. **End-of-life vehicle models with recycling in mind**. 13th European Concurrent Engineering Conference, ECEC 2006 - 3rd Future Business Technology Conference, FUBUTEC 2006, p. 76-80, 2006.
- ACACCIA, G.M., MICHELINI, R.C., QUALICH, N. Sustainable engineering management: End-of-life vehicles with recovery in mind. **World Review of Science, Technology and Sustainable Development**, v. 4, p. 105-125, 2007.
- AIELLO, M.A., LEUZZI, F., CENTONZE, G., MAFFEZZOLI, A. Use of steel fibres recovered from waste tyres as reinforcement in concrete: pull-out behaviour, compressive and flexural strength. **Waste Management**, v. 29, p. 1960–1970, 2009.
- ALTEKIN, F.T., AKKAN, C. Task-failure-driven rebalancing of disassembly lines. **International Journal of Production Research**, v. 50, p.4955-4976, 2012.
- AMORIM, E. S. **Logística Reversa de Pneus Inservíveis: Uma Pesquisa-Ação no Município de Três Corações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá- UNIFEI, Itajubá, MG, 2015.
- ANDRADE, C. I. A. R.; JESUS, R. M. de; CRUZ, J. O. Análise da Viabilidade de Implantação de uma Usina de Reciclagem de Pneus em Teixeira de Freitas- BA. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 107-127, 2015.
- ANIP- Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos. **Anip em Números e Anip Publicações**. Disponível em: <http://www.anip.com.br/?cont=conteudo>. Acesso em: 30 de março de 2017.
- ANP- Agência Nacional de Petróleo. **Série Histórica de Preço de Combustíveis**. Disponível em: < <http://anp.gov.br/wwwanp/precos-e-defesa/234-precos/levantamento-de-precos/868-serie-historica-do-levantamento-de-precos-e-de-margens-de-comercializacao-de-combustiveis>. Acesso em: 17 de abril de 2017.
- APPOLINÁRIO, F. **Dicionário de metodologia científica: um guia para a produção do conhecimento científico**. São Paulo: Atlas, 2004.
- ASCOM/MMA – Assessoria de Comunicação do Ministério do Meio Ambiente. **UE não poderá mais depositar pneus em aterros e quer exportá-los para o Brasil**. Disponível em:www.ambientebrasil.com.br/noticias/index.php3?action=lereid=25424>. Acesso em: 17 de dez. de 2016.
- AYLON, E., FERNANDEZ-COLINO, A., MURILLO, R., NAVARRO, M.V., GARCIA, T., MASTRAL, A.M. Valorisation of waste tyre by pyrolysis in a moving bed reactor. **Waste Management**, v.30, 1220–1224, 2010.

- BALLOU, R.H. **Business Logistics Management**, 3 ed. Prentice-Hall, Inc., 1992.
- BANKS, J.; NICOL, D.M.; NELSON, B.L.; CARSON II, J.S.;. **Discret event system simulation**. 5th ed., New Jersey: Prentice Hall, 2009.
- BARNES JUNIOR, J. H. Recycling: A Problem in Reverse Logistics. **Journal of Macromarketing**, v. 2, n. 2, 1982.
- BARROS, A. J. S; LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de Metodologia: Um Guia para a Iniciação Científica**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 2000.
- BERRUTO, R., BUSATO, P., BOCHTIS, D.D., SØRENSEN, C.G. Comparison of distribution systems for biogas plant residual. **Biomass and Bioenergy**, v. 52, p. 139-150, 2013.
- BARTHOLOMEU, D. B. **Logística Ambiental de Resíduos Sólidos**. Ed. Atlas S.A. São Paulo, 2011.
- BOWERSOX, D.J., CLOSS, D.J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento**. São Paulo, Atlas, 2007.
- BRASIL (1991). Departamento de Comércio Exterior. **Portaria n. 8, 13 de maio de 1991**. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1197490614.pdf>. Acesso em: 22 de dez. de 2015.
- BRASIL (1992). Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA. **Portaria Normativa n.9 138-N, de 22 de Dezembro de 1992**. Disponível em: <http://www.radaroficial.com.br/d/1099417>. Acesso em: 24 de dez. de 2015.
- BRASIL (1993). Ministério da Indústria e Comércio- MIC. **Projeto de Lei 410/1993**. Dispõe sobre a importação de bens usados e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=218850>>. Acesso em: 24 de dez. de 2015.
- BRASIL. (1994). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n°7, 04 de maio de 1994. **Diário Oficial da União**, Brasília, 07 jun. 1994.
- BRASIL. (1994). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 37, 30 de dezembro de 1994. **Diário Oficial da União**, Brasília, 06 jan. 1995.
- BRASIL. (1996). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 23, 12 de dezembro de 1996. **Diário Oficial da União**, Brasília, 20 jan. 1997.
- BRASIL. (1999). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 258, 26 de agosto de 1999. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2 dez. 1999.
- BRASIL. (2002). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 301, 21 de março de 2002. **Diário Oficial da União**, Brasília, 28 ago. 2003.
- BRASIL. (2009). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 416, 30 de setembro de 2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, 01 out. 2009.
- BRASIL. (2010). Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2010.
- BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Pneumáticos**. Dados apresentados no Relatório de Pneumático- Resolução CONAMA n0 416/2009 do Cadastro Técnico Federal (Ano 2015). Brasília, 2016.

- BAUER, J. M.; CÁSSERES, M.; SAUERESSIG, G.; LUCHESE, JULIANE; SELBITTO MIGUEL AFONSO. Destinação de Pneus Usados Servíveis e Inservíveis: Dois Estudos de Caso. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p.1292-1302, Santa Maria, RS, 2015.
- BERNARDO, M., LAPA, N., GONCALVES, M., BARBOSA, R., MENDES, B., PINTO, F., GULYURTLU, I. Toxicity of char residues produced in the co-pyrolysis of different wastes. **Waste Management**, v. 30, n. 4, p. 628–635, 2010.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Modelling and simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.
- BLUMENTHAL, M. H. Tires. In: LUND, H.F. (Org). **The McGraw-Hill Recycling Handbook**. New York: McGraw-Hill, 1993. Cap. 18, p.64.
- BRITO, T. B. **Aplicabilidade da Simulação Híbrida em Sistemas logísticos**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.
- BRITO, E. Z. LEITE, P. R.; SILVA, A. Hábitos empresariais brasileiros em logística reversa. In: Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais - SIMPOI, 11. **Anais...** São Paulo, 2008. CD ROM
- CAPONERO, J. **Reciclagem de Pneus**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo**. 2014.
- CHAN, O.; CHEUNG, W.; MCKAY, G. Preparation and characterisation of demineralised tyre derived activated carbon, **Carbon**, v.49, n.14, p.4674-4687, 2011.
- CHANG, N. Economic and Policy Instrument Analyses in Support of the Scrap Tire recycling Program in Taiwan. **Journal of Environmental Management**, v. 86, n.3, p. 435- 450, 2008.
- CHATFIELD, D.C.; HARRISON, T.P.; HAYYA, J.C. SISCO: An object-oriented supply chain simulation System. **Decision Support Systems**, v. 42, p.422–434, 2006, doi: 10.1016/j.dss.2005.02.002.
- CHAVES, G. L. D.; BATALHA, M. O. Os consumidores valorizam a coleta de embalagens recicláveis? Um estudo de caso da logística reversa em uma rede de hipermercados. **Revista Gestão & Produção**, v. 13, n. 3, p. 423-434, 2006.
- CHWIF, F.; MEDINA, A. **Modelagem e Simulação de eventos discretos: Teoria e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Elsevier Brasil, 2014.
- CHUNG, C.A. **Simulation Modeling Handbook: a practical approach**. Washington D.C: CRC press, 608p. 2004.
- CNT – Confederação Nacional do Transporte. **Boletim Estatístico**, 2015. Disponível em:<http://www.cnt.org.br/Paginas/Boletins_Detalhes.aspx?b=3>. Acesso em: 29 dez. 2015.
- COSTA, L.M.G. **Desenvolvimento de um modelo econômico – baseado no sistema depósito reembolsável – visando o equilíbrio entre a geração e a reciclagem do resíduo sólido pneu**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

- DAS, D.; DUTTA, P. A system dynamics framework for integrated reverse supply chain with three way recovery and product exchange policy. **Computers & Industrial Engineering**, v. 66, ed. 4, p. 720-733, 2013.
- DEMIREL, E., DEMIREL, N., GÖKÇEN, H. A mixed integer linear programming model to optimize reverse logistics activities of end-of-life vehicles in Turkey. **Journal of Cleaner Production**, v.112, p. 2101, 2112, 2014.
- DEMIREL, N.Ö., GÖKÇEN, H., 2008. A mixed integer programming model for remanufacturing in reverse logistics environment. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 39, p. 1197-1206, 2008.
- DEUS, R. ; BATTISTELLE, R.; SILVA, G. Scenario evaluation for the management of household solid waste in small Brazilian municipalities. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 19, p. 205-214, 2017.
- DHOUIB, D. An extension of MACBETH method for a fuzzy environment to analyze alternatives in reverse logistics for automobile tire wastes. **Omega**, v. 42, p.25-32, 2013.
- DIAS, T. F.; ANGNES, D. L.; WEGNER, D. O Caso da Terraplanagem Barbosa. *E&G Economia e Gestão*, Belo Horizonte, v. 16, n. 43, Abr./Jun. 2016. ISSN: 1984-6606.
- DIAS, S. L. F. G.; LABEGALINI, L.; CSILLAG, J. M. Sustentabilidade e cadeia de suprimentos: uma perspectiva comparada de publicações nacionais e internacionais. **Revista Produção**, v. 22, n. 3, p. 517-533, 2012.
- DONATELLI, A., IOVANE, P., MOLINO, A. High energy syngas production by waste tyres steam gasification in a rotary kiln pilot plant. Experimental and numerical investigations. **Fuel**, v. 89, p. 2721–2728, 2010.
- EBNER,J.; WANG, J.; OLAITAN, O.; GERAGHTY, J. Discrete event simulation approach to closed loop supply chain optimization: conceptual design, control strategies and performance metrics. **European Simulation and Modelling Conference**, p. 434-439, 2016.
- ELIA, V.; GNONI, M.G. Designing an effective closed loop system for pallet management. **International Journal of Production Economics**, v. 170, p. 730-740, 2015.
- FAGUNDES, L. D.; AMORIM, E. S.; LIMA, R.S. Action Research in Reverse Logistics for End-Of-Life Tire Recycling. **Systemic Practice and Action Research**, JCR v. 30, p. online first-, n. 2017.
- FAGUNDES, L.D.; LIMA, R. S.; OLIVEIRA, R.L. A Logística Reversa de Pneus Inservíveis: Estudo de Caso em uma Microrregião de Minas Gerais. In: **ISWA 2014 Solid Waste World Congress**,2014, São Paulo. Proceedings. 2014.
- FANG, Y.; ZHAN, M.; WANG, Y. The status of recycling of waste rubber. **Materials and Design**, v.22, n.2, p.123-127, 2001.
- FERRÃO, P.; RIBEIRO, P.; SILVA, P. A management system for end-of-life tyres: A Portuguese case study. **Waste Management**, v. 28, n. 3, p. 604–614, 2007.
- FERRER, G. The economics of tire remanufacturing, **Resources, Conservation and Recycling**, v. 19, n.4, p.221-255, 1997.
- FRANZESE, C. Federalismo cooperativo no Brasil: da Constituição de 1988 aos sistemas de políticas públicas. Tese (Doutorado em Administração Pública). Escola de Administração de Empresas de São Paulo, FGV, São Paulo, 2010.

FREITAS, S. S.; NÓBREGA, C. C. Os benefícios do coprocessamento de pneus inservíveis para a indústria cimenteira. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.19, n.3, p. 293-300, 2014.

GAGLIARDI, J.P.; RENAUD, J.; RUIZ, A. A simulation modeling framework for multiple-aisle automated storage and retrieval systems. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v.25, n.1, p. 193-207, 2014.

GINTER, P. M.; STARLING, J. M. Reverse distribution channels for recycling. **California Management Review**, v. 20, n. 3, p. 72-81, 1978.

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

GUIA DO TRC. Tipos de Veículos e Suas Capacidades de Carga. Disponível em: http://www.guiadotrc.com.br/guiadotransportador/veiculos_carga.asp. Acesso em: 02 de maio de 2017.

HEALTH PROTECTION AGENCY (2003). **Chemical Hazard and Poisons**. Report 8-Chemical Hazard Report of UK. Disponível em: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/202884/rep_Ch_apr1Dec2003.pdf. Acesso: 17/12/2015.

HENNIES, T.; REGGELIN, T.; TOLUJEW, J.; PICCUT, P. A. Mesoscopic supply chain simulation. **Journal of Computational Science**, v. 5, p. 463–470, 2014. doi: 10.1016/j.jocs.2013.08.004 .

HERCULANO, R. D.; NORBERTO, A. M. Q. Scientific research output evaluation of professors of Sao Paulo State University. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v.17, n.2, p.57-70, 2012.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introduction to Operations Research**. 9th. Ed. New York: Mcgraw-Hill, 2010.

HOLWEG, M.; BICHENO J. Supply chain simulation: a tool for education, enhancement and endeavor. **International Journal of Production Economics**, v.78, p. 163–175, 2002. doi: 10. 1016/S0925-5273(0 0)0 0171-7.

IBGE – INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico. Simopse do Censo e Resultados Preliminares do Universo. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000402.pdf>. Acesso: Jun. 2017.

ILGIN, M.A., GUPTA, S.M. Joint optimization of transportation and spare parts inventory policies in a reverse logistics network using OptQuest. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, **Proceedings 8**, p. 877-885, 2009.

JAHANGIRIAN, M.; ELDABI, T.; NASEER, A.; STERGIOULAS, L. K.; YOUNG, T.

Simulation in manufacturing and business: A review. **European Journal of Operational Research**, v.203, n.1, p.1-13, 2010.

KAMIMURA, E. **Potencial dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

- KANNAN, D.; DIABAT, A.; SHANKAR, K.M. Analyzing the drivers of end-of-life tire management using interpretive structural modeling (ISM). **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 72, p. 1603–1614, 2014.
- KENNEDY, Donald.; LUCKS, Marjorie. Rubber, Blight, and Mosquitoes: Biogeography Meets the Global Economy. *Environmental History*, v. 4, n. 3, p. 369-383, 1999.
- KLEIJNEN, J.P.C. Theory and Methodology: Verification and validation of simulation models. **European Journal of Operational Research**, v.82, p.145-162, 1995.
- LAGARINHOS, C.A.F. **Reciclagem de pneus: análise do impacto da legislação ambiental através da logística reversa**. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais). Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, SP, 2011.
- LAGARINHOS, C.A.F.; TENÓRIO, J.A.S. Tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil. **Polímeros**, v.18, n. 2 São Carlos, 2008.
- LAGARINHOS, C.A.F.; TENÓRIO, J.A.S; ESPINOSA, D.C.R. A. Evolução da Logística Reversa dos Pneus Inservíveis no Brasil após Aprovação da Resolução Conama No 416/09. 12º Congresso Brasileiro de Polímeros, **Anais...** Florianópolis, SC, 2013.
- LAMBERT, D.; STOCK, J. **Strategic physical distribution management**. Homewood: Irwin, 1981.
- LAW, A. M. How to build valid and credible simulation models. In: Winter Simulation Conference. **Proceedings...** Austin, TX, USA, 2009.
- LEAL, F. **Análise do efeito interativo de falhas em processos de manufatura através de experimentos simulados**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2008.
- LEAL, F.; ALMEIDA, D.A.; MONTEVECHI, J.A.B. Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de elementos do IDEF. In: **Anais...**, João Pessoa, PB, 2008.
- Leal, F.; COSTA, R. F. S.; MONTEVECHI, J.A.; ALMEIDA, D.A.; MARINS, F. A. A Practical Guide for Operational Validation of Discrete Simulation Models. **Pesquisa Operacional**, v. 31, n. 1, p. 57-77, 2011.
- LEBRETON, B.; TUMA, A. A quantitative approach to assessing the profitability of car and truck tire remanufacturing. **International Journal of Production Economics**, v. 104, p.239-652, 2006.
- LEITE, P.R. **Logística Reversa: meio ambiente e competitividade**. 2. ed, São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- LIBORIO. Disponível em: <<http://retificadecabecotesliborio.com.br/blog/consumo-de-oleo-lubrificante-motor-diesel>>, acesso em 05/10/2017.
- LÍCIO, E. C. **Sucessos e limites da recentralização: o Bolsa Família no modelo federativo brasileiro**. Tese (Doutorado em Ciências Humanas). Universidade de Brasília, Brasília, 2010.
- LIU, Z., WANG, S. Operation resource allocation optimization of discrete event system based on simulation. **Journal of Wuhan University of Technology** (Transportation Science and Engineering), v. 29, p. 327-330, 2005.
- MACIEL, A. C. **Avaliação da Simulação a Eventos Discretos, Projeto de Experimentos e Função Desejabilidade para Verificar a Viabilidade de Metas Estabelecidas para uma**

- Célula de Manufatura.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013.
- MARTINS, R. A. Princípios da pesquisa científica. In: MIGUEL, P. A. C. (Org.). **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações.** Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2010.
- MORABITO, R.; PUREZA, V. Modelagem e Simulação. In: MIGUEL, P. A. C. (Org.). **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações.** Rio de Janeiro, Campus/Elsevier, 2010.
- MIGUEL, P. A. C.; FLEURY, A.; MELLO, C. H. P.; NAKANO, D. N.; TURRIONI, J. B.; LEE HO, L.; MORABITO, R.; MARTINS, R. A.; PUREZA, V. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- MILANEZ, B. **Resíduos sólidos e sustentabilidade: princípios, indicadores e instrumentos de ação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.
- MMA- Ministério do Meio Ambiente. **Guia para elaboração dos Planos de Gestão de Resíduos Sólidos Brasília – DF. 2011.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/guia_elaborao_plano_de_gesto_de_resduos_rev_29nov11_125.pdf> Acesso: 14/04/2017.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. **1º inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários.** 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf> Acesso: fev. 2017.
- MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F.; COSTA, R. F. S.; OLIVEIRA, M. L. M.; SILVA, A. L. F. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Baltimore, MD, USA, 2010.
- MONTEVECHI, J. A. B.; OLIVEIRA, M. L. M.; LEAL, F.; PINHO, A. F. Analysis of the Applicability of Tht IDEF-SIM Modeling Technique to the Stages of a Discrete Event Simulation Project. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Savannah. WSC, 2014.
- MONTEVECHI, J. A. B.; PINHO, A. F.; LEAL, F.; MARINS, F. A. S. Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry. In: Winter Simulation Conference. **Proceedings...** Washington, DC, USA, 2007.
- MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros.** 2.ed. Editora LTC, 2003.
- MOTA, D.A.; TAVARES, P.H.G., PIRES, H.F., PEREIRA, S.A. **Transporte Rodoviário e Poluição Ambiental.** Revista Eletrônica FACP. Ano II, n.3. Jun, 2013.
- MOTTA, F.G. A cadeia de destinação dos pneus inservíveis: o papel da regulação e do desenvolvimento tecnológico. **Ambiente & Sociedade**, v.11, n.1, p.167-184, 2008.
- MUTINGI, M., PARASURAM, K.V., BAIPHISI, D. Discrete-event simulation for green supply chain management: A conceptual framework. 7th International Conference on Intelligent Systems and Control, **Anais...** p. 511-516, 2013.
- NARUO, M. K. **O Estudo do Consórcio Entre Municípios de Pequeno Porte para Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos Utilizando Sistemas de Informações**

Geográficas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

NIKOLAOU, I.; EVANGELINOS, K. I.; ALLEN, S. A reverse logistic social responsibility evaluation framework based on the triple bottom line approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 56, p. 173-184, 2013.

NOVAES, A.G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação.** 2 ed. Elsevier. Rio de Janeiro, 2004.

OLIVEIRA, J. B.; LIMA, R.S.; MONTEVECHI, J.A. Perspectives and relationships in Supply Chain Simulation: A systematic literature review. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v.62, p. 166–191, 2016.

OLIVEIRA, R. L. **Modelagem e Simulação a Eventos Discretos em Logística Reversa e Destinação Final de Materiais Recicláveis.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.

Plano Cidades Limpas. Consórcio Intermunicipal de Saneamento Básico da Região do Circuito das Águas- CISBRA. Novembro, 2013.

Reciclanip. Disponível em: < <http://www.reciclanip.org.br/v3/>>. Acesso em 09/06/2017.

ROCHA, B. O. **Utilização de Modelos de Localização para Dinamização do Fluxo Reverso de Pneus Inservíveis.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2008.

RYAN, J.; HEAVEY, C. Process modeling for simulation. **Computers in Industry**, v.57, n.5, p.437-450, 2006.

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**, v.53, p. 267-276, 2013.

SANG SON, K., HAJIRASOULIHA, I., PILAKOUTAS, K. Strength and deformability of waste tyre rubber-filled reinforced concrete columns. **Construction and Building Materials**, v. 25, p. 218–226, 2011.

SANTOS, L. A. A.; BOTINHA, R. A.; LEAL, E. A. A contribuição da logística reversa de Pneumáticos para a sustentabilidade Ambiental, **RACE**, v. 12, n. 2, p. 339-370, 2013.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. **Journal of Simulation**, v.7, n. 1, p. 12-24, 2013.

SASIKUMAR, P., KANNAN, G., HAQ, A.N., 2010. A multi-echelon reverse logistics network design for product recovery-a case of truck tire remanufacturing. The **International Journal of Advanced Manufacturing**. Technololy, v. 49, p. 1223-1234, 2010.

SCHWEIGER, K.; SAHAMIE, R. A hybrid Tabu Search approach for the design of a paper recycling network. **Transportation Research Part E**, v. 50, p. 98–119, 2013.

SELLITTO, M.; KADEL JR, N.; BORCHARDT, M.; PEREIRA, G. M.; DOMINGUES, J. Coprocessamento de cascas de arroz e pneus inservíveis e logística reversa na fabricação de cimento. **Ambiente e Sociedade**, v. 16, n. 1, p.141-162, 2013.

SINGH, S., NIMMO, W., GIBBS, B.M., WILLIAMS, P.T. Waste tyre rubber as a secondary fuel for power plants. **Fuel**, v. 88, 2473–2480, 2009.

- SOUZA, C. D. R. **Uma Contribuição ao Reaproveitamento de Pneus Inservíveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.
- SOUZA, C. D. R.; D'AGOSTO, M. A. Value chain analysis applied to the scrap tire reverse logistics chain: An applied study of co-processing in the cement industry. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 78, p. 15– 25, 2013.
- SOUZA, C.D.R.; D'AGOSTO, M. A. Análise dos Custos Logísticos Aplicada à Cadeia Logística Reversa do Pneu Inservível. **Transportes**, v. 21, n. 2, 2013. ISSN: 2237-1346
- SPREAFICO, P. I.; BARROS, C. S.; SOUSA, A. M. R.; RIBEIRO, R. M. Diagnóstico da Logística Reversa de Pneus Inservíveis na Região Norte do Ceará. In: III Congresso Nacional de Administração e Ciências Contábeis. **Anais...** Rio de Janeiro, 2012.
- STARK, F.S. **Configuração da rede de logística reversa de pneus inservíveis no Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2015.
- SUBULAN, K.; TAŞAN, A. S.; BAYKASOĞLU, A. Designing an environmentally conscious tire closed-loop supply chain network with multiple recovery options using interactive fuzzy goal programming. **Applied Mathematical Modelling**, v. 39, p. 2661-2702, 2015.
- TAKO, A. A.; ROBINSON, S. The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context. **Decision Support Systems**, v. 52, p. 802-815, 2012.
- TERZI, S.; CAVALIERI, S. Simulation in the Supply Chain Context: A Survey. **Computers in Industry**, v. 53, p. 3-16, 2004.
- TIBBEN-LEMBKE, R. S.; ROGERS, D. S. Differences between forward and reverse logistics in a retail environment. **Supply Chain Management: an International Journal**. v. 7, n.5, p. 271-282, 2002.
- TRIVELATO, G. C. **Técnicas de modelagem e simulação de sistemas dinâmicos**. São José dos Campos: INPE, 2003. (Série Texto Técnico, INPE-9665-NTC/358). Disponível em: <<http://mtc-m05.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2003/07.08.08.27/doc/INPE%20-%209665%20-%20NTC.pdf>>. Acesso: abril 2014.
- UMEDA, S. Sensitivity Analysis of Reverse Supply Chain System Performance by Using Simulation. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, v. 439, p. 326-333, 2014.
- URBAN, R. C. Índice de adequação do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos como ferramenta para o planejamento: aplicação no estado de São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.21, n.2, p. 367-377, 2016.
- URUBURU, A.; PONCE-CUETO, E.; COBO-BENITA, J. R.; ORDIERES-MERE, J. The new challenges of end-of-life tyres management systems: A Spanish case study. **Waste Management**, v. 33, p. 679-688, 2013.
- VIVALDO, E. M.; PRATA, A., R. R.; ERNESTO U. F.; SILVA JUNIOR, M. G. MILTON GONÇALVES. Logística de Resíduos Sólidos do Município de Jandaia (GO). **Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia**, v. 7, p. 358-371, 2015.
- XAVIER, L. H.; CORRÊA, H. L. **Sistemas de Logística Reversa**. São Paulo: Editora Atlas, 2013.

ZIKMUNDW, S. Recycling solidwastes: a channels-of-distribution problem. **Journal of Marketing**, v. 35, n. 3, p. 34-39, 1971.

ZOLFAGHARINIA, H.; HAFEZI, M.; FARAHANI, R. Z. ; FAHIMNIA, B.A hybrid two-stock inventory control model for a reverse supply chain. **Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review**, v. 67, p. 141-161, 2014.

YU, M.-C., WU, P.-S. A simulation study of the factors influencing the design of a waste collection channel in Taiwan. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 13, p. 257-271, 2010.

APÊNDICE A: Dados de Entrada do Modelo

Semana	Passeio	Caminhão	Moto
1	163	301	6
2	202	111	23
3	98	201	13
4	103	53	5
5	101	48	151
6	225	53	17
7	24	27	23
8	173	55	10
9	115	33	7
10	50	23	4
11	441	182	30
12	197	94	20
13	258	68	18
14	94	71	9
15	230	77	9
16	256	123	12
17	152	46	8
18	342	96	31
19	229	43	15
20	0	0	0
21	150	78	14
22	160	64	4
23	144	17	14
24	103	53	18
25	274	50	43
26	84	43	6
27	0	0	0
28	267	66	24
29	148	30	9
30	56	9	10
31	78	31	2
32	203	54	34
33	309	51	17
34	339	77	56
35	247	33	3
36	21	7	3
37	337	29	2
38	87	79	57
39	57	28	27
40	32	18	2
41	111	60	10
42	237	19	45
43	251	62	14
44	38	49	2
45	52	16	0
7238	2728	827	

APÊNCIDE B: ANÁLISE ESTATÍSTICA

A fim de conferir um maior rigor científico a análise realizada dos dados de saída do *software* de simulação, pode ser feita uma análise estatística entre os dados simulados, levando em consideração as replicações realizadas em cada cenário. O modelo proposto por Leal *et al.* (2011), apresentado na Figura B.1, é ideal nas situações onde é necessário um maior rigor na análise:

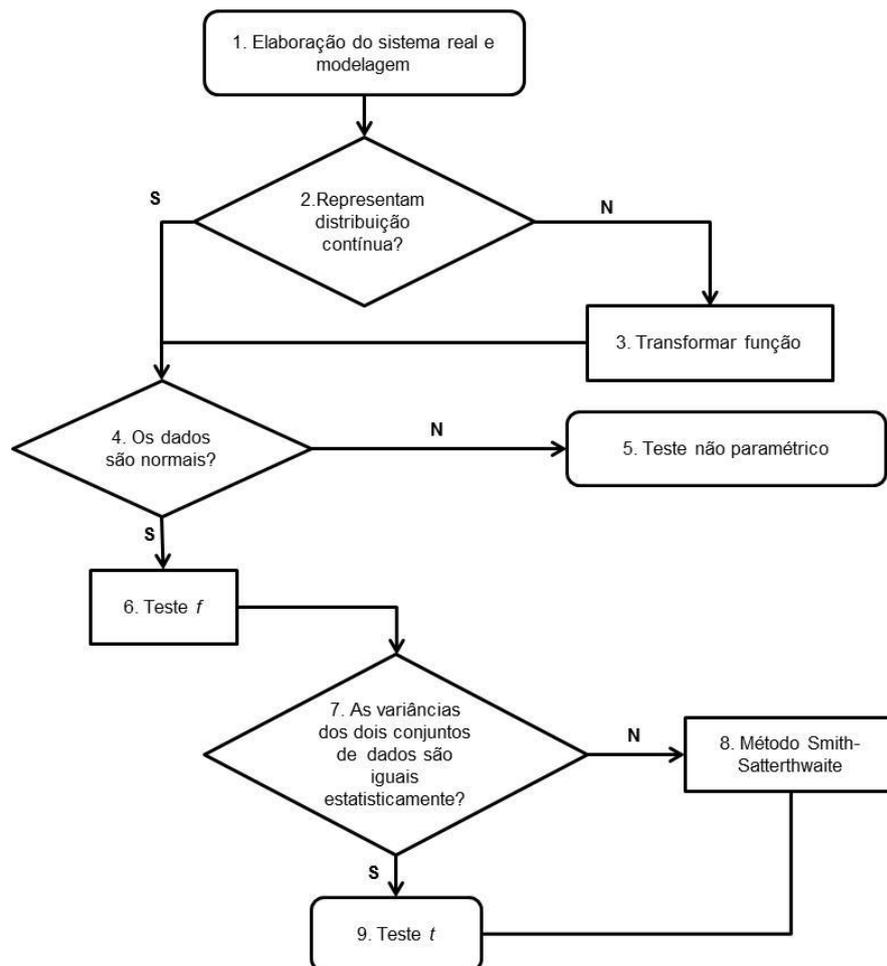


Figura B.1- Comparação estatística entre modelos de simulação

Fonte: Leal *et al.* (2011)

Os testes foram realizados levando em consideração que o consórcio gostaria de confirmar o melhor resultado entre os cenários 2 e 8, uma vez que não conseguiriam implementar uma melhoria conjunta a curto prazo. Para a condução dos testes estatísticos, inicialmente foi utilizado o teste de *Anderson Darling* para comprovar a normalidade dos dados em questão, permitindo assim justificar a utilização dos testes paramétricos (Teste *f* e Teste *t*) para a realização das análises. O objetivo do teste de variância (Teste *f*) é verificar se

dois conjuntos de dados possuem variâncias iguais. Já o Teste t testa se há diferença estatística entre dois conjuntos de dados.

Para todos os cenários e para todas as variáveis foi realizado o procedimento detalhado na Figura B.1 para comprovar a igualdade ou diferença estatística dos valores encontrados.

A Tabela B.1 mostra os resultados da análise estatística para o caso de emissão de poluentes. Antes da realização do Teste t , foi realizado o teste para verificação se as distribuições são normais (Teste de *Anderson Darling* utilizando o *software* Minitab[®] apresentado no Apêndice C). Conforme pode ser observado no apêndice citado, todas as distribuições são normais, uma vez que os valores de p -value são maiores que 0,05.

Antes do Teste t , também foi realizado o Teste f , apresentado no Apêndice E. Este teste foi fundamental para a verificação da igualdade ou não de variâncias entre as distribuições dos cenários. Nos casos de não igualdade de variância foi utilizado o Teste *Smith-Satterthwaite*. O Apêndice D traz os *Boxplots* das variáveis analisadas, permitindo uma análise gráfica dos dados numéricos apresentados nas Tabelas 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9.

Tabela B.1 - Teste t (2 Sample t) para Emissão de Poluentes

		Valores de p -value na comparação dos cenários													
		1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2	6.1	6.2	7	8
C e n á r i o s	1.1	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.2	-	-	0	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2.1	-	-	-	0	0	0	0	0	0,226	0	0	0	0	0
	2.2	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.1	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.2	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
	4.1	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0
	4.2	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0
	5.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0
	5.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,065	0	0
	6.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
	6.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

O Teste t , mostrado na Tabela B.1, indica que em apenas 2 casos a emissão de poluentes é igual estatisticamente (p -value > 0,05): nos cenários 2.1 e 5.1 e nos cenários 5.2 e 6.2. Nestes casos, a opção de utilizar os veículos atuais, representado pelos cenários 5.1 e 5.2 é uma ação mais viável na tomada de decisão por ter os mesmos resultados utilizando os veículos já existentes.

A Tabela B.2 mostra o Teste t para o gasto com combustível. Seguindo o mesmo procedimento realizado para a emissão de poluentes, também foram realizados os testes de normalidade, *Boxplots* e Teste f conforme mostrado respectivamente nos Apêndices B, C e D.

Neste caso, os resultados do cenário 4 são iguais estatisticamente ($p\text{-value}>0,05$) tanto para o uso de etanol (4.2) quanto para o uso de gasolina (4.1). Se o gestor for optar por este cenário, um fator de desempate no desempenho é a emissão de poluentes que é menor quando é utilizado gasolina. Também há igualdade estatística entre os cenários 1.1 e 5.2. Nesta situação, o ideal seria optar pelo cenário 5.2 que apresenta menor emissão de poluentes.

Tabela B.2 - Teste t (2 Sample t) para Custo de Combustíveis

		Valores de $p\text{-value}$ na comparação dos cenários													
		1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2	6.1	6.2	7	8
C e n á r i o s	1.1	-	0	0,012	0	0	0	0	0	0	0,302	0	0	0	0
	1.2	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2.1	-	-	-	0,029	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0
	2.2	-	-	-	-	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0
	3.1	-	-	-	-	-	0	0,028	0	0	0	0	0	0	0
	3.2	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
	4.1	-	-	-	-	-	-	-	0,061	0	0	0	0	0	0
	4.2	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0
	5.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,011	0	0	0
	5.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
	6.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,022	0	0
	6.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,027

As tabelas B.2 e B.3 mostram o teste t para as variáveis quilometragem percorrida pelos veículos para a destinação dos pneus inservíveis e quantidade de pneus transportados. Através destas variáveis que foi possível obter as emissões de poluentes e custos com combustíveis. Nestes casos, os cenários 1 (1.1 e 1.2) e 2 (2.1 e 2.2), 3 (3.1 e 3.2) e 4 (4.1 e 4.2), 5 (5.1 e 5.2) e 6 (6.1 e (6.2), 7 e 8 apresentam mesma quilometragem e quantidade de pneus transportados, uma vez que a única alteração entre os cenários foi entre utilizar veículos novos ou antigos movidos a etanol ou gasolina, o que impacta na emissão de poluentes e gasto com combustível. Os valores de $p\text{-value}$ apresentados na Tabela B.2 mostram que a quantidade transportada em todos os cenários pode ser considerada igual ($p\text{-value}>0,05$). Já a Tabela 4.8 mostra que a quilometragem percorrida é igual do ponto de vista estatístico entre os cenários 3 e 4 e 7 e 8. Nestas situações os cenários 3 e 7 são mais fáceis de implementar por não envolverem a troca da frota atual utilizada para transporte dos pneus inservíveis. Entre os cenários 3 e 7 o de mais fácil implementação é o 3, pois não implica na utilização de transporte solidário entre agentes diferentes.

Tabela B.3- Teste *t* (2 *Sample t*) para quantidade transportada

Valores de <i>p-value</i> na comparação dos cenários				
Cenários	1 e 2	3 e 4	5 e 6	7 e 8
1 e 2	-	0,514	0,454	0,835
3 e 4	-	-	0,152	0,368
5 e 6	-	-	-	0,561

Tabela B.4- Teste *t* (2 *Sample t*) para quilometragem percorrida

Valores de <i>p-value</i> na comparação dos cenários				
Cenários	1 e 2	3 e 4	5 e 6	7 e 8
1 e 2	-	0	0	0
3 e 4	-	-	0	0,343
5 e 6	-	-	-	0

APÊNDICE C: TESTE DE NORMALIDADE

As tabelas C.1, C.2, C.3, C.4 e C.5 apresentam os testes de normalidade para verificação se as distribuições referentes às 25 replicações do modelo para cada variável analisada são normais. O teste realizado foi *Anderson Darling* através do *software* estatístico Minitab®. Para o caso da quantidade transportada (Tabela C.3) e quilometragem percorrida (Tabela C.4) como os valores são os mesmos para os cenários 1.1 e 1.2, 2.1 e 2.2, 3.1 e 3.2, 4.1 e 4.2, 5.1 e 5.2, os cenários idênticos foram agrupados em 1, 2, 3, 4 e 5.

Tabela C.1: Teste de Normalidade para as emissões de poluentes

Cenários	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1
<i>p-values</i>	0,252	0,290	0,665	0,587	0,506	0,611	0,503
Cenários	4.2	5.1	5.2	6.1	6.2	7	8
<i>p-values</i>	0,820	0,380	0,254	0,194	0,455	0,402	0,583
Cenários	9	10	11	12	13	14	15
<i>p-values</i>	0,344	0,341	0,423	0,337	0,505	0,679	0,050
Cenários	16						
<i>p-values</i>	0,052						

Tabela C.2: Teste de Normalidade para Custo de Combustível

Cenários	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1
<i>p-values</i>	0,297	0,279	0,299	0,305	0,567	0,521	0,571
Cenários	4.2	5.1	5.2	6.1	6.2	7	8
<i>p-values</i>	0,598	0,551	0,545	0,551	0,545	0,456	0,477
Cenários	9	10	11	12	13	14	15
<i>p-values</i>	0,493	0,491	0,472	0,468	0,451	0,483	0,123
Cenários	16						
<i>p-values</i>	0,124						

Tabela C.3: Teste de normalidade para Quantidade Transportada

Cenários	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>p-values</i>	0,495	0,495	0,668	0,668	0,563	0,563	0,529	0,529
Cenários	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>p-values</i>	0,581	0,629	0,581	0,629	0,844	0,844	0,223	0,223

Tabela C.4: Teste de normalidade para Quilometragem Percorrida

Cenários	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>p-values</i>	0,284	0,284	0,588	0,588	0,559	0,559	0,455	0,455
Cenários	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>p-values</i>	0,494	0,750	0,494	0,750	0,522	0,522	0,244	0,244

Tabela C.5: Teste de normalidade para Custo Total da LR

Cenários	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2
<i>p-values</i>	0,574	0,561	0,577	0,578	0,648	0,678	0,684	0,685
Cenários	5.1	5.2	6.1	6.2	7	8	9	10
<i>p-values</i>	0,596	0,598	0,595	0,595	0,523	0,522	0,530	0,610
Cenários	11	12	13	14	15	16		
<i>p-values</i>	0,527	0,607	0,626	0,623	0,200	0,200		

APÊNDICE D: *BOXPLOT* DAS VARIÁVEIS

O Apêndice D apresenta uma análise gráfica das variáveis analisadas no modelo. Através dos *Boxplots* é possível verificar o desempenho em cada cenário das variáveis analisadas.

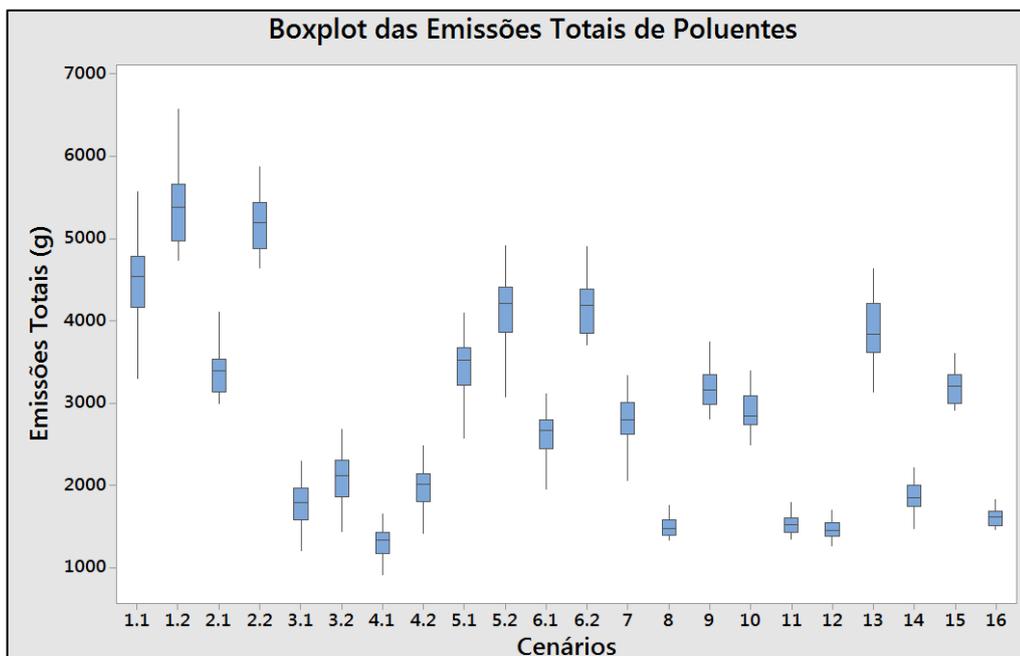


Figura D.1- *Boxplot* das Emissões de Poluentes

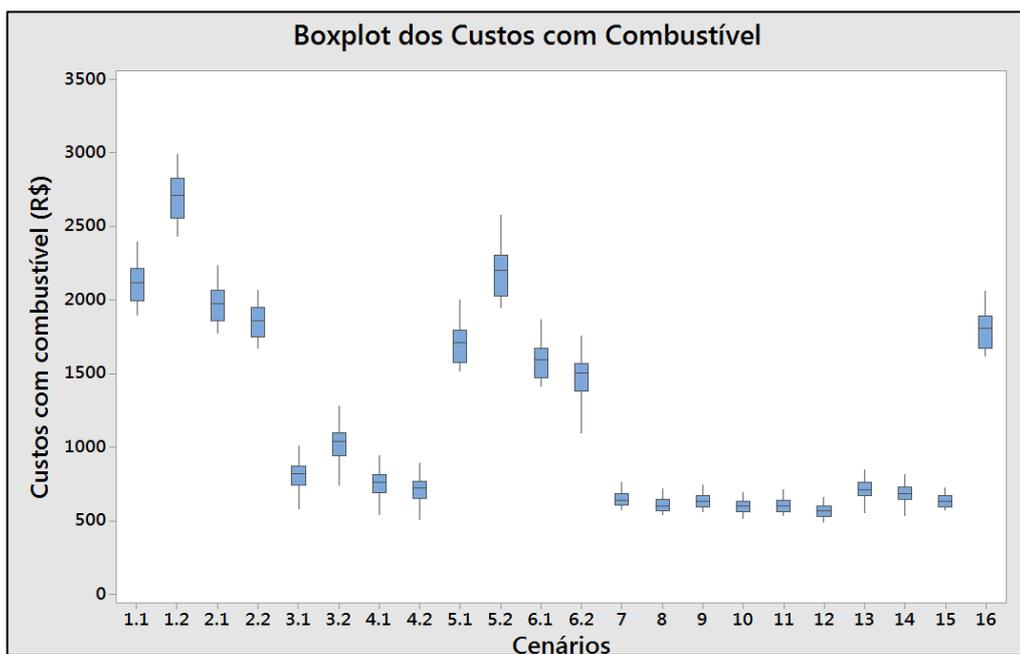


Figura D.2- *Boxplots* dos Custos com Combustível

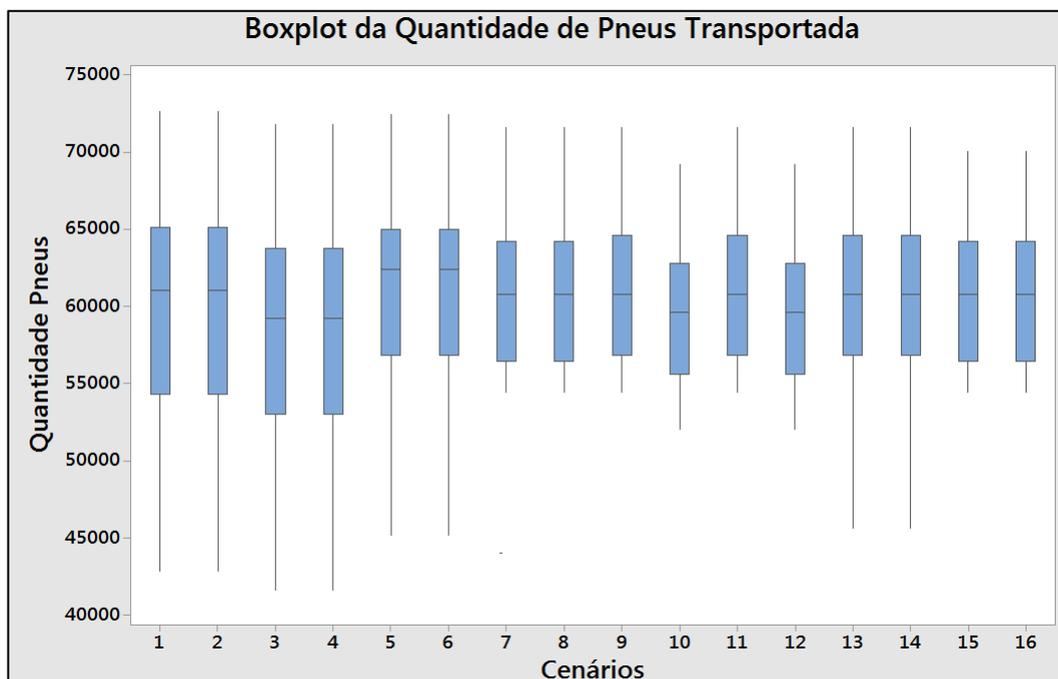


Figura D.3-Boxplots das Quantidades Transportadas

Nas Fig. D.3 e Fig. D4 os cenários 1 (1.1 e 1.2) e 2 (2.1 e 2.2) estão agrupados porque a quantidade transportada é a mesma e a quilometragem percorrida também. O que muda nos cenários é o tipo de veículo e tipo de combustível, o que não impacta nas variáveis mostradas nas duas Figuras. O mesmo foi feito para os cenários que tem a mesma quilometragem ou quantidade de pneus transportados.

APÊNDICE D: BOXPLOT DAS VARIÁVEIS (CONTINUAÇÃO)

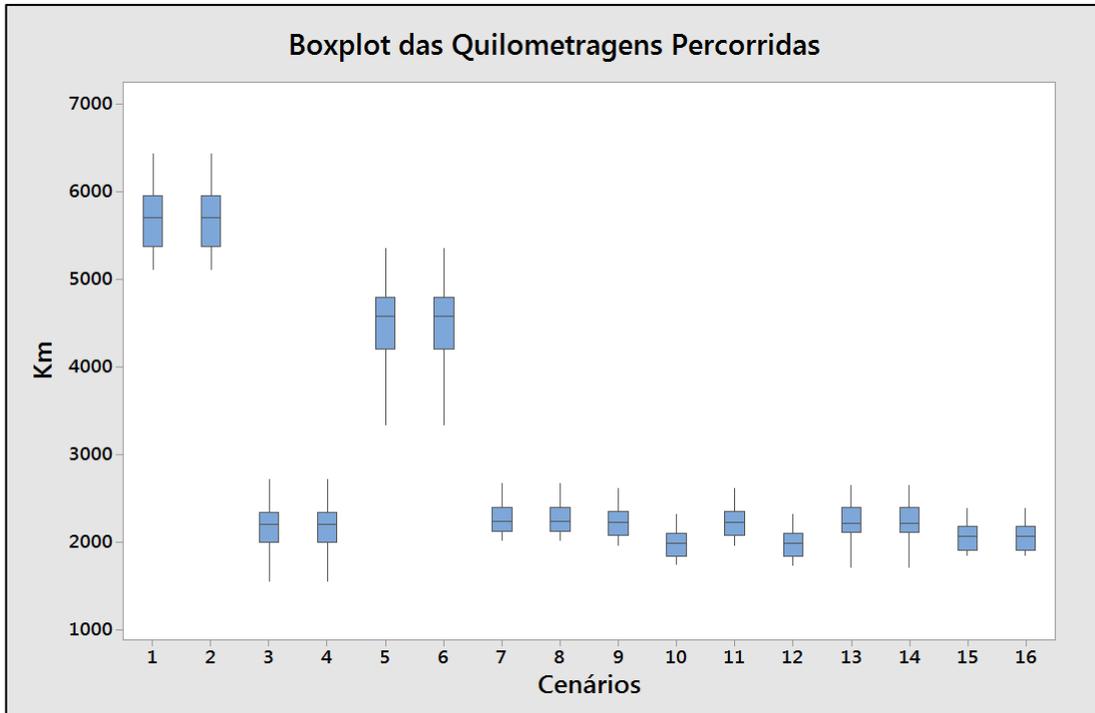


Figura D.4-Boxplots das Quilometragens Percorridas

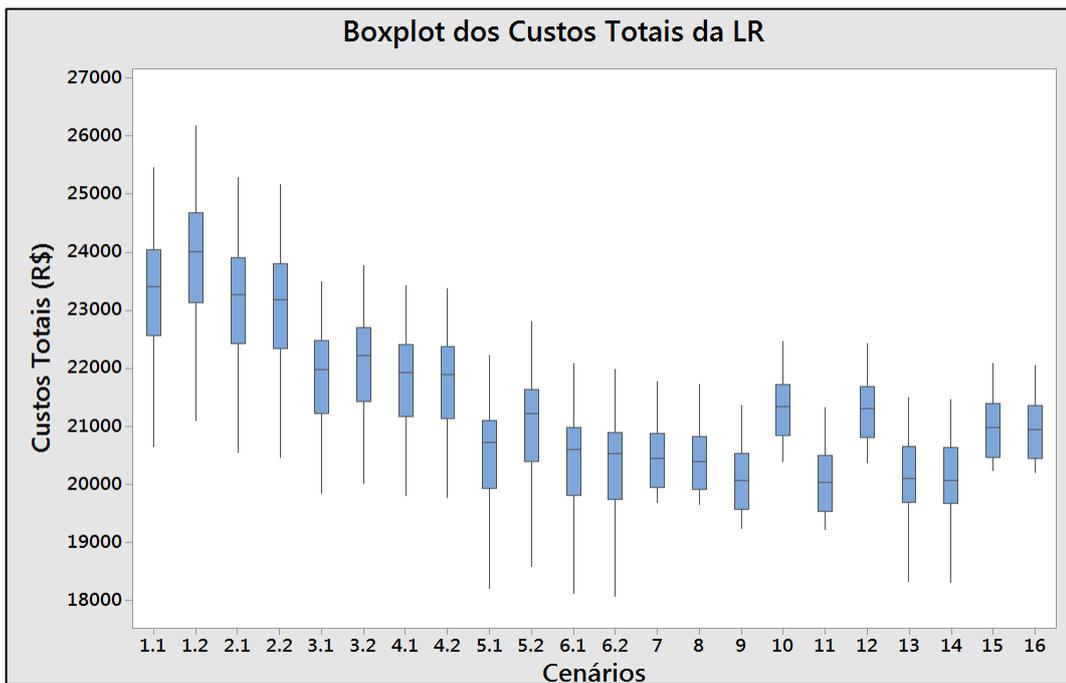


Figura D.5- Boxplots dos Custos Totais da LR de Pneus

APÊNDICE E- Testes *f*

Tabela E.1- Teste 2 *Variances* (Teste *f*) para emissão de poluentes

	CENÁRIOS													
	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2	6.1	6.2	7	8
1.1	-	0,254	0,355	0,093	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2	-	-	0,036	0,539	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.1	-	-	-	0	0,002	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0
2.2	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.1	-	-	-	-	-	0,648	0	0,039	0	0,002	0	0,029	0,005	0
3.2	-	-	-	-	-	-	0,002	0,109	0	0	0	0,084	0,018	0
4.1	-	-	-	-	-	-	-	0,099	0,463	0,642	0,220	0,136	0,422	0,004
4.2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,028	0,247	0,011	0,886	0,405	0
5.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,268	0,619	0,041	0,157	0,033
5.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,126	0,313	0,742	0,004
6.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,016	0,069	0,102
6.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,493	0
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002

Tabela E.2- Teste 2 *Variances* (Teste *f*) para custo com combustíveis

	CENÁRIOS													
	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2	6.1	6.2	7	8
1.1	-	0,254	0,807	0,543	0,014	0,004	0,009	0	0,243	0,967	0,134	0,074	0	0
1.2	-	-	0,143	0,083	0	0	0	0	0,023	0,271	0,009	0,004	0	0
2.1	-	-	-	0,781	0	0,010	0	0	0,401	0,711	0,241	0,143	0	0
2.2	-	-	-	-	0,001	0,021	0	0	0,573	0,517	0,369	0,233	0	0
3.1	-	-	-	-	-	0,301	0,749	0,571	0,006	0	0,015	0,031	0,076	0,040
3.2	-	-	-	-	-	-	0,177	0,111	0,076	0,004	0,149	0,249	0,006	0,003
4.1	-	-	-	-	-	-	-	0,805	0,002	0	0,006	0,014	0,144	0,081
4.2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,001	0	0,003	0,007	0,223	0,133
5.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,228	0,736	0,526	0	0
5.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,124	0,068	0	0
6.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,766	0	0
6.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,773

Conforme já mencionado anteriormente as quilometragens percorridas e quantidades transportadas são as mesmas entre os cenários 1 (1.1 e 1.2) e 2 (2.1 e 2.2), 3(3.1 e 3.2) e 4 (4.1 e 4.2), 5 (5.1 e 5.2) e 6 (6.1 e 6.2) e 7 e 8. Por este motivo os cenários foram agrupados para fazer o teste *f* conforme mostrado nas Tabelas E.3 e E.4.

APÊNDICE E- Testes *f*

Tabela E.3- Teste 2 Variances (Teste f) para quantidade transportada

	1 e 2	3 e 4	5 e 6	7 e 8
1 e 2	-	0,969	0,542	0,526
3 e 4	-	-	0,568	0,552
5 e 6	-	-	-	0,981

Tabela E.4- Teste 2 Variances (Teste f) para quilometragem percorrida

	1 e 2	3 e 4	5 e 6	7 e 8
1 e 2	-	0	0,241	0
3 e 4	-	-	0,006	0,614
5 e 6	-	-	-	0,001

APÊNDICE F: ENCARGOS MENSAIS COM MÃO DE OBRA

Evento	Referencia	Valor
Salário	-	R\$ 1.500,00
Vale transporte	-	R\$ 0,00
Desconto vale transporte	-	R\$ 0,00
Vale refeição	-	R\$ 0,00
Plano de saúde	-	R\$ 0,00
Outros benefícios	-	R\$ 0,00
Provisão 13º salário	-	R\$ 125,00
Provisão Férias	-	R\$ 125,00
Provisão 1/3 Férias	-	R\$ 41,67
FGTS	-	R\$ 120,00
Provisão FGTS (13º e Férias)	-	R\$ 23,33
INSS	20,00%	R\$ 300,00
Provisão INSS (13º e Férias)	-	R\$ 58,33
Custo Funcionário		R\$ 2.293,33

Evento	Referencia	Valor
Salário	-	R\$ 937,00
Vale transporte	-	R\$ 0,00
Desconto vale transporte	-	R\$ 0,00
Vale refeição	-	R\$ 0,00
Plano de saúde	-	R\$ 0,00
Outros benefícios	-	R\$ 0,00
Provisão 13º salário	-	R\$ 78,08
Provisão Férias	-	R\$ 78,08
Provisão 1/3 Férias	-	R\$ 26,03
FGTS	-	R\$ 74,96
Provisão FGTS (13º e Férias)	-	R\$ 14,58
INSS	20,00%	R\$ 187,40
Provisão INSS (13º e Férias)	-	R\$ 36,44
Custo Funcionário		R\$ 1.432,57

APENDICE G: ARTIGOS PUBLICADOS

FAGUNDES, L. D.; AMORIM, E. S.; LIMA, R.S. Action Research in Reverse Logistics for End-Of-Life Tire Recycling. **Systemic Practice and Action Research**^{JCR}, v. 30, p. online first-, n. 2017.

FAGUNDES, L.D.; LIMA, R. Silva. Mapeamento da Logística Reversa de Pneus Inservíveis em um Consórcio de Cidades Utilizando o IDEF-SIM. In: XXXVI ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2016, João Pessoa, PB. **Anais**. 2016.

FAGUNDES, L.D.; LIMA, R. S.; MONTEVECHI, J. A. B. Modelagem e Simulação a Eventos Discretos como Apoio à Logística Reversa de Pneus Inservíveis. In: XXX ANPET – Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2016, Rio de Janeiro, RJ. **Anais**. 2016.

AMORIM, E. S.; FAGUNDES, L.D.; LIMA, R. S. Logística Reversa de Pneus Inservíveis: uma pesquisa-ação no município de Três (MG). In: XXXV ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2015, Fortaleza. **Anais**. 2015.

FAGUNDES, L.D.; LIMA, R. S.; OLIVEIRA, R.L. A Logística Reversa de Pneus Inservíveis: estudo de caso em uma microrregião de Minas Gerais. In: ISWA 2014 Solid Waste World Congress, 2014, São Paulo. **Proceedings**. 2014.

ANEXO A: Histórico ANP Preços dos Combustíveis

Período	Combustível	Cidade	Qtd. Postos Pesquisados	Unidade	Preço médio
set/14	Gasolina Comum	Amparo	65	R\$/l	2,973
out/14	Gasolina Comum	Amparo	52	R\$/l	2,971
nov/14	Gasolina Comum	Amparo	52	R\$/l	2,998
dez/14	Gasolina Comum	Amparo	65	R\$/l	3,014
jan/15	Gasolina Comum	Amparo	52	R\$/l	3,005
fev/15	Gasolina Comum	Amparo	52	R\$/l	3,187
mar/15	Gasolina Comum	Amparo	65	R\$/l	3,239
abr/15	Gasolina Comum	Amparo	52	R\$/l	3,257
mai/15	Gasolina Comum	Amparo	51	R\$/l	3,256
jun/15	Gasolina Comum	Amparo	64	R\$/l	3,256
jul/15	Gasolina Comum	Amparo	51	R\$/l	3,255
ago/15	Gasolina Comum	Amparo	26	R\$/l	3,249

3,138

Período	Combustível	Cidade	Qtd. Postos Pesquisados	Unidade	Preço médio
set/14	Etanol	Amparo	65	R\$/l	1,947
out/14	Etanol	Amparo	52	R\$/l	1,938
nov/14	Etanol	Amparo	52	R\$/l	1,932
dez/14	Etanol	Amparo	65	R\$/l	1,934
jan/15	Etanol	Amparo	52	R\$/l	1,938
fev/15	Etanol	Amparo	52	R\$/l	2,087
mar/15	Etanol	Amparo	65	R\$/l	2,133
abr/15	Etanol	Amparo	52	R\$/l	2,086
mai/15	Etanol	Amparo	52	R\$/l	2,080
jun/15	Etanol	Amparo	65	R\$/l	2,062
jul/15	Etanol	Amparo	52	R\$/l	2,049
ago/15	Etanol	Amparo	26	R\$/l	2,019

2,017

Período	Combustível	Cidade	Qtd. Postos Pesquisados	Unidade	Preço médio
set/14	Óleo Diesel	Amparo	10	R\$/l	2,584
out/14	Óleo Diesel	Amparo	7	R\$/l	2,578
nov/14	Óleo Diesel	Amparo	10	R\$/l	2,665
dez/14	Óleo Diesel	Amparo	14	R\$/l	2,680
jan/15	Óleo Diesel	Amparo	12	R\$/l	2,664
fev/15	Óleo Diesel	Amparo	14	R\$/l	2,808
mar/15	Óleo Diesel	Amparo	24	R\$/l	2,865
abr/15	Óleo Diesel	Amparo	23	R\$/l	2,880
mai/15	Óleo Diesel	Amparo	22	R\$/l	2,872
jun/15	Óleo Diesel	Amparo	26	R\$/l	2,879
jul/15	Óleo Diesel	Amparo	25	R\$/l	2,888
ago/15	Óleo Diesel	Amparo	13	R\$/l	2,895

2,772

ANEXO B: FATOR DE EMISSÃO DE POLUENTES SEGUNDO MMA (2011)

Fator de emissão e consumo de veículos comerciais leves - Gasolina										
Ano	Combustível	CO (g/km)	Total (g/km)	HC NMHC (g/km)	CH4 (g/km)	Nox (g/km)	RCHO (g/km)	CO2 (g/km)	MP (g/km)	Autonomia (km/l)
2006	Gasolina	0,707	0,085	0,073	0,012	0,238	0,0021	nd	nd	nd
2007	Gasolina	0,654	0,11	0,097	0,013	0,07	0,0017	d	nd	nd
2008	Gasolina	0,494	0,119	0,062	0,057	0,048	0,0016	290	nd	7,7
2009	Gasolina	0,282	0,026	0,025	0,001	0,019	0,0038	231	0,001	8,3
2010	Gasolina	0,298	0,021	0,02	0,007	0,012	0,0017	235	0,001	9,5
2011	Gasolina	0,299	0,032	0,024	0,008	0,017	0,0018	223	0,001	9,9
2012	Gasolina	0,286	0,025	0,019	0,006	0,01	0,0019	220	0,001	10
2013	Gasolina	0,169	0,021	0,017	0,004	0,016	0,0014	228	0,001	9,7
2014	Gasolina	0,216	0,02	0,017	0,002	0,01	0,001	208	0,001	10,6

Fator de emissão e consumo de veículos comerciais leves - Flex Gasolina										
Ano	Combustível	CO (g/km)	Total (g/km)	HC NMHC (g/km)	CH4 (g/km)	Nox (g/km)	RCHO (g/km)	CO2 (g/km)	MP (g/km)	Autonomia (km/l)
2006	Flex Gasolina	0,501	0,136	0,112	0,024	0,062	0,002	215	nd	nd
2007	Flex Gasolina	0,537	0,127	0,082	0,045	0,059	0,0024	220	nd	nd
2008	Flex Gasolina	0,487	0,128	0,078	0,05	0,056	0,0023	252	nd	nd
2009	Flex Gasolina	0,22	0,061	0,037	0,024	0,033	0,0015	224	0,001	8,3
2010	Flex Gasolina	0,211	0,053	0,024	0,029	0,041	0,0014	237	0,001	9,7
2011	Flex Gasolina	0,241	0,038	0,026	0,012	0,032	0,0013	251	0,001	8,6
2012	Flex Gasolina	0,24	0,038	0,029	0,009	0,044	0,0024	243	0,001	9,1
2013	Flex Gasolina	0,231	0,037	0,028	0,009	0,043	0,002	243	0,001	9,1
2014	Flex Gasolina	0,267	0,032	0,026	0,006	0,029	0,003	251	0,001	8,9

Fator de emissão e consumo de veículos comerciais leves - Flex Etanol										
Ano	Combustível	CO (g/km)	Total (g/km)	HC NMHC (g/km)	CH4 (g/km)	Nox (g/km)	RCHO (g/km)	CO2 (g/km)	MP (g/km)	Autonomia (km/l)
2006	Flex Etanol	0,347	0,12	0,085	0,035	0,128	0,018	204	nd	nd
2007	Flex Etanol	0,405	0,125	0,069	0,056	0,094	0,017	204	nd	nd
2008	Flex Etanol	0,432	0,129	0,073	0,056	0,069	0,0167	236	nd	nd
2009	Flex Etanol	0,448	0,019	0,011	0,008	0,03	0,011	208	nd	nd
2010	Flex Etanol	0,52	0,093	0,02	0,073	0,035	0,0113	228	nd	6,8
2011	Flex Etanol	0,666	0,087	0,039	0,048	0,019	0,0087	242	nd	6,2
2012	Flex Etanol	0,732	0,101	0,052	0,049	0,045	0,0103	238	nd	6,2
2013	Flex Etanol	0,641	0,089	0,051	0,038	0,035	0,011	234	nd	6,4
2014	Flex Etanol	0,555	0,09	0,068	0,021	0,04	0,0119	241	nd	6,1

Fator de emissão e consumo de veículos comerciais leves - Diesel

Ano	Combustível	CO (g/km)	Total (g/km)	HC NMHC (g/km)	CH4 (g/km)	Nox (g/km)	RCHO (g/km)	CO2 (g/km)	MP (g/km)	Autonomia (km/l)
2006	Diesel	0,485	0,093	0,093	0	0,87	nd	277	0,078	9,3
2007	Diesel	0,485	0,093	0,093	0	0,87	nd	277	0,078	9,3
2008	Diesel	0,334	0,083	0,083	0	0,717	nd	285	0,063	9,3
2009	Diesel	0,285	0,033	0,025	0,008	0,681	nd	269	0,06	9,5
2010	Diesel	0,21	0,058	0,057	0,001	0,721	nd	265	0,068	9,9
2011	Diesel	0,153	0,047	0,043	0,004	0,624	nd	264	0,052	9,8
2012	Diesel	0,05	0,029	0,017	0,012	0,311	nd	254	0,018	10,5
2013	Diesel	0,075	0,028	0,014	0,014	0,277	nd	256	0,015	10,4
2014	Diesel	0,08	0,023	0,01	0,013	0,285	nd	261	0,014	10,4

Fator de emissão e consumo de motores do ciclo Diesel

Ano	Categoria	CO (g/km)	HC (g/km)	Nox (g/km)	MP (g/km)	CO2 (kg/l)	RCHO (g/km)	Autonomia (km/l)
2006	Cam. Semi Leve	0,648	0,138	1,903	0,047	2,603		9,1
2007	Cam. Semi Leve	0,648	0,138	1,903	0,047	2,603		9,1
2008	Cam. Semi Leve	0,386	0,065	1,725	0,039	2,603		9,1
2009	Cam. Semi Leve	0,377	0,057	1,719	0,031	2,603		9,1
2010	Cam. Semi Leve	0,416	0,082	1,735	0,035	2,603		9,1
2011	Cam. Semi Leve	0,379	0,043	1,696	0,037	2,603		9,1
2012	Cam. Semi Leve	0,005	0,005	0,519	0,003	2,603		9,1
2013	Cam. Semi Leve	0,012	0,005	0,489	0,004	2,603		9,1
2014	Cam. Semi Leve	0,012	0,005	0,489	0,004	2,603		9,1

Fator de emissão e consumo de motores do ciclo Diesel

Ano	Categoria	CO (g/km)	HC (g/km)	Nox (g/km)	MP (g/km)	CO2 (kg/l)	RCHO (g/km)	Autonomia (km/l)
2006	Cam. Leve	0,755	0,207	3,419	0,068	2,603		5,6
2007	Cam. Leve	0,755	0,207	3,419	0,068	2,603		5,6
2008	Cam. Leve	0,685	0,124	3,072	0,06	2,603		5,6
2009	Cam. Leve	0,651	0,115	3,076	0,055	2,603		5,6
2010	Cam. Leve	0,502	0,096	2,971	0,048	2,603		5,6
2011	Cam. Leve	0,499	0,086	2,973	0,048	2,603		5,6
2012	Cam. Leve	0,12	0,01	1,076	0,007	2,603		5,6
2013	Cam. Leve	0,115	0,007	0,956	0,008	2,603		5,6
2014	Cam. Leve	0,115	0,007	0,956	0,008	2,603		5,6

Fator de emissão e consumo de motores do ciclo Diesel

Ano	Categoria	CO (g/km)	HC (g/km)	Nox (g/km)	MP (g/km)	CO2 (kg/l)	RCHO (g/km)	Autonomia (km/l)
2006	Cam. Médio	0,665	0,125	3,088	0,061	2,603		5,6
2007	Cam. Médio	0,665	0,125	3,088	0,061	2,603		5,6
2008	Cam. Médio	0,49	0,068	2,919	0,054	2,603		5,6
2009	Cam. Médio	0,484	0,079	3,012	0,058	2,603		5,6
2010	Cam. Médio	0,481	0,089	3,018	0,051	2,603		5,6
2011	Cam. Médio	0,515	0,107	3,058	0,056	2,603		5,6
2012	Cam. Médio	0,124	0,007	1,032	0,007	2,603		5,8
2013	Cam. Médio	0,081	0,009	1,061	0,009	2,603		5,8
2014	Cam. Médio	0,081	0,009	1,061	0,009	2,603		5,8

Fator de emissão e consumo de motores do ciclo Diesel

Ano	Categoria	CO (g/km)	HC (g/km)	Nox (g/km)	MP (g/km)	CO2 (kg/l)	RCHO (g/km)	Autonomia (km/l)
2006	Cam. Semi Pesado	0,994	0,226	5,348	0,163	2,603		3,4
2007	Cam. Semi Pesado	0,994	0,226	5,348	0,163	2,603		3,4
2008	Cam. Semi Pesado	1,06	0,119	4,927	0,09	2,603		3,4
2009	Cam. Semi Pesado	0,962	0,081	5,012	0,084	2,603		3,4
2010	Cam. Semi Pesado	0,886	0,113	5,03	0,092	2,603		3,4
2011	Cam. Semi Pesado	1,012	0,101	4,78	0,085	2,603		3,4
2012	Cam. Semi Pesado	0,148	0,017	1,679	0,015	2,603		3,6
2013	Cam. Semi Pesado	0,107	0,017	1,601	0,016	2,603		3,6
2014	Cam. Semi Pesado	0,107	0,017	1,601	0,016	2,603		3,6

Fator de emissão e consumo de motores do ciclo Diesel

Ano	Categoria	CO (g/km)	HC (g/km)	Nox (g/km)	MP (g/km)	CO2 (kg/l)	RCHO (g/km)	Autonomia (km/l)
2006	Cam. Pesado	0,941	0,261	5,301	0,095	2,603		3,4
2007	Cam. Pesado	0,941	0,261	5,301	0,095	2,603		3,4
2008	Cam. Pesado	0,755	0,132	5,369	0,085	2,603		3,4
2009	Cam. Pesado	0,892	0,116	5,343	0,08	2,603		3,4
2010	Cam. Pesado	0,647	0,174	5,289	0,071	2,603		3,4
2011	Cam. Pesado	0,787	0,157	5,189	0,072	2,603		3,4
2012	Cam. Pesado	0,257	0,03	1,588	0,015	2,603		3,6
2013	Cam. Pesado	0,285	0,029	1,543	0,016	2,603		3,6
2014	Cam. Pesado	0,285	0,029	1,543	0,016	2,603		3,6

ANEXO C: RESULTADOS DOS CENÁRIOS- EMISSÃO DE POLUENTES

1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1
3290,80	3918,71	2473,37	3839,86	1204,00	1435,30	906,61
4585,84	5422,70	3388,24	5209,43	1886,00	2195,17	1345,54
4132,57	4927,40	3112,83	4842,56	1550,42	1842,72	1161,50
4632,02	5491,80	3438,14	5309,23	1948,79	2271,39	1394,29
4627,99	5491,44	3457,30	5336,38	1786,75	2116,53	1330,92
4430,88	5275,62	3329,49	5167,83	1706,58	2018,40	1267,80
4526,92	5351,18	3342,50	5136,28	1886,89	2196,26	1346,24
4595,84	5424,47	3384,84	5188,13	1962,81	2288,41	1405,18
4255,85	5063,97	3194,48	4953,14	1667,87	1972,23	1238,63
4537,60	5381,73	3387,13	5224,15	1744,24	2064,93	1297,92
5559,09	6567,55	4104,55	6299,19	2292,67	2675,74	1647,21
5053,76	5990,65	3751,50	5790,41	2072,60	2421,66	1490,41
4590,61	5428,49	3391,94	5215,36	1845,73	2160,17	1329,21
4186,72	4993,12	3154,87	4909,78	1646,33	1959,14	1235,96
4772,97	5640,28	3523,23	5410,70	1963,34	2289,86	1406,46
3970,89	4731,14	2987,30	4641,80	1512,23	1796,37	1131,85
4136,15	4931,75	3115,61	4847,00	1553,25	1846,16	1163,70
4786,01	5665,67	3543,64	5457,97	2011,44	2347,43	1442,93
5146,83	6093,26	3812,61	5872,26	2101,53	2456,79	1512,87
4201,34	5000,50	3155,06	4894,22	1553,25	1846,16	1163,70
4103,04	4881,19	3078,75	4772,18	1530,43	1818,46	1145,98
4529,01	5353,72	3344,12	5138,87	1790,84	2093,54	1286,60
5033,84	5943,05	3710,83	5689,49	2038,80	2367,59	1450,12
4035,46	4795,65	3022,51	4676,86	1592,32	1879,71	1179,10
4997,01	5939,36	3743,79	5794,56	1970,51	2325,70	1458,65

**ANEXO C: RESULTADOS DOS CENÁRIOS- EMISSÃO DE POLUENTES
(CONTINUAÇÃO)**

4.2	5.1	5.2	6.1	6.2	7	8
1409,97	2566,12	3073,14	1947,41	3050,80	2055,57	1079,72
2018,37	3517,45	4213,99	2671,05	4186,88	2770,14	1470,03
1797,62	3231,07	3880,26	2463,65	3876,42	2640,15	1399,03
2096,34	3568,46	4275,91	2710,65	4250,22	2848,80	1512,99
2048,59	3564,58	4271,20	2707,64	4245,40	2799,37	1485,99
1946,40	3555,78	4260,52	2700,81	4234,48	2831,21	1503,39
2019,49	3443,91	4124,73	2613,96	4095,58	2824,81	1478,36
2113,75	3563,84	4270,30	2707,06	4244,48	2920,34	1530,54
1900,98	3299,84	3963,72	2517,03	3961,80	2640,15	1399,03
1995,81	3358,16	4034,51	2562,31	4034,21	2701,22	1432,39
2480,84	4087,39	4905,78	3113,52	4894,53	3329,07	1753,79
2250,06	3898,69	4662,87	2952,09	4615,12	3172,47	1668,26
2013,50	3515,66	4211,82	2669,66	4184,66	2949,57	1546,50
1916,70	3412,45	4100,41	2604,46	4101,63	2769,90	1469,90
2117,05	3624,40	4343,80	2754,07	4319,67	2862,82	1520,65
1750,21	3092,65	3712,24	2356,18	3704,56	2515,16	1330,75
1801,14	3191,10	3831,74	2432,61	3826,79	2608,31	1381,64
2174,13	3811,58	4557,14	2884,47	4506,97	3062,92	1608,42
2285,99	3802,64	4560,16	2892,45	4540,98	3138,01	1649,44
1801,14	3191,10	3831,74	2432,61	3826,79	2608,31	1381,64
1772,80	3131,14	3758,95	2386,06	3752,34	2544,62	1346,85
1945,34	3437,50	4116,95	2608,98	4087,61	2706,45	1435,24
2165,63	3722,84	4463,30	2830,50	4441,90	3074,56	1614,78
1804,53	3197,50	3825,64	2422,65	3789,63	2547,00	1348,15
2231,63	3913,77	4695,04	2978,73	4678,96	3117,56	1659,80

**ANEXO C: RESULTADOS DOS CENÁRIOS- EMISSÃO DE POLUENTES
(CONTINUAÇÃO)**

9	10	11	12	13	14	15	16
2311,97	2143,16	1103,23	1066,36	3129,19	1477,37	2131,71	1079,40
3055,78	2748,17	1484,32	1396,83	3734,21	1807,84	3198,31	1620,08
3003,51	2793,63	1430,57	1391,06	3543,15	1703,48	3007,26	1515,72
3151,31	2843,70	1536,50	1449,01	3829,74	1860,02	3293,84	1672,26
3162,73	2952,85	1517,54	1478,02	4188,72	1993,17	3166,47	1602,69
3194,57	2984,69	1534,93	1495,41	3734,21	1807,84	3198,31	1620,08
3217,64	3007,75	1525,99	1486,48	3757,27	1798,90	3221,38	1611,15
3313,16	3103,28	1578,17	1538,66	3852,80	1851,08	3316,91	1663,33
3003,51	2793,63	1430,57	1391,06	4029,50	1906,20	3007,26	1515,72
3142,31	2793,63	1481,18	1391,06	4029,50	1906,20	3007,26	1515,72
3738,55	3389,87	1785,32	1695,20	4625,74	2210,35	3603,50	1819,87
3504,22	3294,34	1682,53	1643,02	4530,21	2158,17	3507,97	1767,69
3281,32	3071,44	1560,78	1521,27	3820,96	1833,69	3285,06	1645,93
3023,93	2716,33	1466,92	1379,44	3702,36	1790,44	3166,47	1602,69
3194,57	2984,69	1534,93	1495,41	4220,56	2010,56	3198,31	1620,08
2907,98	2698,10	1378,39	1338,88	3447,62	1651,30	2911,73	1463,54
2971,67	2761,79	1413,18	1373,66	3997,66	1888,81	2975,41	1498,33
3365,43	3057,83	1631,92	1544,43	4043,86	1955,44	3507,97	1767,69
3547,49	3198,81	1680,97	1590,84	4434,68	2105,99	3412,44	1715,51
2971,67	2761,79	1413,18	1373,66	3511,30	1686,08	2975,41	1498,33
2907,98	2698,10	1378,39	1338,88	3447,62	1651,30	2911,73	1463,54
2992,09	2684,49	1449,53	1362,04	3670,52	1773,05	3134,63	1585,30
3515,64	3166,97	1663,57	1573,45	4402,84	2088,59	3380,59	1698,11
2801,03	2493,43	1345,17	1257,68	3479,46	1668,69	2943,57	1480,94
3449,32	3239,43	1674,07	1634,56	4475,30	2149,71	3453,06	1759,23

ANEXO D: RESULTADOS DOS CENÁRIOS- CUSTO TOTAL DA LOGÍSTICA REVERSA

1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2
20645,76	21102,56	20540,10	20468,54	19843,34	20011,61	19804,54	19778,18
23630,72	24239,51	23488,90	23393,52	22150,98	22375,89	22096,97	22061,74
22525,98	23104,20	22392,72	22302,14	21220,51	21433,15	21171,04	21137,73
23825,33	24450,81	23680,76	23582,77	22395,60	22630,28	22339,45	22302,68
23541,93	24170,07	23395,09	23296,68	21981,44	22221,34	21925,07	21887,48
23363,67	23978,19	23221,46	23125,19	21860,42	22087,26	21806,87	21771,33
23391,85	23991,48	23252,04	23158,10	22008,71	22233,77	21954,68	21919,42
23671,39	24274,19	23530,16	23435,72	22338,65	22575,51	22282,02	22244,91
22704,89	23292,78	22568,59	22476,49	21463,41	21684,82	21411,10	21376,42
23125,81	23739,89	22982,06	22885,85	21650,61	21883,91	21595,70	21559,15
25445,37	26179,00	25273,57	25158,63	23483,71	23762,38	23416,98	23373,32
24589,02	25270,59	24431,21	24324,43	22847,17	23101,11	22786,79	22747,00
23568,76	24178,30	23426,78	23331,28	22061,77	22290,52	22007,90	21972,06
22935,01	23521,65	22799,91	22708,00	21714,53	21942,09	21661,79	21626,14
23821,49	24452,44	23674,14	23575,29	22304,83	22542,37	22248,11	22210,90
22179,27	22732,34	22051,54	21964,89	21001,60	21208,31	20953,44	20921,06
22508,06	23086,84	22374,68	22284,01	21187,67	21400,75	21138,11	21104,72
24271,64	24911,57	24122,98	24022,73	22747,46	22991,89	22689,17	22650,88
24582,88	25271,39	24422,82	24314,96	22770,01	23028,45	22708,64	22668,15
22583,31	23164,69	22448,64	22357,56	21187,67	21400,75	21138,11	21104,72
22350,82	22916,90	22219,50	22130,82	21056,42	21265,95	21007,64	20974,81
23411,75	24011,71	23271,88	23177,88	21861,21	22081,42	21809,21	21774,71
24303,76	24965,19	24148,74	24045,11	22538,22	22777,41	22480,17	22442,70
22361,64	22914,66	22232,94	22146,30	21204,03	21413,10	21154,38	21121,62
24604,17	25289,70	24444,72	24337,32	22829,19	23087,58	22767,79	22727,31

ANEXO D: RESULTADOS DOS CENÁRIOS- CUSTO TOTAL DA LOGÍSTICA REVERSA (CONTINUAÇÃO)

5.1	5.2	6.1	6.2	7	8	9
18209,54	18578,39	18125,59	18067,80	18455,94	18428,74	18039,59
20754,40	21261,12	20639,18	20559,79	20436,74	20398,86	19986,09
19978,41	20450,68	19871,73	19797,74	19991,93	19955,99	19610,96
20950,91	21465,56	20833,94	20753,31	20704,07	20665,01	20264,68
20803,66	21317,70	20686,82	20606,29	20456,26	20417,94	20075,28
20830,26	21342,94	20713,73	20633,41	20549,12	20510,33	20168,15
20534,36	21029,64	20421,65	20344,05	20422,04	20385,12	20060,75
20874,48	21388,41	20757,67	20677,15	20700,64	20662,28	20339,34
20121,87	20604,83	20012,83	19937,17	19991,93	19955,99	19610,96
20254,41	20746,44	20143,38	20066,30	20104,31	20067,46	19793,02
22209,18	22804,54	22074,48	21981,20	21761,20	21716,73	21357,19
21701,12	22257,05	21574,12	21487,02	21370,21	21328,09	20896,53
20716,73	21223,17	20601,57	20522,23	20720,16	20681,37	20246,48
20525,95	21026,42	20413,07	20334,66	20436,58	20398,70	19893,22
20973,56	21496,91	20854,68	20772,69	20641,83	20602,56	20168,15
19618,96	20069,70	19517,01	19446,39	19693,65	19659,59	19332,36
19865,04	20331,08	19759,72	19686,71	19899,06	19863,60	19518,09
21538,50	22080,87	21414,47	21329,50	21153,86	21113,37	20714,47
21446,22	21997,30	21321,25	21234,92	21204,00	21162,39	20800,00
19865,04	20331,08	19759,72	19686,71	19899,06	19863,60	19518,09
19694,98	20151,70	19591,71	19520,16	19713,33	19678,83	19332,36
20527,65	21021,94	20415,16	20337,73	20251,01	20214,08	19800,36
21219,63	21758,29	21097,39	21013,00	21018,43	20977,77	20707,13
19847,26	20304,21	19742,97	19671,38	19786,52	19751,98	19243,17
21812,95	22381,30	21684,18	21595,14	21384,75	21341,68	20911,07

ANEXO D: RESULTADOS DOS CENÁRIOS- CUSTO TOTAL DA LOGÍSTICA REVERSA (CONTINUAÇÃO)

10	11	12	13	14	15	16
19379,75	18018,16	19358,32	18334,80	18313,37	18773,02	18749,49
21144,19	19955,61	21113,72	20099,25	20068,77	21073,15	21038,48
20888,21	19583,34	20860,59	19542,05	19514,43	20515,96	20484,14
21422,79	20232,78	21390,88	20377,84	20345,94	21351,75	21315,64
21352,54	20045,28	21322,54	20398,87	20368,87	20980,29	20946,09
21445,41	20137,67	21414,93	20099,25	20068,77	21073,15	21038,48
21338,00	20031,70	21308,95	19991,84	19962,79	20965,75	20932,50
21616,60	20308,86	21586,12	20270,44	20239,96	21244,35	21209,67
20888,21	19583,34	20860,59	19934,55	19906,92	20515,96	20484,14
20888,21	19765,39	20860,59	19934,55	19906,92	20515,96	20484,14
22452,39	21322,43	22417,62	21498,72	21463,96	22080,14	22041,17
22173,79	20863,20	22140,46	21220,12	21186,79	21801,54	21764,00
21523,73	20216,47	21493,73	20177,57	20147,57	21151,48	21117,28
21051,33	19863,22	21021,33	20006,38	19976,38	20980,29	20946,09
21445,41	20137,67	21414,93	20491,74	20461,26	21073,15	21038,48
20609,62	19306,17	20583,43	19263,46	19237,27	20237,37	20206,97
20795,35	19490,95	20768,20	19841,68	19814,54	20423,10	20391,75
21872,58	20681,14	21839,25	20827,63	20794,30	21801,54	21764,00
21895,20	20768,09	21863,29	20941,53	20909,62	21522,94	21486,84
20795,35	19490,95	20768,20	19449,19	19422,04	20423,10	20391,75
20609,62	19306,17	20583,43	19263,46	19237,27	20237,37	20206,97
20958,46	19770,83	20928,94	19913,51	19883,99	20887,42	20853,70
21802,33	20675,70	21770,90	20848,66	20817,23	21430,08	21394,45
20401,27	19216,50	20374,60	19356,32	19329,65	20330,23	20299,36
22188,33	20876,78	22154,04	21234,66	21200,37	21816,08	21777,59