

Maria Claudia Lima Couto
Liséte Celina Lange

Logística reversa de produtos pós-consumo:
modelo matemático para localização de instalações



Edifes

Vitória, 2023



Edifes

Editora do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Espírito Santo
R. Barão de Mauá, nº 30 – Jucutuquara
29040-689 – Vitória – ES
www.edifes.ifes.edu.br | editora@ifes.edu.br

Reitor: Jadir José Pela

Pró-Reitor de Administração e Orçamento: Lezi José Ferreira

Pró-Reitor de Desenvolvimento Institucional: Luciano de Oliveira Toledo

Pró-Reitora de Ensino: Adriana Pionttkovsky Barcellos

Pró-Reitor de Extensão: Lodovico Ortlieb Faria

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação: André Romero da Silva

Coordenador da Edifes: Adonai José Lacruz uz

Conselho Editorial

Aldo Rezende * Aline Freitas da Silva de Carvalho * Aparecida de Fátima Madella de Oliveira
* Eduardo Fausto Kuster Cid * Felipe Zamborlini Saiter * Gabriel Domingos Carvalho * Jamille
Locatelli * Marcio de Souza Bolzan * Mariella Berger Andrade * Ricardo Ramos Costa * Rosana
Vilarim da Silva * Rossanna dos Santos Santana Rubim * Viviane Bessa Lopes Alvarenga.

Produção editorial

Projeto Gráfico: Assessoria de Comunicação Social do Ifes

Revisão de texto: Carlos Otavio Flexa | MC&G Design Editorial

Diagramação e epub: Marie | MC&G Design Editorial

Capa: Glaucio Coelho | MC&G Design Editorial

Imagem de capa: Shutterstock sobre ilustração de Robson Araújo | MC&G Design Editorial

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C871 Couto, Maria Claudia Lima.
Logística reversa de produtos pós-consumo [recurso eletrônico] : modelo
matemático para localização de instalações / Maria Claudia Lima Couto e
Liséte Celina Lange. – Vitória, ES : Edifes, 2023.
1 recurso on-line : ePub ; il

ISBN: 978-85-8263-656-5 (e-book).

1. Logística – Modelos matemáticos. 2. Resíduos sólidos - Gestão. I. Lange,
Liséte Celina. II. Título.

CDD 658.8

Bibliotecária responsável: Rossanna dos Santos Santana Rubim – CRB6- ES 403

DOI: 10.36524/978858263656-5

Este livro foi avaliado e recomendado para publicação por pareceristas *ad hoc*.

Esta obra está licenciada com uma Licença Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Brasil



Agradecimentos

Agradecemos às nossas famílias por todo o apoio e incentivo, aos Professores Rodrigo de Alvarenga Rosa e Paula Rogéria Lima Couto que contribuíram com seus conhecimentos para o desenvolvimento deste estudo aqui publicado, ao CNPQ pelo apoio financeiro e ao Instituto Federal de Educação do Espírito Santo, que por meio da Edifes, permitiu que esta obra fosse publicada.

Prefácio

A publicação deste livro vem suprir uma lacuna na literatura técnica e científica sobre a inserção da Logística Reversa, de forma compartilhada, segundo a Política Nacional de Resíduos sólidos no Brasil, Lei n. 12305/2010, e Decreto n. 7404/2010, que definem a Logística Reversa como um instrumento econômico e social. Por meio desta, são instituídas regras específicas para o seu gerenciamento, que, por sua vez, estão atreladas à execução dos serviços de limpeza urbana, na responsabilidade do gerador e do Poder Público. Estas leis trazem regras detalhadas sobre o Sistema de Logística Reversa também previstas na Lei n. 9.264/2009, que instituiu a Política Estadual de Resíduos Sólidos no Espírito Santo.

No livro é apresentada uma ferramenta de gestão de resíduos sólidos, especificamente, três modelos matemáticos para implantação da Logística Reversa de embalagens pós-consumo presentes nos resíduos sólidos domiciliares, gerados no estado do Espírito Santo. Este trabalho visa também a mostrar o seu desenvolvimento e a disponibilizar seus resultados como estímulo e roteiro para implementação da Logística Reversa em outras localidades do Brasil e do Mundo. Para tanto, são apresentadas as construções e os resultados dos testes destes modelos matemáticos, denominados: Modelo Otimizado, Modelo Atual e Modelo Alternativo; tendo em vista equacionar e otimizar, principalmente, a alocação de Centros de Triagem e de Centrais de Valorização destes resíduos.

A construção conceitual do Modelo Otimizado parte da premissa que nós, consumidores, ao acondicionarmos em nossos domicílios de forma separada o “lixo seco” — aqui denominado materiais recicláveis — os depositemos em postos de entrega voluntária, instalados nas zonas urbanas dos municípios. Destes postos, os materiais serão recolhidos por veículos do sistema de coleta seletiva municipal até um Posto de Transbordo, previamente instalado na sede do município, denominado Ponto Gerador. Deste ponto, os materiais serão enviados para os Centros de Triagem, alocados pelos modelos matemáticos, onde será feita a separação dos materiais comercializáveis dos rejeitos. A seguir, estes materiais serão enviados para centrais de valorização, também alocados pelo modelo matemático, levando em consideração faixas de capacidades de produção

diferenciadas, onde poderão ser estocados por um período de tempo até atingirem grandes quantidades, gerando economia de escala, e assim, viabilizando técnica e economicamente a sua venda. Esta venda será feita por tipologias — determinadas por suas quantidades e qualidades — para as empresas recicladoras, também alocadas pelo modelo matemático.

Ressalta-se que as dinâmicas de funcionamento do Modelo Atual e do Modelo Alternativo, descritas anteriormente para o Modelo Otimizado, são semelhantes, uma vez que foram construídos e modelados a partir deste, com inserção de pequenas alterações, buscando simular situações existentes ou que possam vir a existir.

As alocações pelo Modelo Matemático Otimizado consistem em definir locais estratégicos e os melhores fluxos entre os nós da rede logística, constituídos pelas áreas candidatas a implantação dos centros de triagem e das centrais de valorização, aterros sanitários dos rejeitos, bem como das Empresas Recicladoras interessadas nos materiais disponibilizados. Quanto à localização dos postos de geração, é prevista uma única área na sede de cada município, previamente definida pela prefeitura.

Para a análise dos resultados obtidos pela aplicação dos modelos a problemas semelhantes, a forma criteriosa e detalhada aplicada no estudo de caso no Espírito Santo, é um excelente roteiro, o que facilita muito a interpretação dos resultados e a retroalimentação dos modelos. A partir dos resultados, com poucas atualizações nos dados e parâmetros de entrada nos modelos, tem-se uma ferramenta pronta para ser aplicada uma situação real nesse estado. Isto é possível, pois, neste livro são apresentados esclarecimentos sobre os conceitos básicos de gerenciamento e gestão de resíduos; sobre o estado da arte da Logística Reversa no Brasil e em outros países; sobre a construção dos Modelos Conceituais; e as equações representativas da modelagem matemática, com restrições e cenários; o que torna o estudo representativo e facilita a aplicação da Logística Reversa em outras tipologias de resíduos. Quanto aos dados e resultados, tem-se um roteiro de organização, apresentado tanto na forma de tabelas, gráficos de barra e estatísticos, como em esquemas, fluxogramas e mapas temáticos que, associados análise descritiva, em muito facilitam a interpretação e a análise conclusiva destes.

Além disso, na discussão dos resultados obtidos, sejam eles positivos ou negativos, são mostradas oportunidades de proposição de

melhorias para o sistema logístico estudado. Podemos dizer que este livro disponibiliza, em linguagem clara e concisa, um manual de projeto: ensina como construir, aplicar e analisar os resultados. Além do mais, este é um trabalho que busca convencer o leitor que a Logística Reversa — implantada e monitorada, através de modelos matemáticos de otimização — pode gerar retornos financeiros, sociais e ambientais.

É importante destacar que esta pesquisa, apesar de aplicada às embalagens pós-consumo e de ter como local de estudo de caso o Espírito Santo, pode ser aplicada em locais com características territoriais semelhantes, bem como a outros produtos pós-consumo (como eletroeletrônicos, medicamentos vencidos, pilhas e baterias, pneus, embalagens de produtos perigosos, dentre outros), desde que definidos os parâmetros de entrada e da verificação das restrições de contorno do modelo.

Este é um trabalho inédito para o Brasil, em especial para o estado do Espírito Santo, onde os três modelos foram aplicados em todos seus municípios com bastante representatividade das condições reais. Caso queira-se implantar os modelos desenvolvidos neste trabalho em municípios de outros estados ou em outros países, tem-se, tanto justificativa como o passo a passo para construção dos modelos conceituais e matemáticos.

Recomenda-se a leitura deste livro aos cidadãos, os consumidores/geradores de resíduos, bem como gestores e gerentes de entidades públicas e privadas, organizações governamentais e não governamentais, tal como organizações de catadores de resíduos recicláveis, empresas prestadoras de transporte e recicladoras, proprietários e gerentes de aterros sanitário. Recomenda-se também para estudantes, professores e profissionais das áreas Ambiental e Sanitária, Logística Aplicada e demais interessados.

Aproveitando a oportunidade e a honra de escrever este prefácio, peço aos leitores deste livro, seja quem for: não se esqueça de que você é um cidadão, um consumidor, e, portanto, é quem tem a maior responsabilidade, a de separar o material reciclável em seu domicílio e dispô-lo nos postos de entrega voluntária de sua cidade. Se possível, influencie outras pessoas para que façam o mesmo. Sem a sua participação e a de outras pessoas, a Logística Reversa Otimizada jamais será uma realidade. Se assim não o fizer, a realidade continuará sendo igual a atual descrita neste livro: embalagens

pós-consumo sendo dispostas em corpos d'água e matando a fauna, poluindo as ruas, indo para os aterros e tendo reduzida a vida útil dos aterros sanitários. Isto sem falar nos sistemas de coleta incipientes, que tem baixa produtividade e baixa capacidade de retorno para serem reciclados em empresas, cada vez mais exigentes, pois os custos de transporte e mão de obra são cada vez mais altos.

Resta dizer que autoras deste trabalho são referências em Resíduos nos estado de Minas Gerais e Espírito Santo. Têm conhecimentos complementares na gestão e gerenciamento em resíduos, nas áreas acadêmicas e profissionais, com experiências junto a setores públicos, privados e de ensino, além de terem publicado vários artigos em revistas científicas e livros, participarem de bancas examinadoras e apresentações de trabalhos em eventos. Dito isso, recomendo a leitura deste livro.

Professor Doutor Florindo dos Santos Braga

Professor aposentado de Resíduos Sólidos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo - Ufes

Lista de quadros, figuras e tabelas

Quadros

Quadro 1.1 - Leis federais que disciplinam a gestão de resíduos sólidos no Brasil	32
Quadro 1.2 - Atribuições na responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos	34
Quadro 1.3 - Informações sobre os Sistemas de Logística Reversa em operação no Brasil	36
Quadro 1.4 - Diferenças entre a logística de suprimento tradicional e a logística reversa	40
Quadro 1.5 - Organização logística de comercialização de materiais recicláveis	58
Quadro 1.6 - Tipos de reciclagem do plástico	66
Quadro 1.7 - Destinação do plástico reciclado por tipologia	66
Quadro 1.8 - Fatores impactantes na implementação e operacionalização de SLR	71
Quadro 1.9 - Desafios dos SLR no Brasil em relação aos aspectos legais e normativos	72
Quadro 1.10- Desafios dos SLR no Brasil em relação aos aspectos operacionais	73
Quadro 1.11- Desafios dos SLR no Brasil em relação aos aspectos sociais	74
Quadro 2.1 - Classificação dos problemas de localização de instalações	91
Quadro 2.2 - Resumo da literatura publicada que trata da infraestrutura necessária aos SLR	100
Quadro 2.3 - Parâmetros do modelo logístico otimizado	106
Quadro 2.4 - Novos parâmetros do modelo matemático atual	112
Quadro 4.1 - Condições operacionais considerados para a construção de cenários	172
Quadro 4.2 - Capacidades das instalações e CAC para os cenários analisados	174
Quadro 4.3 - Dados sobre o ATO 1 – Região norte do estado do Espírito Santo	186
Quadro 4.4 - Dados sobre o ATO 2 – Região leste do estado do Espírito Santo	187
Quadro 4.5 - Dados sobre o ATO 3 – Região oeste do estado do Espírito Santo	188
Quadro 4.6 - Dados sobre o ATO 4 – Região metropolitana do estado do Espírito Santo	189
Quadro 4.7 - Dados sobre o ATO 5 – Região sul do estado do Espírito Santo	190

Figuras

Figura 1.1	- Cadeia de suprimento em circuito fechado	41
Figura 1.2	- Fluxo da interação dos aspectos de gestão dos SLR	43
Figura 1.3	- Possíveis relações entre as etapas de SLR.....	44
Figura 1.4	- Inter-relação entre os atores que compõem os SLR no Brasil.....	44
Figura 1.5	- Massa coletada de RSD em relação à faixa da população urbana dos municípios.....	49
Figura 1.6	- Massa coletada de RSD em relação à população urbana dos municípios participantes do SNIS que utilizam balança, segundo faixa populacional	50
Figura 1.7	- Composição gravimétrica dos RSU no Brasil.....	52
Figura 1.8	- Composição gravimétrica encontrados na coleta seletiva de Vitória (ES)	54
Figura 1.9	- Fluxograma da cadeia de valor da reciclagem	56
Figura 1.10	- Índices de reciclagem do alumínio, papel e plástico.....	64
Figura 1.11	- Valores médios de venda do papel branco, papelão e embalagem longa vida pós-consumo	65
Figura 1.12	- Mercados consumidores do plástico reciclado em 2011 no Brasil	67
Figura 1.13	- Valores médios de venda do plástico rígido, plástico filme e PET para reciclagem.....	67
Figura 1.14	- Valores médios de venda do vidro incolor	69
Figura 1.15	- Valores médios de venda de latas aço e alumínio	70
Figura 2.1	- Processo de modelagem matemática	95
Figura 2.2	- Custos de distribuição em função do número de locais de armazenamento.....	96
Figura 2.3	- Esquema de Arranjos Territoriais Ótimos para SLR de embalagens pós-consumo	103
Figura 2.4	- Esquema do modelo logístico proposto Otimizado.....	104
Figura 2.5	- Esquema do modelo com beneficiamento nas CV	111
Figura 2.6	- Esquema do Modelo Atual.....	114
Figura 3.1	- Evolução da taxa média geométrica de crescimento anual do Espírito Santo e do Brasil (1940-2010)	133
Figura 3.2	- Divisão regional do Espírito Santo.....	134
Figura 3.3	- Participação percentual da população das microrregiões em relação ao estado do Espírito Santo em 2010	135
Figura 3.4	- Taxa média geométrica de crescimento anual para o Espírito Santo de 2010 a 2030	136

Figura 3.5	- Evolução da população das microrregiões de 1950 a 2030 – Cenário 1	137
Figura 3.6	- Regionalização do Projeto Espírito Santo Sem Lixão	138
Figura 3.7	- Crescimento populacional das microrregiões administrativas do Espírito Santo – Cenário 1	139
Figura 3.8	- Fontes dos materiais submetidos à triagem pelas associações de catadores no Espírito Santo	141
Figura 3.9	- Produtividade dos catadores por microrregião do Espírito Santo ...	143
Figura 3.10	- Renda média das associações de catadores no Espírito Santo.....	143
Figura 3.11	- Renda média dos catadores por microrregião do Espírito Santo.....	144
Figura 3.12	- Mapa de localização de possíveis empresas recicladoras de resíduos instaladas no Espírito Santo.....	146
Figura 3.13	- Mapa de localização dos nós da rede de logística reversa de embalagens pós-consumo no Espírito Santo	148
Figura 3.14	- Custo de disposição dos RSU em AS no Brasil e no Espírito Santo (2009-2014).....	151
Figura 3.15	- Materiais comercializados pelas OCMR no Espírito Santo	152
Figura 3.16	- Valores médios de venda dos papéis no Espírito Santo.....	153
Figura 3.17	- Valores de venda dos papéis recicláveis por Macrorregião do Espírito Santo.....	154
Figura 3.18	- Valores médios de venda dos plásticos recicláveis no Espírito Santo	155
Figura 3.19	- Valores de venda dos plásticos recicláveis por Macrorregião do Espírito Santo	156
Figura 3.20	- Valores médios de venda dos metais recicláveis no Espírito Santo	157
Figura 3.21	- Valores de venda dos metais recicláveis por Macrorregião do Espírito Santo	158
Figura 3.22	- Valores médios de venda dos vidros recicláveis no Espírito Santo	159
Figura 4.1	- Variação dos custos e receitas no Modelo Otimizado para o SLR de embalagens	177
Figura 4.2	- Custos totais e receitas obtidas com a comercialização de materiais reciclados.....	177
Figura 4.3	- Distribuição dos custos nos cenários – Modelo Otimizado	178
Figura 4.4	- Quantidade de CT e CV alocados nos cenários – Modelo Otimizado	179
Figura 4.5	- Número de postos de trabalho nos CT e CV alocados – Modelo Otimizado	180
Figura 4.6	- Capacidade operacional dos CT alocados – Modelo Otimizado.....	181

Figura 4.7 - Capacidade operacional das CV alocadas - Modelo Otimizado	181
Figura 4.8 - Distribuição das embalagens recicláveis nas CV alocadas - Modelo Otimizado	183
Figura 4.9 - Capacidades operacionais das CV alocados no Cenário 3 - 20 % - Modelo Otimizado	183
Figura 4.10 - Arranjo territorial ótimo para SLR de embalagens no Espírito Santo - Modelo Otimizado	185
Figura 4.11 - ATO 1 - Região Norte do estado do Espírito Santo	186
Figura 4.12 - ATO 2 - Região leste do estado do Espírito Santo	187
Figura 4.13 - ATO 3 - Região oeste do estado do Espírito Santo	188
Figura 4.14 - ATO 4 - Região metropolitana do estado do Espírito Santo	189
Figura 4.15 - ATO 5 - Região sul do estado do Espírito Santo	190
Figura 4.16 - Oferta de materiais recicláveis para os polos industriais do Espírito Santo - Modelo Otimizado.....	191
Figura 4.17 - Variação dos custos e receitas no Modelo Alternativo para o SLR de embalagens	193
Figura 4.18 - Custos totais e receitas obtidas com a comercialização de materiais reciclados.....	194
Figura 4.19 - Distribuição dos custos nos cenários - Modelo Alternativo	195
Figura 4.20 - Quantidade de CT e CV alocados nos cenários - Modelo Alternativo.....	195
Figura 4.21 - Número total de catadores alocados nos CT e CV	196
Figura 4.22 - Capacidade operacional dos CT alocados - Modelo Alternativo.....	197
Figura 4.23 - Capacidade operacional das CV alocadas - Modelo Alternativo.....	197
Figura 4.24 - Distribuição das embalagens recicláveis nas CV - Modelo Alternativo.....	198
Figura 4.25 - Capacidades operacionais dos CT alocados no Cenário 3 - 20 % - Modelo Alternativo.....	199
Figura 4.26 - Variação dos custos e receitas no Modelo Atual para o SLR de embalagens.....	201
Figura 4.27 - Custos e receitas obtidas com a comercialização de materiais reciclados	201
Figura 4.28 - Distribuição dos custos nos cenários analisados.....	202
Figura 4.29 - Quantidade de CT e CV alocados nos cenários - Modelo Atual.....	203
Figura 4.30 - Número total de catadores alocados nos CT e CV	203
Figura 4.31 - Variação da taxa Receita/Custo para os modelos e cenários analisados - Taxa de retorno de 20 %.....	204
Figura 4.32 - Variação do número de postos de trabalho para os modelos e cenários analisados - Taxa de retorno de 20 %.....	205

Figura 4.33	- Comparação entre cenários quanto às melhorias no processo produtivo	207
Figura 4.34	- Comparação entre cenários quanto às melhorias no transporte de PG até CT	208
Figura 4.35	- Comparação entre os cenários quanto às melhorias no preço de comercialização – Modelo Otimizado	209
Figura 4.36	- Comparação entre os cenários quanto às melhorias no preço de comercialização – Modelo Alternativo	210

Tabelas

Tabela 1.1	- Faixas populacionais dos municípios participantes do SNIS, segundo a população total.....	48
Tabela 1.2	- Percentual de municípios que possuem balança por faixa populacional.....	49
Tabela 1.3	- Evolução das taxas da massa coletada de RSD em relação à população urbana dos municípios participantes do SNIS, que utilizam balança.....	51
Tabela 1.4	- Composição gravimétrica de RSD no Espírito Santo	53
Tabela 1.5	- Composição gravimétrica da coleta seletiva em Vitória (ES).....	54
Tabela 1.6	- Eficiência física e econômica de organizações associativas de catadores	60
Tabela 1.7	- Custo de Implantação de Centrais de Triagem de Resíduos	61
Tabela 1.8	- Custo de operação de Centrais de Triagem de Resíduos.....	61
Tabela 1.9	- Valores médios de venda do papel e embalagem longa-vida (2009-2015)	65
Tabela 1.10	- Valores médios de venda de plástico (2009-2015)	68
Tabela 1.11	- Valores médios de venda de vidros (2009-2015)	69
Tabela 1.12	- Valores de venda das latas de aço e latas de alumínio (2009-2015).....	70
Tabela 3.1	- Taxa de geração per capita por faixa populacional	126
Tabela 3.2	- Composição gravimétrica dos materiais recicláveis utilizada na aplicação do modelo matemático	126
Tabela 3.3	- Base de dados consultadas sobre empresas recicladoras no Espírito Santo.....	129
Tabela 3.4	- Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) de 2008 a 2015	130
Tabela 3.5	- Índice Nacional de custos de transporte de carga lotação - Dez 2015.....	131
Tabela 3.6	- Estimativa de geração de embalagens por região administrativa do Espírito Santo em 2015	140

Tabela 3.7	- Informações sobre as organizações de catadores de materiais recicláveis do Espírito Santo.....	141
Tabela 3.8	- Renda e produtividade das organizações associativas de catadores do Espírito Santo.....	142
Tabela 3.9	- Custos de instalação e operação dos CT e das CV.....	149
Tabela 3.10	- Valores contratuais para disposição de RSU em aterros sanitários no Brasil.....	150
Tabela 3.11	- Valores contratuais para disposição de RSU em aterros sanitários no Espírito Santo.....	150
Tabela 3.12	- Distribuição em peso dos materiais submetidos à triagem pelas OCMR dos Espírito Santo.....	152
Tabela 3.13	- Valores médios de venda dos Papéis recicláveis no Espírito Santo (R\$/t).....	153
Tabela 3.14	- Valores médios de venda dos plásticos recicláveis no Espírito Santo.....	155
Tabela 3.15	- Valores médios de venda dos metais recicláveis no Espírito Santo.....	156
Tabela 3.16	- Valores médios de venda dos vidros recicláveis no Espírito Santo.....	158
Tabela 4.1	- Resultados dos cenários analisados – Modelo Otimizado.....	175
Tabela 4.2	- Resultados dos cenários analisados – Modelo Alternativo.....	192
Tabela 4.3	- Resultados dos cenários analisados – Modelo Atual.....	200

Lista de abreviaturas e siglas

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ADERES – Agência de Desenvolvimento do estado do Espírito Santo
- AS – Aterro Sanitário
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
- ATOS – Arranjos Territoriais Ótimos
- CAC – Coeficiente de Acréscimo de Cubagem
- CEMPRE – Compromisso Empresarial para a Reciclagem
- COGERES – Comitê Gestor de Resíduos Sólidos do Espírito Santo
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
- CT – Centro de Triagem
- CTDR – Centrais de Tratamento e de Destinação de RSU
- CV – Central de Valorização
- ER – Empresa Recicladora
- ES – Espírito Santo
- ET – Estações de Transbordo
- EVTE – Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica
- IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IDE – Integrated Development Environment
- IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo
- INCT-L – Índice Nacional de Custos de Transporte de Carga Lotação
- INPEV – Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias
- INSS – Instituto Nacional do Seguro Social
- IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
- LAGESA – Laboratório de Gestão do Saneamento Ambiental
- LI – Licença de Instalação
- LP – Licença Prévia
- LO – Licença de Operação
- LR – Logística Reversa
- MASP – Metodologia da Análise e Solução de Problemas
- MMA – Ministério do Meio-Ambiente

MCidades – Ministério das Cidades
NTC – Associação Nacional do Transporte de Cargas e Logística
OCMR – Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis
OLUC – Óleos Lubrificantes Usados e/ou Contaminados
PEAD – Polietileno de Alta Densidade
PEBD – Polietileno de Baixa Densidade
PET – Polietileno tereftalato
PERS – Política Estadual de Resíduos Sólidos
PEV – Ponto Entrega Voluntária
PG – Ponto de Geração
PLANARES – Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PLIM – Programação Linear Inteira Mista
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
PO – Pesquisa Operacional
REEE – Resíduos de Equipamento Elétricos e Eletroeletrônicos
RL – Rede Logística
RMGV – Região Metropolitana da Grande Vitória
RS – Resíduos Sólidos
RSD – Resíduos Sólidos Domiciliares
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
SINDICOM – Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes
SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente
SLR – Sistemas de Logística Reversa
SMCS – Sistemas Municipais de Coleta Seletiva
SNIS – Sistema Nacional sobre Saneamento
SNSA – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
TGP – Taxa de Geração Per Capita
TMGCA – Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual
UFES – Universidade Federal do Espírito Santo
UT – Unidades de Triagem
UTM – Universal Transversa de Mercator
WGS – World Geodetic System

Sumário

Apresentação.....	20
Introdução.....	23
1 A problemática da logística reversa de bens pós-consumo	23
2 Questões orientadoras e objetivos.....	25
3 Metodologia	27
Capítulo 1	
Sistemas de logística reversa no Brasil.....	29
Introdução.....	29
1 Metodologia	30
2 Histórico da Logística Reversa no Brasil.....	31
3 Elementos Estruturais e Estruturantes dos Sistemas de Logística Reversa	37
4 Componentes do Sistema de Logística Reversa de Embalagens Pós-Consumo.....	48
5 Geração de embalagens pós-consumo	52
6 Centrais de triagem de resíduos - organizações de catadores de materiais recicláveis.....	55
7 Desafios na implementação dos sistemas de logística reversa	71
Conclusões	74
Referências	76
Capítulo 2	
Pesquisa operacional aplicada à logística reversa.....	85

Introdução	85
1 Metodologia	87
2 Construção do modelo conceitual	87
3 Desenvolvimento do modelo matemático	87
4 Desenvolvimento no Solver.....	88
5 Problemas de Localização de Instalações	88
6 Pesquisa Operacional Aplicada à Localização de Instalações de Logística Reversa	93
7 Modelo conceitual para fluxos reversos de materiais pós-consumo	102
8 Modelos matemáticos	106
9 Modelo otimizado com beneficiamento nas CV.....	110
10 Modelo atual	113
Conclusões	115
Referências	117

Capítulo 3

Obtenção de dados para a modelagem matemática: estudo de caso – Espírito Santo/Brasil	123
Introdução	123
1 Metodologia	124
2 Estimativa de geração de embalagens pós-consumo.....	139
3 Levantamento sobre os nós da rede logística.....	140
Conclusões	160
Referências	163

Capítulo 4

Aplicação dos modelos matemáticos.....	169
Introdução	169
1 Metodologia	170
2 Modelo Otimizado.....	175
3 Modelo Alternativo	191
4 Modelo Atual.....	199
5 Resumo da comparação entre os modelos.....	204
6 Análise de Sensibilidade.....	206

7 Limitações da modelagem matemática	210
Conclusões	211
Referências	214

Capítulo 5

Discussões gerais e conclusões finais	215
Introdução	215
Discussões Gerais	216
Conclusões Finais	226
Trabalhos futuros.....	228
Referências	230

Sobre as autoras	232
Maria Claudia Lima Couto	232
Liséte Celina Lange.....	232

Apresentação

Por Maria Claudia Lima Couto

O crescimento acelerado do consumo tem levado ao aumento do descarte de produtos no final de vida útil e das embalagens que os acondicionam. A destinação final dessas embalagens e dos produtos pós-consumo geram custos que, na grande maioria dos casos são arcados pelo poder público municipal, responsável legal pelo gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil.

As questões relacionadas à gestão e ao gerenciamento adequado dos Resíduos Sólidos (RS) têm se tornado, cada vez mais, objeto de estudos científicos bem como de políticas públicas em quase todo o mundo. De maneira complementar, com as exigências cada vez mais crescentes dos consumidores e do poder público, aumentam as pressões sobre os fabricantes e os importadores para a redução da quantidade de resíduos de embalagens e para a necessidade de que suas responsabilidades sejam estendidas para os produtos no final da sua vida útil.

Visando a redução dos custos para os setores públicos muitos países têm adotado a obrigatoriedade da responsabilidade estendida para os fabricantes e importadores por meio da Logística Reversa (LR). Conceitualmente, a LR inclui questões relacionadas ao processo de planejamento, implementação e controle eficiente e eficaz do fluxo de entrada e armazenamento de bens secundários e de informações, nas cadeias de suprimentos inversas às tradicionais. Tem a finalidade de recuperar valor e propiciar a destinação adequada para produtos pós-venda, pós-consumo e embalagens, desde as fases de produção, distribuição e consumo.

Na legislação brasileira, Lei n. 12.305/2010, que instituiu no Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a responsabilidade

de implantar a LR pós-consumo é compartilhada entre os elos da cadeia de suprimento, consumidores e poder público. Sendo atribuído ao setor produtivo o dever de gerenciar e custear a destinação adequada.

Segundo a Lei n. 12.305/2010, a LR é um instrumento de desenvolvimento econômico e social, caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios, destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos RS ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu próprio ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação ambientalmente adequada.

A LR apresenta benefícios ambientais e econômicos, pois reduz as demandas por matérias-primas virgens, além de aumentar o potencial de reciclagem, uma vez que o material coletado seletivamente tem maior valor agregado no mercado de reciclagem. Além disso, existem ainda alguns fatores que fazem com que o tema esteja cada vez mais em evidência, como a evolução da legislação, impondo obrigatoriedades a fabricantes e importadores, a busca pela melhoria na imagem das empresas e as pressões de competitividade do mercado.

No entanto, ainda existe o desinteresse e a dificuldade de uma parte do setor produtivo em implantar a LR, pois essa atividade é vista como sendo de alto custo, apresentando restrições logísticas diferentes da logística de suprimento tradicional. Além disso, verifica-se a dificuldade de as empresas em medirem o impacto efetivo do retorno do produto, visto que, na maioria das vezes, o produto não é inserido no mesmo processo industrial.

Neste livro é realizada uma ampla revisão de literatura sobre SLR em relação aos aspectos legais e normativos, elementos estruturais e estruturantes com ênfase na LR de embalagens pós-consumo. O tema central do livro foi objeto de uma tese de doutorado onde foi desenvolvido um modelo matemático de localização de instalações destinadas à logística reversa de embalagens pós-consumo, com alocação de Centros de Triagem (CT) e Centrais de Valorização (CV) com a finalidade de formar Arranjos Territoriais Ótimos (ATOS) que permitam a incorporação de municípios de pequeno e médio porte. O problema de otimização gerado objetivou alocar os CT e as CV estratégicas e os melhores fluxos entre os nós da rede logística, de forma a minimizar os custos e maximizar as receitas obtidas com a comercialização dos materiais recicláveis. O modelo foi aplicado ao caso do estado do Espírito

Santo, localizado na região Sudeste do Brasil, utilizando dados reais obtidos em pesquisa de campo.

A obra é apresentada em cinco capítulos, sendo Capítulo 1 elaborado como o objetivo de apresentar as principais questões relacionadas à Logística reversa de bens pós-consumo. Também é apresentada uma descrição do cenário brasileiro em relação ao tema e os desafios para sua implantação em relação a aspectos normativos e legais, aspectos operacionais e aspectos sociais.

No Capítulo 2 é apresentada uma breve revisão de literatura sobre a resolução de problemas de localização de instalações e um modelo conceitual e matemática para Sistemas de Logística Reversa de embalagens pós-consumo. A modelagem matemática foi desenvolvida utilizando Programação Linear Inteira Mista.

No Capítulo 3 são apresentados os parâmetros do modelo matemático, tendo como estudo de caso o estado do Espírito Santo. O objetivo desse capítulo é apresentar os dados coletados em pesquisa de campo, os quais são as bases para os parâmetros de entrada do modelo matemático discutido no Capítulo 2. Foram mostrados os dados sobre a geração de embalagens pós-consumo, custos logísticos envolvendo os custos de instalação e de operação dos Centros de Triagem e Centrais de Valorização, os custos de transporte, e os custos de disposição final dos rejeitos, bem como das receitas auferidas com a comercialização dos materiais recicláveis.

O Capítulo 4 trata da aplicação dos modelos matemáticos, em que são apresentados os resultados obtidos no desenvolvimento do modelo matemático apresentado no Capítulo 2, utilizando os dados apresentados no Capítulo 3. São apresentados os resultados dos modelos denominados Otimizado, Alternativo e Atual. Também são apresentados e discutidos os cenários que permitiram realizar análises de sensibilidade dos modelos.

Encerrando a obra temos o Capítulo 5, de discussões gerais, e de considerações finais, em que são apontados os principais resultados obtidos no trabalho e a avaliação geral do estudo. São indicadas também recomendações para estudos futuros na área de Logística Reversa que possam contribuir para sua efetiva implementação no Brasil.

Introdução

1 A problemática da logística reversa de produtos pós-consumo

As questões relacionadas à gestão e ao gerenciamento adequado dos Resíduos Sólidos (RS) têm se tornado, cada vez mais, objeto de estudos científicos, bem como de políticas públicas, em quase todo o mundo. De maneira complementar, com as exigências cada vez mais crescentes dos consumidores e do poder público, aumentam as pressões sobre os fabricantes e os importadores para a redução da quantidade de resíduos de embalagens e para a necessidade de que suas responsabilidades sejam estendidas para os produtos no final da sua vida útil.

A Logística Reversa (LR) inclui questões relacionadas ao processo de planejamento, implementação e controle eficiente e eficaz do fluxo de entrada e armazenamento de bens secundários e de informações, nas cadeias de suprimentos inversas às tradicionais. Tem a finalidade de recuperar valor e propiciar a destinação adequada para produtos pós-venda, pós-consumo e embalagens, desde as fases de produção, distribuição e consumo (FLEISCHMANN *et al.*, 2001; TIBBEN-LEMBKE; ROGERS, 2002; RUBIO *et al.*, 2008).

No Brasil, a PNRS, Lei n. 12.305/2010, passou a exigir dos setores produtivos a implantação de Sistema de Logística Reversa (SLR) para alguns produtos. A partir dos novos conceitos contidos nessa lei, inicia-se um novo ciclo de discussões visando à estruturação de SLR, com a necessidade de incorporação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, com atribuições individualizadas e encadeadas entre todos os elos da cadeia

produtiva, bem como com responsabilidades para o consumidor e o poder público.

Por outro lado, a Lei n. 12.305/2010 traz um importante conceito de que visa a ampliar a economia de escala no gerenciamento dos resíduos sólidos por meio de consórcios públicos, com intuito de juntar municípios, principalmente de pequeno e médio porte, garantindo uma quantidade maior de resíduos e, assim diluindo os custos fixos dos sistemas de coleta, transporte e destinação final. Esses consórcios, por sua vez, podem ser constituídos através da conformação de Arranjos Territoriais Ótimos (ATOS).

O conceito de ATOS pode ser aplicado em outras áreas relacionadas aos RS, mesmo que a gestão e operação estejam a cargo do setor empresarial, como os SLR, com o objetivo de ganho de escala.

Portanto, os ATOS relativos à SLR poderão ser uma parte da área de um município grande, ou a área formada por vários municípios pequenos e médios, que produzam resíduos sólidos com potencial de reciclagem, em escala suficiente que possa viabilizar economicamente instalações de Centros de Triagem (CT) e Centrais de Valorização (CV).

Nos modelos propostos, fazem parte dos ATOS os Pontos de Geração (PG) representados pelas sedes municipais, os CT, onde as embalagens passam por triagem e são prensadas, as CV, para onde os materiais são encaminhados depois de saírem dos CT e ficam armazenados temporariamente para aguardar uma oportunidade de comercialização ou recebendo beneficiamento primário. Após saírem das CV os materiais são comercializados junto às Empresas Recicladoras (ER). Os rejeitos do sistema são encaminhados para Aterros Sanitários (AS).

Neste estudo, a modelagem matemática é realizada visando melhorar o retorno financeiro de SLR e garantindo a abrangência de 100 % dos municípios. O modelo foi aplicado às embalagens pós-consumo, pois o SLR de embalagens é obrigatório em muitos países, e estes materiais impactam diretamente a população, além de trazerem prejuízos ambientais, econômico e de saúde pública pela sua disposição inadequada. Além disso, as embalagens compõem uma grande parcela de RSU secos, e a base de dados disponível permitiu uma avaliação detalhada do modelo.

O objetivo desse modelo logístico é definir a localização dos CT e das CV, bem como determinar os melhores fluxos entre os nós da

rede. Desta forma, o modelo busca minimizar os custos de implantação, de operação e de transporte, além de maximizar as receitas obtidas com a venda dos materiais para as ER. A partir destas alocações, são definidos ATOS para SLR e também a indicação de polos industriais atrativos para indústrias recicladoras se instalem para atender a este novo mercado.

O modelo logístico é um modelo matemático de otimização, cuja abordagem de resolução é a Programação Linear Inteira Mista (PLIM). O modelo é resolvido computacionalmente utilizando o solver IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio* (IBM, 2015). Para avaliar o modelo desenvolvido, foi realizada uma pesquisa de campo, no Espírito Santo. Para avaliar a sensibilidade do modelo, foram construídos cenários considerando condicionantes do modelo e hipóteses, em termos de participação da população e condições operacionais do sistema.

Os resultados deste estudo podem subsidiar as empresas e os órgãos governamentais sobre os parâmetros que influenciam a sustentabilidade de SLR de produtos pós-consumo, fornecendo uma metodologia para tomada de decisão sobre a localização destas instalações e os melhores fluxos reversos, com a inclusão social de catadores e atendendo à população de municípios de pequeno e médio porte e não apenas às dos grandes centros urbanos.

A partir dos cenários construídos para o modelo, estratégias de priorização de ações podem ser definidas com base em critérios científicos, como a melhoria operacional das instalações, transporte e investimentos para ampliar a participação da população. O estudo contribui também implementação para políticas de incentivo à instalação de indústrias recicladoras, indicando locais mais atrativos logisticamente.

2 Questões orientadoras e objetivos

Ao longo dos últimos anos, um número considerável de estudos relacionados aos Sistemas de Logística Reversa (SLR) foi publicado. As publicações são mais frequentemente encontradas em periódicos referentes às áreas de administração, engenharia de produção e de matemática aplicada. As metodologias utilizadas geralmente são pesquisas qualitativas exploratórias, principalmente com abordagem em revisões teóricas e estudos de caso. As interfaces com

as questões ambientais são pouco exploradas ou não consideradas, deixando uma lacuna importante que necessita ser analisada e incorporada a estes sistemas.

As pesquisas realizadas sobre os SLR buscam fornecer soluções práticas para as empresas no enfrentamento dos desafios na implementação de fluxos reversos. Pesquisadores têm investigado os fluxos em termos de transporte, armazenamento, gestão de estoques, reparação, reutilização e reciclagem. Entretanto, poucos estudos têm sido realizados em estruturas de governança das cadeias de suprimentos, necessárias para gerir os novos SLR para a reutilização, reciclagem e reparação de produtos (AITKEN; HARRISON, 2013).

Ao se analisar os dados disponibilizados pelos setores produtivos que gerenciam os SLR de pneus, embalagens de agrotóxicos, óleos lubrificantes usados e contaminados e pilhas e baterias, que já se encontram em operação no Brasil, observou-se que apresentam altos valores de eficiência quanto ao retorno dos produtos pós-consumo.

Ainda assim, os mesmos sistemas mostram baixas taxas em relação à quantidade de municípios atendidos pelos SLR. Tais constatações são decorrentes da conformação geográfica dos SLR, os quais concentram os pontos fixos de recebimento em municípios com população mais representativa e com maior adensamento populacional.

Diante desse cenário, a contribuição da Tese que originou este livro é o desenvolvimento de um modelo logístico para localização de CT e CV necessários à implantação de SLR de embalagens em ATOS, que necessariamente incorporem os municípios de pequeno porte e otimizem os custos dos SLR e a receita auferida com a comercialização dos materiais recicláveis. Além da indicação dos ATOS a partir das alocações de CT e CV, o modelo indica o fluxo entre as instalações, a capacidade de alocação de postos de trabalhos e os polos industriais mais atrativos para a localização de indústrias recicladoras.

2.1 Objetivo geral

Desenvolver um modelo logístico para a localização de Centros de Triagem (CT) e Centrais de Valorização (CV) como parte integrante de Sistemas de Logística Reversa (SLR) de embalagens pós-consumo visando à organização de municípios em Arranjos Territoriais Ótimos (ATOS).

2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver um modelo conceitual para o SLR com a indicação das características dos Centros de Triagem (CT) e Centrais de Valorização (CV) e dos fluxos entre os nós da rede logística;
- Desenvolver uma modelagem matemática com indicação da função objetivo e restrições de contorno de forma a representar o modelo conceitual proposto;
- Validar o modelo logístico desenvolvido utilizando dados obtidos em pesquisa de campo no Espírito Santo;
- Avaliar a sensibilidade do modelo a partir da construção de cenários.

3 Metodologia

O trabalho foi desenvolvido em quatro etapas metodológicas visando responder aos objetivos estabelecidos:

► **Etapla 1 - Pesquisa bibliográfica e documental**

Essa etapa foi dividida em duas fases. A Fase 1 teve como objetivo organizar informações referentes aos Sistemas de Logística Reversa (SLR) de embalagens e de produtos pós-consumo que se encontram em fase de operação e implantação no Brasil, considerando os aspectos técnicos, ambientais, econômicos e sociais. A Fase 2 teve como objetivo levantar os dados sobre os aspectos relacionados à logística reversa de embalagens pós-consumo.

► **Etapla 2 - Construção de modelos matemáticos**

Nessa etapa foram construídos modelos matemáticos para a localização de instalações destinadas à Logística Reversa (LR) de embalagem pós-consumo, sendo constituída por três fases. Na Fase 1, foi desenvolvido um modelo conceitual com a descrição dos princípios norteadores do modelo e a apresentação das variáveis-chave.

Na Fase 2, foram desenvolvidos modelos matemáticos, onde os aspectos considerados relevantes na composição de custos para os SLR de embalagens são descritos de forma matemática, bem como as restrições que devem ser atendidas. A modelagem matemática foi desenvolvida utilizando a Programação Linear Inteira Mista (PLIM).

► **Etapla 3 - Coleta de dados de campo – Estudo de caso: estado do Espírito Santo**

Essa Etapa consiste na coleta de dados utilizados como parâmetros de entrada para o modelo matemático, sendo composta por

cinco Fases. Na Fase 1 foi realizada uma estimativa de geração de embalagens pós-consumo. Na Fase 2 foram calculados os custos fixos de instalação e de operação dos CT e CV. Na Fase 3 foram calculadas as distâncias e custos de transporte entre os nós da rede. Na Fase 4 foram levantados os dados sobre as empresas recicladoras e sobre os aterros sanitários. Na Fase 5 foram levantados os dados sobre os custos logísticos e na Fase 6 as receitas previstas com a venda dos materiais recicláveis.

► **Etapa 4 - Aplicação dos modelos matemáticos**

Nessa Etapa, composta por três fases, foi realizada a aplicação dos modelos matemáticos utilizando os dados de campo como parâmetros do modelo. Na Fase 1 os modelos matemáticos foram implementados no *solver* IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio* (IBM, 2015).

Na Fase 2 foi realizado o desenvolvimento do Modelo Otimizado, Alternativo e Atual utilizando os dados de campo. Na Fase 3, foi realizada uma análise de sensibilidade do modelo por meio de construção de cenário. Estes foram construídos com base na variação da taxa de retorno das embalagens por parte da população e em aspectos operacionais do sistema. Estes foram denominados como: Cenário Conservador, Cenário Pessimista e Cenário Otimista para cada parâmetro analisado.

Capítulo 1

Sistemas de logística reversa no Brasil

Introdução

A responsabilidade estendida de fabricantes e importadores em relação aos produtos após sua vida útil e suas embalagens está se tornando cada vez mais comum em todo o mundo, e o rigor das legislações ambientais tem impulsionado as ações de concretização dos Sistemas de Logística Reversa (SLR). Kizilboga *et al.* (2013) apontam que processos de Logística Reversa (LR) também podem gerar impactos negativos, tanto econômicos como ambientais, pois requerem o consumo de energia, mesmo que reduzam o uso de matérias-primas. As motivações para realização da LR por parte das empresas, em geral, estão fundamentadas em três eixos: ambiental, financeiro e legal.

A motivação ambiental surge principalmente quando se observa uma vantagem competitiva através da criação de uma “imagem verde” para os produtos e serviços que são oferecidos ao mercado (SROUFE *et al.*, 2000; KLASSEN, 2000). Nesse sentido, alguns produtores mantêm a linha verde em seu processo a fim de satisfazer a expectativa dos clientes. Esses clientes esperam cada vez mais que as empresas reduzam o impacto ambiental de suas atividades e produtos. Portanto, uma imagem “verde” tornou-se um elemento de *marketing* importante (FLEISCHMANN *et al.*, 2001).

O fator econômico da LR refere-se aos lucros de ações de recuperação de produtos ou parte dele, que proporcionam a redução de custos, decréscimo no uso de materiais e economia com peças de reposição. Há uma motivação financeira para atividades de reutilização, quando, por exemplo, um equipamento chega a uma empresa no final da sua vida útil e suas peças podem ser usadas como peças

sobressalentes ou vendidas em mercado secundário, a um percentual do custo do uso de produtos originais na sua reparação (GARCÍA-RODRÍGUEZ *et al.*, 2013).

A legislação existente também tem impulsionado o desenvolvimento de SLR, tanto na Europa como no Brasil, levando os setores produtivos a reverem os ciclos de vida de seus produtos e estruturarem SLR. Esse tipo de motivação, em geral, pode levar à operacionalização cooperada entre diferentes elos da cadeia produtiva. A LR é, portanto, importante como estratégia de negócios sustentáveis e lucrativos. No entanto, existem diversos fatores críticos, internos e externos, que afetam suas atividades inerentes (BARROSO; MACHADO, 2005; GONÇALVES-DIAS *et al.*, 2012; ABDULRAHMANA *et al.*, 2014).

Portanto, este capítulo tem como objetivo analisar o cenário nacional sobre os SLR em fase de operação e de implantação no Brasil e suas perceptivas. Para tanto foram analisados os Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE) elaborados para subsidiar os acordos setoriais para a implantação de SLR a partir da Lei n. 12.305/2010.

Foi realizado um levantamento de dados sobre a infraestrutura existente no Brasil para reciclagem e tratamento de resíduos e disposição final de rejeitos de forma a possibilitar descrever as relações entre os atores responsáveis pelos SLR e os desafios para a implantação dos SLR no Brasil.

1 Metodologia

A metodologia adotada nessa etapa do estudo foi a pesquisa documental. A partir do trabalho dessa etapa foi possível desenhar os diferentes fluxos dos produtos e embalagens pós-consumo, bem como os fluxos de informações e de recursos. Dessa forma, possibilitou o entendimento de como essas relações ocorrem na prática e como são delineadas pela nova legislação brasileira.

Os dados foram obtidos a partir de relatórios técnicos de órgãos governamentais sobre os SLR já implantados e em operação no Brasil, de EVTE elaborados para subsidiar a implantação de novos SLR, de editais de chamamento do Governo Federal para a construção de acordos setoriais com o setor produtivo, bem como de acordos setoriais já firmados.

Foram também utilizados dados constantes dos relatórios técnicos e informações disponibilizadas pelas associações das empresas de pneus inservíveis, embalagens de agrotóxicos, Óleos Lubrificantes Usados e Contaminados (Oluc) e pilhas, que realizam a logística reversa de forma obrigatória, por força de resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

2 Histórico da Logística Reversa no Brasil

A responsabilidade estendida ao fabricante e importador está se tornando cada vez mais comum em todo o mundo. A mais antiga referência localizada na literatura internacional sobre logística reversa, data do início dos anos setenta (GONÇALVES-DIAS *et al.*, 2008). A literatura revisada mostra que o conceito de logística reversa ganhou força a partir da década de 1980, mas apenas a partir dos anos 1990 passou a ser discutida com mais intensidade, quando passou a ser implementada. Entretanto, apenas a partir de 1995 surgem os primeiros trabalhos focando a relação entre logística reversa e questões socioambientais (RUBIO *et al.*, 2008).

A LR obrigatória surgiu na década de 1990 na Europa e nos EUA simultaneamente. Nos EUA, foi impulsionada pela consciência ambiental dos consumidores que queriam a reciclagem de embalagens e de produtos em fim de vida, enquanto na Europa a LR surgiu por causa de restrições das regulamentações (LAMERT; RIOPEL, 2003).

No setor de eletroeletrônicos, por exemplo, nos EUA, em províncias Canadenses, na União Europeia e no Japão, foram aprovados regulamentos que exigem que os fabricantes de equipamentos garantam a eliminação ambientalmente segura de seus produtos em fim de vida. E a fim de cumprir com a legislação ambiental, as empresas se veem diante do desafio de desenvolver as suas capacidades para implantação da logística reversa (ALUMUR *et al.*, 2012).

Fleischmann *et al.* (1997) apresentam uma revisão de literatura sobre a gestão do fluxo de LR nos campos de planejamento de distribuição, controle de estoque e planejamento de produção, onde são discutidas as implicações dos esforços emergentes de reutilização e modelos matemáticos, apontando áreas que necessitam de mais pesquisas.

Os estudos realizados sobre os SLR fornecem, na sua grande maioria, soluções práticas para as empresas no enfrentamento dos

desafios da realização de fluxos reversos e destacam os ganhos econômicos e ambientais advindos dessa prática.

No Brasil, a primeira legislação na esfera federal que abordou especificamente o tema da logística reversa foi a Lei n. 7.802, de 11 de julho de 1989, que trata das embalagens de agrotóxicos (BRASIL, 1989). Até 2010, a logística reversa só se tornou obrigatória, por meio de resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), para Óleos Lubrificantes Usados e Contaminados (OLUC) (BRASIL, 2005a; 2012a), pilhas e baterias (BRASIL, 2008) e pneumáticos (BRASIL, 2009). Havia, portanto, a carência de uma legislação nacional que oferecesse o respaldo jurídico necessário para o desenvolvimento de uma infraestrutura abrangente, com definição de responsabilidades quanto à gestão desses sistemas.

A partir da publicação da Lei n. 12.305/2010 e do Decreto n. 7.404/2010 a LR se tornou obrigatória também para embalagens dos óleos lubrificantes, lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista e produtos eletroeletrônicos e seus componentes (BRASIL, 2010a; 2010b). Entretanto, a implementação destes novos SLR ocorrem por meio de acordos setoriais, termos de compromisso e decretos federais. No âmbito estadual, também têm crescido os instrumentos que estabelecem ações e metas mais específicas por estado.

No Brasil, os serviços de saneamento básico incluem o manejo de resíduos sólidos urbanos e a limpeza urbana, além de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto e drenagem urbana. Esses temas possuem caráter interdisciplinar e necessitam de uma gestão intersetorial, pois possuem estreita ligação com o desenvolvimento, a educação, a saúde, o meio ambiente, os recursos hídricos, passando pela produção de bens e o consumo.

As três principais legislações que reúnem as regras quanto ao gerenciamento de resíduos no Brasil estão resumidas no Quadro 1.1.

Quadro 1.1 - Leis federais que disciplinam a gestão de resíduos sólidos no Brasil

Lei	Decreto	Objetivos
12.305/2010	7.404/2010	Estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e define regras específicas para o seu gerenciamento, que, por sua vez, está atrelado à execução dos serviços de limpeza urbana, na responsabilidade do gerador e do Poder Público. Traz regras detalhadas sobre SLR.

continua →

Lei	Decreto	Objetivos
11.445/2007	7.217/2010	Legitimou a integração dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, com os de drenagem de águas pluviais, bem como os serviços de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, proporcionando um aspecto intersetorial ao planejamento do saneamento básico.
11.107/2005	6.017/2007	Dispõem sobre a gestão associada, com ênfase para consórcios públicos, garantindo segurança jurídica, com vista a alcançar ganho de escala com a redução de custos para a gestão dos seus serviços públicos, dentro dessas possibilidades os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

Fonte: Brasil, 2005b; 2007a; 2007b; 2010a; 2010b; 2010c. Adaptado.

Essas leis federais e seus respectivos decretos regulamentadores estabelecem entre si uma relação de convergência e, ao mesmo tempo, de complementaridade. Os SLR, apesar de serem regulamentados pela Lei n. 12.305/2010, necessitam se apoiar nas outras duas, principalmente quando se trata da interface dos Sistemas Municipais de Coleta Seletiva (SMCS) com os SLR para embalagens em geral.

O artigo 33 da Lei n. 12.305/2010, regulamentada pelo Decreto n. 7.404/2010, obriga a estruturar e implementar SLR, através de retorno dos produtos após o uso do consumidor, todos aqueles caracterizados como fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de agrotóxicos, seus resíduos e embalagens; pilhas e baterias; pneus; óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, e produtos eletroeletrônicos e seus componentes, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010a; 2010b).

A PNRS estabelece ainda que o SLR deverá ser estendido aos produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro e aos demais produtos e embalagens, considerando, prioritariamente, o grau e a extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados (BRASIL, 2010a; 2010b).

2.1 Responsabilidade compartilhada

No Brasil, para a operacionalização dos SLR, é necessário que se ponha em prática o conceito da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos entre os elos das cadeias produtivas,

o poder público e os consumidores, que é bem diferente do que ocorre nos países da “Zona do Euro”, onde a responsabilidade do fabricante é estendida, alargada, integral.

A responsabilidade compartilhada é definida no artigo 3.º da Lei n. 12.305/2010, como um conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos (BRASIL, 2010a).

O Quadro 1.2 apresenta as atribuições dos atores quanto à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos no Brasil.

Quadro 1.2 - Atribuições na responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos

Atores	Atribuições específicas
Setor empresarial Fabricantes/ importadores/ distribuidores e comerciantes	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 de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;
	Dar destinação ambientalmente adequada aos produtos e às embalagens devolvidas, sendo o rejeito encaminhado para a disposição final ambientalmente adequada, na forma estabelecida pelo órgão competente e, se houver, pelo plano municipal de RS;
	Os comerciantes e distribuidores deverão efetuar a devolução aos fabricantes ou aos importadores dos produtos e embalagens reunidos ou devolvidos pelos consumidores.
Organização gestora	Articular com os municípios para receber, a partir do ponto de conexão com os Sistemas Municipais de Coleta Seletiva (SMCS), o material passível de reciclagem ou de reutilização;
	Promover, se for o caso, a comercialização dos produtos e embalagens pós-consumo;
	Adotar e fomentar medidas para o estímulo da eficiência da operação do SLR com vista a conferir escala e qualidade ao material produzido;
	Submeter-se ao processo regulatório e fiscalizatório estatal e informar os fluxos dos SLR aos órgãos fiscalizadores;
	Realizar a interface com os demais atores e subsistemas, buscando mitigar as falhas das correlações de responsabilidades;
	Gerenciar e custear a logística dos sistemas de coleta até os recicladores;
	Contratar e acompanhar o serviço de reciclagem e Realizar campanhas de conscientização.

continua →

Atores	Atribuições específicas
Estados e União	Articular comitês de acompanhamento da implantação dos SLR;
	Regular e incentivar os recicladores para ganho de desempenho no processo;
	Prover incentivos à fabricação de produtos com maior conteúdo de reciclados, recicláveis e facilidade de reciclagem;
	Incentivar a pesquisa e desenvolvimento de forma a promover o desenvolvimento de tecnologias relacionadas à cadeia da logística reversa;
	Criar mecanismos de compensação dos custos de processamento dos produtos órfãos com o princípio protetor-recebedor;
	Prover financiamentos para infraestrutura de recicladoras e outros atores do sistema;
	Promover conscientização sobre o tema.
Municípios:	Implantar o Sistema Municipal de Coleta Seletiva (SMCS);
	Prestar os serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos que vão se conectar, ainda que indiretamente, ao SLR;
	Regular e fiscalizar as atividades decorrentes dos SLR;
	Atribuir e fiscalizar as metas de reciclagem;
Consumidores	Operar o SLR, desde que haja previsão no acordo setorial ou no termo de compromisso, mediante ao devido pagamento pelo setor empresarial.
	Segregar os materiais passíveis de reciclagem e dos produtos pós-consumo e ofertá-los aos SMCS e SLR;
Catadores	Efetuar a devolução após o uso, aos comerciantes ou distribuidores, dos produtos e das embalagens objeto de logística reversa.
	Prestar serviços ambientais. As organizações de catadores de materiais recicláveis que atuarem diretamente na coleta seletiva dos materiais, conforme preconizado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), terão responsabilidades definidas nos programas municipais de Coleta Seletiva.

Fonte: BRASIL, 2010a; 2010b. Adaptado.

No cenário internacional são reconhecidas algumas iniciativas de políticas públicas voltadas para os SLR de produtos pós-consumo obrigatória, entretanto são diversos os fatores apontados como entreves para estes sistemas. Conhecer os fatores que afetam a LR pode fornecer informações valiosas para a sua implementação (RAVI *et al.*, 2005).

Barroso e Machado (2005) citam as dificuldades, em Portugal, em manter um sistema economicamente viável de coleta de resíduos, a falta de garantias em relação à entrada de resíduos no sistema para sua viabilidade. Abdulrahmana *et al.* (2014) na China enfatizam a falta leis e diretrizes eficazes para a coleta de produtos em fim de vida, de políticas econômicas governamentais de apoio à implementação de SLR, dentre outros fatores, e falta de capital e

de recursos para sistemas de monitoramento do fluxo de retorno são apontados como gargalos para o sucesso da LR. Um estudo comparativo sobre as barreiras que afetam os SLR é apresentado por Agrawal *et al.* (2015).

2.2 Sistemas de logística reversa em operação no Brasil

Até 2021 foram doze os SLR implantados no Brasil no âmbito federal. Destes, o de Agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, Óleos Lubrificantes Usados ou Contaminados (Oluc), Pilhas e baterias e Pneus inservíveis, foram implantados em momento anterior à Lei n. 12.305/2010 por meio de Resoluções do CONAMA. Com exceção dos medicamentos, cujas regras foram estabelecidas por meio de decreto, os demais foram por meio de acordos setoriais e termos de compromisso. O Quadro 1.3 apresenta as informações sobre os SLR em operação no Brasil e os instrumentos regulatórios. Alguns estados têm estabelecidos regulamentações para os SLR no âmbito estadual.

Quadro 1.3 - Informações sobre os Sistemas de Logística Reversa em operação no Brasil

Produtos pós-consumo	Regulamentação	Entidade gestora
Agrotóxicos, seus resíduos e embalagens	Lei n. 7.802/89, Lei n. 9.974/00, Decreto n. n. 4074/02, Resolução Conama n. 465/2014.	Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (inpEV)
Baterias de chumbo ácido	Resolução Conama n. 401/2008, Acordo Setorial assinado no dia 14/08/2019, Instrução Normativa Ibama n° 8, de 30 de setembro de 2012.	Instituto Brasileiro de Energia Reciclável (IBER)
Eletroeletrônicos e seus componentes	Acordo Setorial assinado no dia 31/10/2019; Decreto n. n. 10.240, de 12 de fevereiro de 2020.	Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos (Abree) Gestora para Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos Nacional (Green Eletron)
Embalagens de aço	Termo de Compromisso assinado em 21/12/2018	Prolata Reciclagem
Embalagens de óleos lubrificantes	Acordo Setorial assinado no dia 19/12/2012.	Instituto Jogue Limpo
Embalagens em geral	Acordo Setorial assinado no dia 25/11/2015.	Coalção Embalagens,

continuação

Produtos pós-consumo	Regulamentação	Entidade gestora
Lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista	Acordo Setorial assinado no dia 27/11/2014.	Associação Brasileira para a Gestão da Logística Reversa de Produtos de Iluminação (Reciclus)
Medicamentos	Decreto n. n. 10.388, de 5 de junho de 2020.	-
Óleos Lubrificantes Usados ou Contaminados (Oluc)	Resolução Conama n. 362, de 23 de junho de 2005; Portaria Interministerial n. 475, de 19 de dezembro de 2019.	-
Pilhas e baterias	Resolução n. 401, de 04/11/2008; Instrução Normativa Ibama nº 8, de 30 de setembro de 2012.	Gestora para Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos Nacional (Green Eletron)
Pneus inservíveis	Resolução Conama n. 416/2009; Instrução Normativa Ibama nº 1, de 18 de março de 2010.	Associação Brasileira de Importadores e Distribuidores de Pneus (ABIDIP) Reciclanip
Latas de Alumínio para bebidas	Termo de Compromisso assinado em 10/11/2020; Decreto n. n. 9.177, de 23/10/2017.	-

Fonte: SINIR, 2021. Adaptado.

3 Elementos estruturais e estruturantes dos Sistemas de Logística Reversa

Do ponto de vista territorial, os SLR podem ser compreendidos como o conjunto de competências infraestruturais (transportes, comunicações, centrais de recebimento, armazenamento e comercialização, etc.); institucionais (agências reguladoras, licenciamento ambiental, concessão de serviços públicos a empresas privadas, parcerias público-privadas, etc.); e organizacionais (conhecimento e estratégias) que conferem competitividade às cadeias produtivas que devem fazer uso do SLR. Engloba, portanto, não somente processos puramente técnicos e administrativos, como também o componente espacial, o qual se mostra essencial para uma análise de sua viabilidade técnica (planejamento e investimentos) de forma a revelar os benefícios obtidos em sua adoção (IBAM, 2012).

Pesquisadores têm investigado os fluxos em termos de transporte (WANG; CHEN, 2013; ZSIGRAIOVA *et al.*, 2013), sistema de gerenciamento (SCHULTMANN *et al.*, 2006; TRAPPEY *et al.*, 2010, SILVA *et al.*, 2013), sistema de gestão (BARROSO; MACHADO, 2005; AITKEN; HARRISON, 2013; GIANNETTI *et al.*, 2013) e desenvolvimento de redes de logística reversa (FLEISCHMANN *et al.*, 2001; ALUMUR *et al.*, 2012; KIZILBOGA *et al.*, 2013; RAMEZANIA *et al.*, 2013; SOLEIMANI *et al.*, 2013). Entretanto, poucas pesquisas têm sido realizadas sobre estruturas de governança das cadeias de suprimentos, necessárias para gerir os novos SLR para a reutilização, reciclagem e reparação de produtos (AITKEN; HARRISON, 2013).

Os Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE) para a implantação de SLR elaborados para cinco tipologias de produtos pós-consumos (GRANT THORNTON, 2011; SINDICOM, 2012; IBAM, 2012; ABDI, 2012, 2013) indicaram que as estruturas necessárias para a implantação dos SLR, variam de acordo com a infraestrutura já existente nas cadeias logísticas de suprimento que poderão ser utilizadas nesse novo fluxo.

Sistemas cujos produtos têm uma geração mais pontual ou cujos locais de revenda à população são mais específicos como embalagens de óleos lubrificantes e medicamentos inservíveis, necessitam de infraestruturas relacionadas à coleta e transporte. Nesse caso, os pontos de coleta poderão ser localizados nos próprios locais de revenda à população, como postos de gasolina e farmácias. Por outro lado, lâmpadas fluorescentes, eletroeletrônicos e embalagens em geral, cuja geração é mais difusa, distribuídos por diferentes pontos de comercialização, necessitam da organização e estruturação dos pontos de coleta, e centrais de transferências. No caso dos eletroeletrônicos e lâmpadas fluorescentes, podem ainda necessitar do desenvolvimento de tecnologias para tratamento e destinação final, cujo mercado da reciclagem ainda é insuficiente para suprir a demanda prevista.

Giannetti *et al.* (2013) analisaram uma rede logística reversa de uma distribuidora de chapas de aço. A metodologia adotada possibilitou a determinação da quantidade mínima de sucata que o distribuidor deve recuperar para melhorar os benefícios ambientais. A maior parte dos Estados-Membros da União Europeia que estabeleceram políticas de coleta de medicamentos ou produtos pós-consumo da indústria farmacêutica criou programas que se utilizam das farmácias e

drogarias como pontos centrais de coleta e de interligação com operadores responsáveis pela destinação final dos resíduos. (ABDI, 2013).

3.1 A relação entre a logística reversa e logística de suprimentos

A logística empresarial pode ser dividida em logística de suprimentos, logística de distribuição e, por fim, inclui a logística reversa, cuja demanda tem aumentado consideravelmente no ambiente empresarial. Mesmo representando um pequeno percentual do montante movimentado na logística direta, ela tem sua devida importância e pode agregar valores econômicos, legais, logísticos, ecológicos, de imagem corporativa, entre outros para a empresa (GUARNIERI *et al.*, 2006).

A logística reversa mantém vínculos com a logística de suprimento. Principalmente, por se tratar dos mesmos elos das cadeias produtivas, e utilizarem, em muitos casos, os mesmos mecanismos de coleta, armazenamento, transporte, bem como de comunicação e controle, tornando esses serviços de funções mistas.

A logística reversa, de um modo geral, tem sido considerada um módulo independente da cadeia de suprimento tradicional. Focaliza-se, essencialmente, na gestão dos processos que ocorrem no sentido inverso e a otimização dos processos é realizada localmente. Entretanto, se for integrada na cadeia de suprimentos pode contribuir para uma maior redução tanto dos custos globais de toda a cadeia, como dos impactos ambientais, apesar do aumento da sua complexidade (BARROSO, MACHADO, 2005). Ressalta-se que as soluções de transporte, armazenamento, tratamento e destinação final na LR possuem critérios ambientais mais rígidos, além das dificuldades intrínsecas ao processo de logística de suprimentos.

Muitas empresas têm incorporado à LR na logística de suprimentos para formar uma cadeia de suprimentos em circuito fechado. Um estado da arte sobre cadeias de suprimentos em circuito fechado pode ser encontrado em Ilgin e Gupta (2010). Tibben-Lembke e Rogers (2002) apresentam também um estado da arte sobre as diferenças entre a logística de suprimentos e a LR em um ambiente de varejo, apresentadas no Quadro 1.4.

Quadro 1.4 - Diferenças entre a logística de suprimento tradicional e a logística reversa

Logística de suprimento tradicional	Logística reversa
Previsão relativamente simples	Previsão mais difícil
Um produto com muitas possibilidades de transportes	Muitos produtos diferentes para uma rota de transporte
Qualidade do produto uniforme	Qualidade do produto não uniforme
Uniformidade da embalagem do produto	Embalagem do produto, muitas vezes danificada.
Destino/roteamento claro	Destino/roteamento incerto
Canal padronizado	O canal reverso não é padronizado e tem muitas exceções
Opções de disposição clara	Disposição não definida para todos os produtos coletados
Preços relativamente uniformes	Preços dependem de muitos fatores
Importância da velocidade de atendimento reconhecida	Velocidade de atendimento muitas vezes não é uma prioridade
Custos de distribuição cuidadosamente monitorados por sistemas de contabilidade	Custos reversos menos diretamente visíveis. Divididos entre a cadeia produtiva e às vezes não contabilizados
Gestão de estoques consistente	Gestão de estoques não é consistente
Ciclo de Vida do produto gerenciável	Questões do ciclo de vida do produto mais complexo
Negociação entre as partes simples	Negociação complicada por considerações adicionais
Métodos de <i>marketing</i> bem conhecidos	Marketing complicado por vários fatores
Informação em tempo real para rastrear produtos	Rastreabilidade pouco possível até o momento

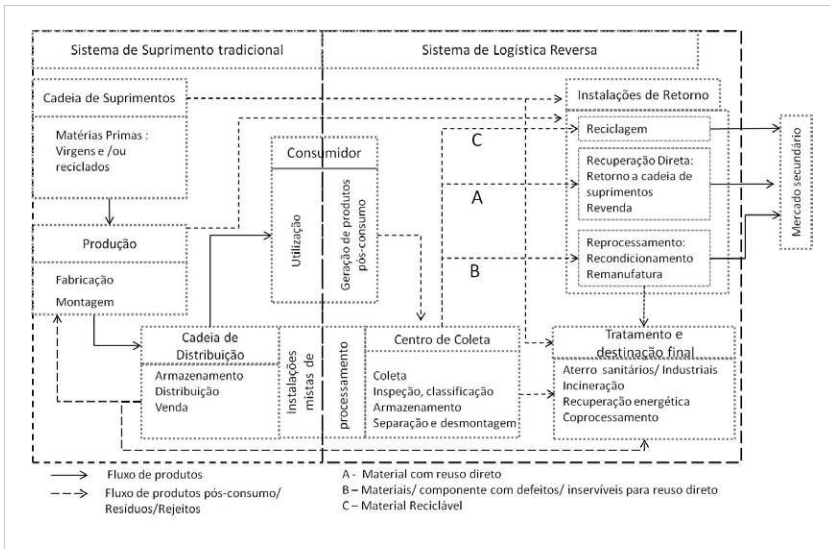
Fonte: TIBBEN-LEMBKE; ROGERS, 2002. Adaptado.

A vida de um produto, do ponto de vista logístico, não deve terminar com a sua entrega ao cliente. O canal de LR pode utilizar todo ou apenas uma parte do canal logístico, ou pode necessitar de um projeto dedicado exclusivamente a ele.

Inverter o fluxo de produtos é um desafio para a maioria das organizações em termos de atividades físicas. As empresas que o reconhecem, muitas vezes, descobrem uma nova oportunidade de marketing, construindo uma base para fidelização dos clientes e atraindo novos (AITKEN; HARRISON, 2013).

A Figura 1.1 representa os fluxos de produtos e resíduos em uma cadeia de suprimento em circuito fechado, incorporando o SLR.

Figura 1.1 - Cadeia de suprimento em circuito fechado



Fonte: DAT *et al.*, 2012.

3.2 Modelos de gestão dos sistemas de logística reversa

Estudos realizados por Richey *et al.* (2005) e Autry (2005) indicam que existe um elevado grau de inovação em SLR em termos de criação de sistemas e procedimentos, bem como na busca de soluções para lidar com produtos e materiais devolvidos. A diversidade de produtos e materiais requer um alto grau de coordenação na gestão, necessitando também da participação de diversas empresas de tratamento e disposição final de resíduos (SHEU, 2007).

Quando se trata de SLR, existe uma variedade de modelos. Segundo ABDI, 2012., podemos dividir em cinco modalidades a forma como se estabelecem as relações entre o setor empresarial, as entidades gestoras dos SLR e o setor público, neste caso representado pelos governos federal estadual, sendo elas:

- A - Responsabilidade do fabricante - Monopolista (Pilha e Baterias – Brasil);
- B - Responsabilidade compartilhada - Monopolista (Embalagens de Agrotóxicos – Brasil);
- C - Responsabilidade do Governo – Monopolista (Resíduos de Equipamento Elétricos e Eletroeletrônicos (REEE) – Califórnia/EUA);

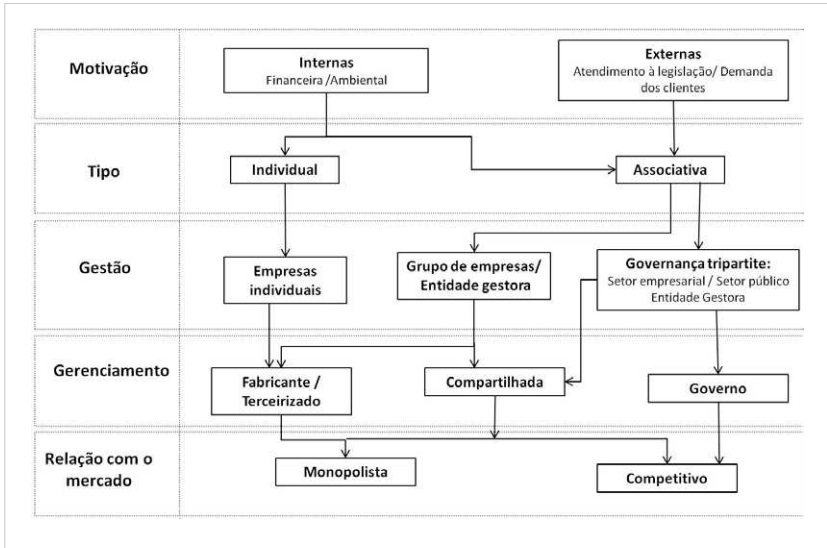
- D - Responsabilidade do fabricante - Competitivo (União Europeia, REEE – França);
- E - Responsabilidade compartilhada – Competitivo (REEE – Japão, Lubrificantes - Brasil).

Nos Estados-Membros da União Europeia, por exemplo, na coleta de medicamentos inservíveis, mais da metade dos programas existentes são financiados e operados pela própria indústria farmacêutica ou por farmácias, sendo o restante custeado por municípios e governos regionais. Bélgica, França, Luxemburgo, Portugal e Espanha contam com programas de logística reversa de medicamentos que são administrados em conjunto por suas redes de farmácias. Outros seis países europeus — Dinamarca, Finlândia, Alemanha, Itália e Reino Unido e a Suíça possuem programas que são gerenciados conjuntamente pelas farmácias e por empresas públicas e/ou privadas de transporte de resíduos (ABDI, 2013).

No Brasil, para gerir o processo de destinação final das embalagens vazias de agrotóxicos, os representantes das indústrias fabricantes criaram em 2001 o Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (INPEV), entidade gestora responsável por realizar a correta destinação final destes resíduos, e que conta com a participação dos agricultores, dos revendedores e da indústria. Isso evidencia a prática de uma modalidade monopolista através da implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto (INPEV, 2014).

A Figura 1.2 apresenta possíveis interações existentes entres os aspectos de gestão dos SLR.

Figura 1.2 - Fluxo da interação dos aspectos de gestão dos SLR

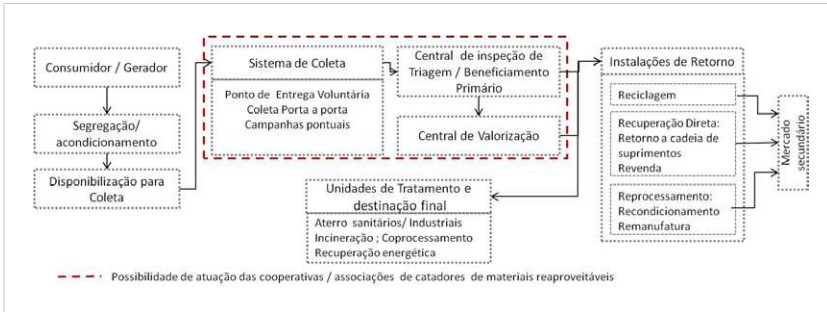


Fonte: as autoras.

As interações entre os aspectos de gestão dos SLR, na maioria dos casos no Brasil, referem-se à implantação de SLR por motivação externa, em atendimento à Lei n. 12.305/2010, de forma associativa, reunindo diferentes elos das cadeias produtivas. A gestão segue uma governança, com a presença do setor empresarial, reunidos em torno de uma entidade gestora, e com o setor público, atuante na regulamentação e fiscalização. O gerenciamento tem se mostrado compartilhado principalmente entre fabricantes e importadores, com uma relação de mercado tanto monopolista como competitivo.

A Figura 1.3 apresenta o detalhamento do fluxo das relações entre as etapas do SLR, tendo o consumidor como primeiro agente, onde esse assume o papel de gerador e necessita segregar e acondicionar os materiais para posteriormente disponibilizá-lo para a coleta.

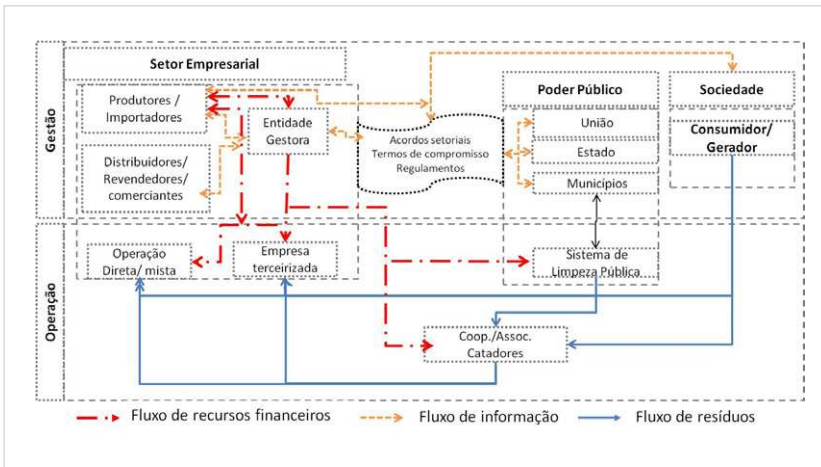
Figura 1.3 - Possíveis relações entre as etapas de SLR



Fonte: DAT et al. 2012; ABDI, 2012.

A Figura 1.4 apresenta os possíveis fluxos de informação, recursos financeiros e resíduos nos SLR, e a inter-relação entre os atores, considerando as novas determinações da Lei n. 12.305/2010.

Figura 1.4 - Inter-relação entre os atores que compõem os SLR no Brasil



Fonte: ABDI (2012, 2013); GRANT THORNTON (2011); IBAM (2012); SINDICOM (2012).

3.3 Inter-relação entre a coleta seletiva os sistemas de logística reversa

Existem alguns produtos pós-consumo, especialmente as embalagens em geral, que têm uma relação direta com os Sistemas Municipais

de Coleta Seletiva. A parcela de materiais potencialmente recicláveis nos RSU, que é predominantemente composta por embalagens, representa 31,9 %, em peso, dos resíduos coletados pelos municípios (IPEA, 2012).

Segundo o IBGE (2012), em 2000, 8,2 % dos municípios brasileiros possuíam coleta seletiva; em 2008, esse percentual alcançou 19,5 %. Já em termos regionais, as Regiões Sul e Sudeste apresentaram, em 2008, os maiores percentuais, 41,3 % e 25,9 % do total de municípios, respectivamente. Esses valores são superiores à média nacional, com destaque para o estado do Paraná (52,1 %). Por outro lado, nas demais regiões, menos de 8 % dos municípios realizavam coleta seletiva.

Portanto, há grande potencial de conexão entre os serviços públicos de manejo de resíduos sólidos, por meio dos Sistemas Municipais de Coleta Seletiva (SMCS) e o SLR. A definição desse ponto de conexão e da forma de participação do setor empresarial no SMCS ou do município nos SLR é de primordial importância para a sustentabilidade dos dois sistemas.

Deve-se ainda considerar que com a implantação dos SLR, principalmente das embalagens em geral, ocorrerá uma redução de despesas com os serviços de coleta, transporte e destinação dos RSU, que são custeados pelos municípios.

Segundo dados do Sistema Nacional sobre Saneamento (SNIS), em 2013 as despesas com o manejo de RSU foram, em média, de 5 % das despesas correntes das prefeituras brasileiras (BRASIL, 2015).

Quanto ao mercado de recicláveis, os municípios com serviço de coleta seletiva separaram, prioritariamente, papel e/ou papelão, plástico, vidro e metal (materiais ferrosos e não ferrosos), sendo os mesmos assim negociados: comerciantes de recicláveis, como principais receptores finais desses materiais, com 53,9 %; indústrias recicladoras, 19,4 %; entidades beneficentes, 12,1 %; e outras entidades, 18,3 % (IBGE, 2012).

3.4 Mão de obra

Na maior parte das cidades brasileiras são realizadas atividades de coleta de resíduos sólidos recicláveis de forma totalmente desconectada dos sistemas públicos. São atividades organizadas por sucateiros, proprietários de depósitos de materiais recicláveis que concentram seus negócios em aparas de papel, papelão, latinhas de

alumínio, embalagens de Pet, etc. Geralmente, esses materiais são de alto valor agregado.

As operações de coleta realizadas pelos depósitos são feitas diretamente nas grandes fontes geradoras dos resíduos, quando os resíduos nelas produzidos são homogêneos, ou são feitas em pontos de concentração dos resíduos, coletados por catadores de materiais recicláveis a eles vinculados informalmente, ou ainda em pequenos sucateiros que atuam como atravessadores dos materiais recicláveis garimpados por catadores nas ruas das cidades.

Os números dessas atividades são praticamente desconhecidos no Brasil, uma vez que não há, em geral, fiscalização e controle por parte das prefeituras. A atuação desses depósitos e catadores é a responsável pelos bons números da reciclagem de materiais de alto valor agregado no Brasil, como por exemplo, as latinhas de alumínio. Assim, os SLR precisam considerar e estabelecer forte conexão com esse sistema de movimentação de resíduos sólidos, que ainda são bem mais eficientes que os SMCS.

Segundo o IBGE (2012), apenas uma pequena parte dos RSU produzidos no País é seletivamente coletada, a maior parte da coleta é feita por catadores, autônomos ou associados em cooperativas, que retiram do RSU os materiais de mais alto valor, em condições de trabalho precárias e com baixa remuneração.

Quanto à participação de catadores de materiais reaproveitáveis nos SLR de embalagens estima-se, na sua totalidade, a criação de 128.217 novos postos de trabalho em todo o território nacional. Considerando que na década de 2010, estima-se que o número de trabalhadores que participam de alguma organização coletiva está em torno de 40 a 60 mil, com a inserção desses trabalhadores no SLR tem-se a possibilidade de ocorrer um aumento no percentual de catadores trabalhando de forma organizada em cooperativas e associações (IBAM, 2012).

3.5 Participação da população e canais de comunicação

A participação da população e a criação de canais de comunicação são fatores de extrema importância para que os SLR operem de forma eficiente, pois assim como todo processo logístico, a economia de escala é um dos objetivos principais.

O consumidor participa da primeira etapa dos SLR, realizando a segregação na fonte e entregando os produtos pós-consumo para os

sistemas. Portanto, a adesão da população é que garantirá que o sistema tenha quantidade de material suficiente para gerar economia de escala.

Existe uma demanda crescente dos consumidores para que os fabricantes tenham responsabilidade estendida no fim da vida útil dos produtos. A pressão do cliente é desencadeada por preocupações ambientais e pelos custos de eliminação dos produtos, que são crescentes (YONGSHENG; SHOUYANG, 2008). No entanto, sua participação tem que ser estimulada e o modelo de recebimento desses produtos podem inviabilizar a sua participação, seja pela falta de acessibilidade ou de confiabilidade no sistema.

Grande parte dos estudos de implantação SLR não considera a necessidade do estímulo do fabricante e parte do pressuposto que a simples disponibilização do serviço de recebimento dos produtos pós-consumo é a garantia da entrega por parte do usuário, no final de sua vida útil. E, dessa forma, os sistemas são equivocadamente dimensionados somente com base em dados de geração de resíduos, que na maioria dos casos, é calculada em função do consumo.

Para produtos eletroeletrônicos pós-consumo, a ABDI, 2012, destaca que a adesão dos usuários está condicionada à facilidade no descarte de equipamentos. Por exemplo, o consumidor só vai descartar sua geladeira usada a partir do momento em que a nova estiver a ponto de ser instalada. Diferentes portes de equipamentos sugerem sistemas diferenciados de descarte, como, por exemplo, pontos de entrega voluntária para equipamentos menores e coleta na residência do consumidor para equipamentos de grande porte.

Outra condição, no caso de equipamentos como computadores, telefones e *tablets*, é a confiabilidade no tratamento que o sistema fornece aos dados pessoais neles gravados. Se houver alguma dúvida a respeito da proteção à privacidade desses dados, o consumidor tenderá a postergar ou mesmo evitar o descarte. Também é importante a necessidade ou não da transferência de titularidade, isto é, o recebimento do equipamento com a emissão de um termo de doação, garantindo a legalidade de seu transporte (ABDI, 2012).

Portanto, ao se propor um modelo logístico, deve ser estimado como ocorrerá a participação da população, e devem ser previstos canais de comunicação que estimulem essa participação contínua. Devem ser previstas também fontes para obtenção de informação sobre o sistema, além de facilidades de acesso às instalações físicas de recebimento dos produtos pós-consumo.

4 Componentes do sistema de logística reversa de embalagens pós-consumo

Neste estudo foi desenvolvido um modelo matemático para localização de infraestruturas para logística reversa pós-consumo e para sua validação foram utilizadas informações referentes aos componentes de SLR de embalagens pós-consumo. Para a construção do modelo conceitual se fez necessário entender quais elementos que compunham este sistema e suas respectivas características.

4.1 Geração de resíduos sólidos domiciliares (RSD)

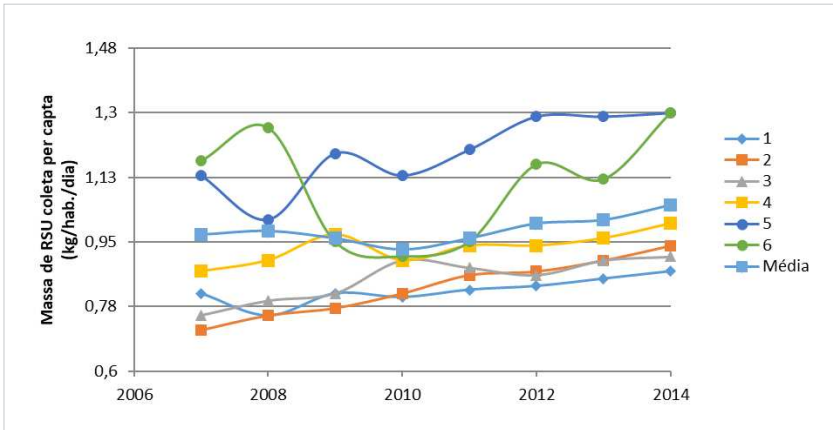
A geração *per capita* determina a quantidade de resíduos urbanos gerada diariamente em relação ao número de habitantes de determinada localidade. Esta informação é muito importante para determinar a taxa de coleta, bem como para o correto dimensionamento de todas as unidades que compõem o Sistema de Limpeza Urbana (IBAM, 2009). O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) do Ministério das Cidades (MCidades), apresenta anualmente informações quanto ao manejo de resíduos nos municípios brasileiros. O SNIS classifica os municípios de acordo com faixa populacionais pré-estabelecidas conforme Tabela 1.1. Essa classificação permite uma comparação de dados de municípios com realidades mais próximas (BRASIL, 2016a).

Tabela 1.1 - Faixas populacionais dos municípios participantes do SNIS, segundo a população total

Faixa	Intervalo da faixa	Municípios no Brasil		Municípios no Espírito Santo	
		Quantidade	Porcentagem	Quantidade	Porcentagem
1	Até 30 mil habitantes	4439	79,69 %	54	69,23 %
2	De 30.001 a 100.000 habitantes	831	14,92 %	15	19,23 %
3	De 100.001 a 250.000 habitantes	190	3,41 %	5	6,41 %
4	De 250.001 a 1.000.000 habitantes	93	1,67 %	4	5,13 %
5	De 1.000.001 a 3.000.000 habitantes	15	0,27 %	-	0,00 %
6	Acima de 3.000.001 habitantes	2	0,04 %	-	0,00 %
Total		5570	100 %	78	100,00 %

A massa coletada *per capita* de RSD em relação à população urbana dos municípios é um dos indicadores mapeados pelo SNIS, conforme apresentado na Figura 1.5 que foi elaborada com a base de dados das séries históricas do período de 2007 a 2014 (BRASIL, 2016b).

Figura 1.5 - Massa coletada de RSD em relação à faixa da população urbana dos municípios



Fonte: BRASIL, 2016b. Elaborado com a base de dados dos SNIS de 2007 a 2014.

A maior parte das informações sobre a quantidade de RSD informada ao SNIS é estimada pelos responsáveis municipais, já que o uso de balança para a pesagem rotineira dos resíduos se restringe a pouco mais de 30 % do conjunto amostrado. No entanto, o SNIS também analisa esta informação de forma diferenciada, considerando apenas os municípios que tem balança e pesam seus resíduos, o que torna o dado mais confiável. A Tabela 1.2 apresenta o percentual de municípios que respondem ao SNIS que possuem balança por faixa populacional.

Tabela 1.2 - Percentual de municípios que possuem balança por faixa populacional

Faixa Populacional	2011	2012	2013	2014
1	21 %	21 %	21 %	24 %
2	39 %	43 %	43 %	41 %
3	74 %	75 %	75 %	80 %
4	88 %	96 %	96 %	96 %

continua →

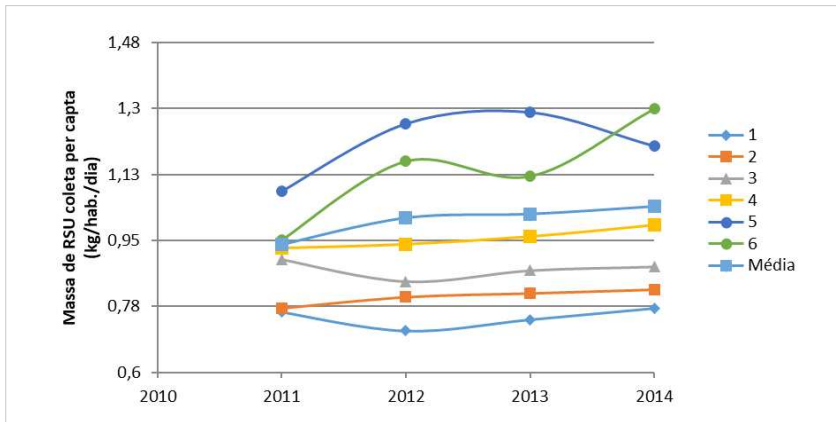
continuação

Faixa Populacional	2011	2012	2013	2014
5	86 %	100 %	100 %	93 %
6	100 %	100 %	100 %	100 %

Fonte: BRASIL, 2016b. Elaborado com a base de dados dos SNIS de 2007 a 2014.

Na Figura 1.6 são apresentados os valores da massa de RSD coletada *per capita* por faixa populacional, considerando apenas para os dados dos municípios que possuem balança.

Figura 1.6 - Massa coletada de RSD em relação à população urbana dos municípios participantes do SNIS que utilizam balança, segundo faixa populacional



Fonte: BRASIL, 2016b. Elaborado com a base de dados dos SNIS de 2007 a 2014. Antes de 2011 o SNIS não divulgava este indicador de forma sistematizada.

Observa-se um crescimento na massa de coleta de RSD *per capita* para todas as faixas, sendo que as faixas populacionais menores apresentam taxas menores, apenas com divergência para as faixas 5 e 6 no ano de 2014. O valor médio para o Brasil está acima dos valores observados para as faixas de 1 a 4. Desta maneira, assumir um único valor nacional para pequenos municípios pode levar a erros de super dimensionamento e gastos desnecessários frente a real demanda.

Em 2014, 75 % municípios do Espírito Santo responderam ao SNIS em relação a este item. O valor máximo respondido foi de 2,02 kg/hab./dia e o valor mínimo foi de 0,11 kg/hab./dia. Na edição de

2014, para o processamento e análise dos dados, foram admitidos valores extremos de 0,10 kg/hab./dia a 2,71 kg/hab./dia. Portanto todos os municípios do Espírito Santo foram considerados na análise desse indicador (BRASIL, 2016a, 2016b).

Outra informação importante para a projeção dos dados e proposição de cenários futuros é a evolução da taxa coletada *per capita* ao longo dos anos. A Tabela 1.3 apresenta a taxa de crescimento anual da massa coletada de RSU *per capita* em relação à população urbana dos municípios participantes do SNIS, segundo faixa populacional, para os municípios que utilizam balança.

Tabela 1.3 - Evolução das taxas da massa coletada de RSD em relação à população urbana dos municípios participantes do SNIS, que utilizam balança

Faixa	2011	2012	2013	2014
1	-	-7 %	4 %	4 %
2	-	4 %	1 %	1 %
3	-	-7 %	4 %	1 %
4	-	1 %	2 %	3 %
5	-	17 %	2 %	-7 %
6	-	22 %	-3 %	16 %
Média	-	7 %	1 %	2 %

Fonte: BRASIL, 2016b.

Nota: Elaborado com a base de dados dos SNIS de 2007 a 2014. Antes de 2011 o SNIS não divulgava este indicador de forma sistematizada.

Considerando que no Espírito Santo os municípios se encontram nas faixas populacionais de 1 a 4, e calculando a média dos percentuais de crescimento destas taxas para as faixas de 1 a 4, nos anos de 2013 a 2014, tem-se um valor de 2,6 % ao ano.

Logo, neste estudo, são consideradas como valores de taxa de geração *per capita* de embalagens os valores referentes às taxas da massa coletada de RSU *per capita* apresentada pelos SNIS – 2014, por faixa populacional, considerando apenas os dados dos municípios que utilizam balança. Foi considerado o valor de 2,6 % ao ano como a taxa de crescimento anual de geração de embalagens pós-consumo.

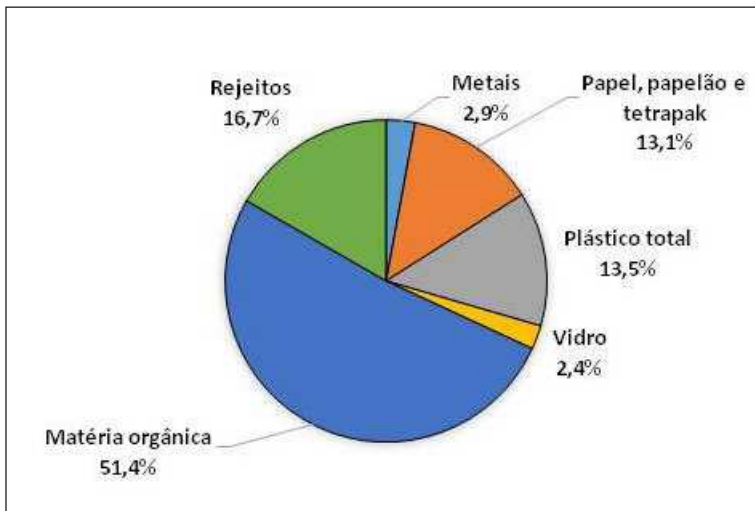
5 Geração de embalagens pós-consumo

A composição gravimétrica média dos Resíduos Sólidos Domésticos (RSD) coletados no Brasil é bastante diversificada nas diferentes regiões, uma vez que está diretamente relacionada com características, hábitos e costumes de consumo e descarte da população local (ABRELPE, 2015). Esta é uma informação importante para estudos de aproveitamento dos resíduos recicláveis e de compostagem, uma vez que traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de resíduos analisada.

Neste estudo são utilizados dados secundários de abrangência nacional e de estudos específicos realizados no Espírito Santo, visto que se trata de um instrumento de planejamento sem detalhamento de infraestruturas.

Os estudos que embasaram o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) apontam uma composição média nacional de 31,9 % de resíduos secos e 51,4 % de resíduos úmidos e 16,7 % de rejeitos (IPEA, 2012a). A Figura 1.7 apresenta esta composição gravimétrica.

Figura 1.7 - Composição gravimétrica dos RSU no Brasil



A maior parte dos municípios do Espírito Santo não possui caracterização gravimétrica dos RSD. Alguns estudos de composição gravimétrica são apresentados na Tabela 1.4.

Tabela 1.4 - Composição gravimétrica de RSD no Espírito Santo

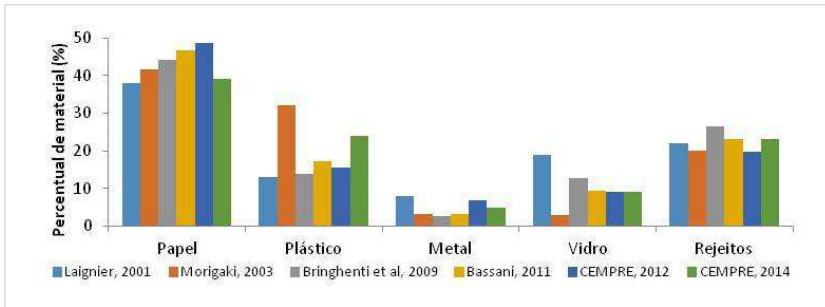
Município/ Tipo de material	Venda Nova do Imigrante		São Gabriel da Palha	Vitória
	Área urbana	Área rural		
Matéria orgânica	58,5 %	77,2 %	56,57	53,10
Plástico maleável	8,0 %	7,5 %	9,90	11,77
Plástico rígido	4,9 %	3,3 %		
Papel	2,5 %	2,6 %	10,21	19,12
Papelão	7,4 %	5,1 %		
Vidros	2,3 %	2,9 %	1,69	2,69
Tetrapak	-	-	0,66	-
Metais	2,0 %	1,2 %	1,03	3,25
Rejeitos	14,5 %	0,3 %	9,48	10,07
Isopor	1,6 %	-	-	-
Fonte	PMVNI (2014).		Barbosa et al. 2012	Braga (2000)

Fonte: as autoras.

No âmbito nacional, a composição gravimétrica dos resíduos provenientes da coleta seletiva tem sido registrada pelo Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE), por meio de publicações bianuais, a partir do levantamento de dados de vários Sistemas Municipais de Coleta Seletiva (SMCS). No âmbito estadual os estudos de composição gravimétrica da coleta seletiva foram encontrados apenas para o município de Vitória, capital do Espírito Santo.

A comparação entre os quatro estudos realizados em Vitória e os dados publicados pelo CEMPRE nos anos de 2012 e 2014, para os quatro grandes grupos de materiais recicláveis, é apresentado na Figura 1.8.

Figura 1.8 - Composição gravimétrica encontrados na coleta seletiva de Vitória (ES)



Fonte: as autoras.

Considerando apenas os percentuais de materiais recicláveis encontrados nos quatro estudos realizados em Vitória (ES) têm-se os valores conforme apresentado na Tabela 1.5.

Tabela 1.5 - Composição gravimétrica da coleta seletiva em Vitória (ES)¹

Autor	Papéis	Plásticos	Vidros	Metais	Rejeitos
Laignier, 2001	38,0	13,0	19,0	8,0	22
Morigaki, 2003	41,7	32,2	3,0	3,1	20
Bringhenti et al., 2009	44,1	14,0	12,8	2,7	26,4
Bassani, 2011	46,8	17,3	9,5	3,3	23,1
Média	42,7	19,1	11,1	4,3	22,9
Mediana	42,9	15,7	11,2	3,2	22,6
Desvio Padrão	3,2	7,7	5,8	2,2	2,3

Fonte: as autoras.

Os valores mostraram-se divergentes entre os autores, sendo motivado pela diferença temporal entre as pesquisas e também pela metodologia aplicada. Laignier (2001) considerou os resíduos da coleta seletiva municipal e Morigaki (2003) incorporou aos resíduos da coleta seletiva os advindos do comércio, o que elevou a quantidade

¹ Foram considerados como rejeito todos os demais materiais encontrados na pesquisa como trapo, madeira, espuma, porcelana, etc. que não compõe os quatro grupos de materiais em estudo.

de papéis e plásticos. Bassani (2011) e Bringhenti *et al.* (2009) realizaram as pesquisas em condomínios.

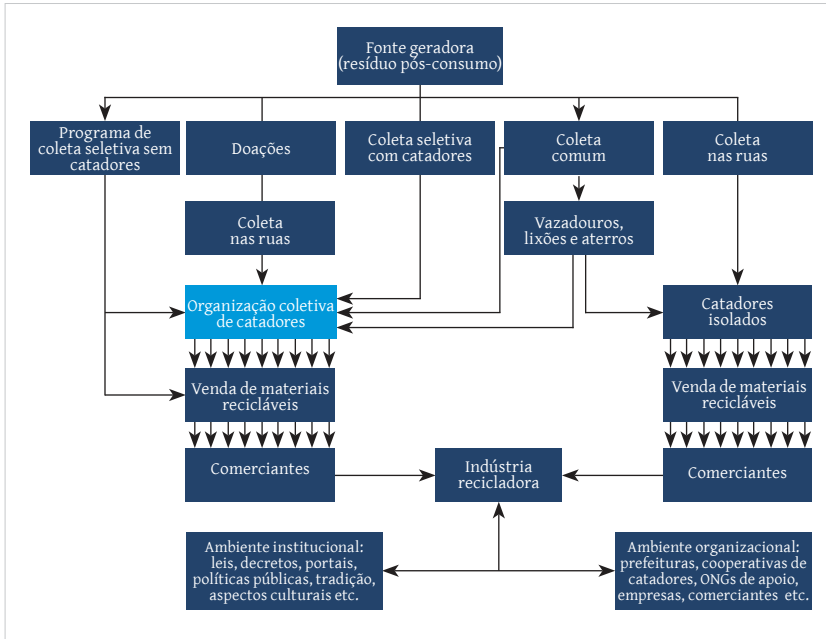
Para o grupo de plástico o que tem maior representatividade em todos os estudos em peso foi o Polietileno tereftalato (PET), com 25,7 %, Polietileno de Alta Densidade (PEAD) com 16,8 % e Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) com 15,3 % (Bassani, 2011), Para (Laignier, 2001) os percentuais foram 33,08 %, 30,44 % e 13,97 %, respectivamente para esses materiais.

6 Centrais de triagem de resíduos - organizações de catadores de materiais recicláveis

No contexto brasileiro existe a previsão legal, a partir da Lei n. 12.305/2010 de que os catadores de materiais recicláveis sejam incorporados aos SMCS e SLR, principalmente de embalagens em geral (BRASIL, 2010 a, 2010b). O grande desafio, no entanto, é profissionalizar e melhorar a eficiência dos Centros de Triagem (CT) já operados por catadores, com ou sem parcerias das prefeituras municipais, ou mesmo criar novas organizações de catadores, de forma a absorver os resíduos coletados seletivamente pelo município ou pelos operadores dos SLR.

As Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis (OCMR) geralmente possuem infraestrutura e equipamentos para a pesagem, triagem, prensagem e armazenamento, sendo que algumas realizam coleta e transporte. Os materiais recicláveis geralmente comercializados são o papel, papelão, plástico, vidro, materiais ferrosos e não ferrosos, entre outros.

Na Figura 1.9 é apresentado um fluxograma da cadeia de valor da reciclagem onde os catadores, de forma coletiva ou isolada, são fundamentais para o processo de restituição dos resíduos à indústria recicladora (IPEA, 2012b).

Figura 1.9 - Fluxograma da cadeia de valor da reciclagem

Fonte: IPEA, 2012b.

6.1 Infraestruturas

Os CT compõem-se de um conjunto de estruturas físicas edificadas como galpão de recepção e triagem de resíduos, galpão para armazenamento de recicláveis e unidades de apoio (escritório, almoxarifado, instalações sanitárias, vestiários, copa, cozinha, etc.), e em alguns casos, pátio de compostagem de resíduos orgânicos.

Os CT são locais onde ocorre a separação dos resíduos sólidos. Essa separação pode ser feita totalmente manual, semiautomática ou automática. O galpão de triagem normalmente é composto por uma prensa vertical, balança, esteira, fardos e empilhadeiras, sendo que todos os equipamentos devem seguir as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (VILHENA, 1999).

No entanto, com base na literatura consultada constata-se que ainda não há normas da ABNT e são poucas as recomendações técnicas para parâmetros a serem adotados em projetos de CT. O Ministério do Meio Ambiente (MMA) por meio do manual “Elementos

para a organização da coleta seletiva e projeto de galpões de triagem” propôs recomendações técnicas para construção de galpões de separação de RSU (BRASIL, 2011). Foram abordados critérios desde o planejamento a operação, como:

- fundação: adequação do terreno (verificando a legislação de uso do solo no local escolhido e as características hidrológicas) e a execução de sondagens no solo;
- estruturas e disposição: preferência ao uso de materiais pré-fabricados de concreto e metal com ventilação necessária e utilização de mezanino para escritório, sanitários e vestiários, pequeno refeitório e outros espaços necessários;
- instalações: o galpão deve ser composto de uma área de descarga, silo com área para armazenar um dia e meio a dois dias da coleta diária prevista, uma área para triagem primária e secundária, área para prensagem, uma para estoque dos fardos e expedição com capacidade para armazenar em média uma semana de cargas fechadas;
- tipos de triagem e equipamentos: galpão de pequeno porte: em média 300 m² edificadas, uma prensa enfardadeira com capacidade para 20 toneladas, uma balança com capacidade para 1.000 quilogramas e um carrinho plataforma. Galpões de porte médio: cerca de 600 m² edificadas, equipamentos do galpão de pequeno porte, mais uma empilhadeira com capacidade de 1.000 quilogramas; galpões de grande porte: cerca de 1200 m² edificadas, duas prensas e dois carrinhos, balança e empilhadeira;
- instalações de apoio: podem ser localizadas em pavimento superior (mezanino) ou numa edificação anexa ao galpão, deixando-se o piso deste o mais livre possível para a realização das tarefas específicas de triagem e processamento dos materiais. Deve-se prever área suficiente para escritório, sanitário, vestiário e refeitório, de acordo com normas vigentes.

O Ministério das Cidades ao publicar um Termo de Referência Técnico para elaboração do projeto básico e executivo completo de galpão/unidade de triagem para coleta seletiva, apresenta diretrizes gerais para seu dimensionamento (BRASIL, 2008). As Unidades de Triagem (UT) são escalonadas em quatro portes, com áreas específicas e destinadas à operação dos resíduos recicláveis, de acordo com os seguintes critérios:

- UT (1) – até 0,25 t/dia – área operacional do galpão de 55 a 75 m²;
- UT (2) – de 0,25 a 0,6 t/dia – área operacional do galpão de 80 a 100 m²;
- UT (3) – de 0,6 a 1 t/dia – área operacional do galpão de 180 a 200 m²;
- UT (4) – de 1 a 2 t/dia – área operacional do galpão de 400 a 450 m².

Na concepção do projeto arquitetônico dessa instalação, no dimensionamento dos espaços que a irão compor e na definição de suas inter-relações, deverão ser fundamentalmente consideradas etapas básicas do processamento como, recebimento e estocagem dos materiais a triar; triagem primária dos recicláveis e descarte de rejeitos inaproveitáveis; transporte interno dos materiais submetidos à triagem para a área de acondicionamento; retriagem (triagem secundária) de alguns materiais; condicionamento temporário de materiais submetidos à triagem; prensagem e enfardamento dos recicláveis submetidos à triagem; estocagem final dos fardos de recicláveis em pilhas; e transporte interno e carregamento dos fardos para expedição (BRASIL, 2008).

6.2 Operação

Estudos realizados por alguns autores sobre organizações associativas de catadores mostram que a comercialização é prioritariamente realizada por meio de aparistas e atravessadores sem relação direta com a indústria. Constatam também que a organização em rede favorece a melhoria na comercialização, como apresentado no Quadro 1.5.

Quadro 1.5 - Organização logística de comercialização de materiais recicláveis

Formas de organização logística das organizações associativas de catadores	Referências
Associação de Recicladores Esperança em Florianópolis, no ano de 2002, com apoio da prefeitura local e compradores comercializavam diretamente com aparistas, solucionando o conflito entre catadores e atravessadores e melhorando os preços da comercialização.	Bringhenti (2004)
Associações de Florianópolis organizadas em rede possuem maiores condições de comercialização diretamente para indústrias e facilidade de atendimento das exigências em relação à quantidade e qualidade de material.	Aquino, Castilho Junior e Pires (2009)
A estrutura da cadeia de reciclagem é piramidal. No topo encontram-se poucas indústrias de reciclagem, abaixo há os intermediários que articulam a rede de atravessadores e na base da pirâmide encontram-se os catadores. Quanto mais no topo da pirâmide, maior é o valor agregado ao produto.	Pepinelli (2011)

continuação

Formas de organização logística das organizações associativas de catadores	Referências
Cooperativa de Valorização de MR Catapananá em Pinhais possui o objetivo de incluir o catador na cadeia de reciclagem, pois possibilita o acúmulo de material num grande galpão, o beneficiamento para agregar valor e venda diretamente para a indústria, e conseqüentemente o aumento da renda.	Cerqueira, Speck e Murata (2014)

Fonte: as autoras.

6.3 Eficiência

A eficiência das organizações associativas de catadores tem sido medida por meio da produtividade na triagem e beneficiamento de resíduos. Neste sentido, alguns autores têm sugerido valores para produtividade. SEBRAE (2003) indica uma produtividade que varia de 150 kg/dia a 330 kg/dia, com a média de 225 kg/dia. Brasil (2008) e Brasil (2012) adotam indicadores de produtividade para catadores em galpão por atividade realizada, sendo coleta: 160 kg/dia; triagem: 200 kg/dia e prensagem: 600 kg/dia. Esta produtividade é adotada por IBAM (2012) nos Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE) para LR de embalagens.

Um estudo mais detalhado é apresentado por Damásio (2008, 2010), em pesquisa realizada em uma amostra de oitenta e três unidades de trabalho de catadores de recicláveis distribuídas em todas as grandes regiões brasileiras, à exceção da região Norte. Os quatro degraus de eficiência identificados na pesquisa foram definidos conforme exposto a seguir.

▶ *Degráu 1 - alta eficiência:* grupos formalmente organizados, com prensas, balanças, carrinhos e galpões próprios, com capacidade de ampliar suas estruturas físicas e de equipamentos a fim de absorver novos catadores e criarem condições para implantar unidades industriais de reciclagem. Detêm elevados conhecimentos adquiridos, passíveis de difusão. Neste degrau de eficiência, já estão aptas para a verticalização da produção de materiais recicláveis.

▶ *Degráu 2 - média eficiência:* grupos formalmente organizados, contando com alguns equipamentos, porém precisando de apoio financeiro para a aquisição de outros equipamentos e/ou galpões. Detêm algum conhecimento adquirido, e seriam os beneficiários imediatos da difusão de produtividade do degrau 1.

▶ *Degráu 3 - baixa eficiência:* grupos em organização, contando com poucos equipamentos, alguns de sua propriedade, precisando de apoio financeiro para a aquisição de quase todos os equipamentos

necessários, além de galpões próprios. Eles detêm pouco capital e necessitam de forte apoio para treinamento e aprendizado. Estes grupos, em geral, sequer têm conhecimento dos meios e das fontes para solicitar financiamento e apoio técnico.

► *Degrau 4 - baixíssima eficiência:* grupos desorganizados, em ruas ou lixões, sem possuírem quaisquer equipamentos, e frequentemente trabalhando em condições de extrema precariedade para atravessadores e donos de depósitos. Faltam quase todos os conhecimentos, excetuando-se aqueles mais básicos referentes à coleta e à seleção de materiais. É necessário apoio financeiro para a montagem completa da infraestrutura e de equipamentos.

A Tabela 1.6 relaciona as eficiências físicas, em termo de produção mensal por catador, de acordo com os agrupamentos por degrau de eficiência sugerido por Damásio (2010)

Tabela 1.6 - Eficiência física e econômica de organizações associativas de catadores

Produtividades relativas	N. de organizações Média Simples		Eficiência física (kg/catador/mês)		Eficiência econômica (R\$/catador/mês)	
			Desvio Padrão	Média Simples	Desvio Padrão	
Alta eficiência	12	14 %	2.311,9	490,9	855,60	209,86
Média eficiência	22	27 %	1.592,1	501,7	504,55	152,68
Baixa eficiência	29	35 %	957,9	326	313,68	118, 81
Baixíssima	20	24 %	304	240,3	115,52	95,15

Fonte: Damásio, 2010. Adaptado.

Observa-se que a produtividade utilizada pelos autores que tratam de dimensionamento de CT é superior à média encontrada por Damásio (2010) até mesmo para a faixa de alta eficiência, pois considerando uma produção mês de 200 kg/dia em 26 dias de trabalho, teremos 5.200 kg/mês.

6.4 Custos de implantação e operação de CT

A mensuração de custos de implantação e operação de unidades de triagem no Brasil tem sido baseada em concepções definidas por Brasil (2008) e IBAM (2012) as quais indicam uma padronização em termos de área, obras, equipamentos e recursos humanos.

A base de cálculo para a definição do quantitativo de resíduos processados nestas unidades tem como pressuposto taxas de geração *per capita* da ordem de 0,8 kg/hab./dia (BRASIL, 2008; BRASIL, 2012; BNDES, 2013; IBAM, 2012). As tabelas 1.7 e 1.8 apresentam os custos de implantação e operação de CT, respectivamente.

Tabela 1.7 - Custo de Implantação de centrais de triagem de resíduos

Pop. atendida	Área do galpão (m ²)	Capacidade (t/dia)	Custo unitário (R\$/t.dia)		Referência
			Data base do estudo	Atualizado para 2015	
20.000-30.000	300	1,00	29,615	47,75	Brasil (2008)
40.000-50.000	600	2,00	28,49	45,93	
75.000	1200	4,00	28,02	45,19	
30000	1000	1,94	64,71	83,75	IBAM (2012)
100000	1500	6,47	31,61	40,91	
250000	2500	16,19	21,15	27,38	
> 30.000	-	1,00	33,00	42,71	BNDES (2013)
30.000-100.000	-	2,00	16,00	20,71	
100.000-250.000	-	16,00	17,00	22,00	
250.000-1.000.000	-	80,00	12,00	15,53	
> 100.000	-	325,00	6,00	7,76	

Fonte: as autoras.

Tabela 1.8 - Custo de operação de centrais de triagem de resíduos

Pop atendida	Área do galpão (m ²)	Capacidade (t/dia)	Custo unitário (R\$/t.dia)		Referência
			Data base do estudo	Atualizado para 2015	
20.000-30.000	300	1,00	-	-	Brasil (2008)
40.000-50.000	600	2,00	-	-	
75.000	1200	4,00	-	-	
30.000	1000	1,94	292,39	364,03	IBAM (2012)
100.000	1500	6,47	252,59	314,48	
250.000	2500	16,19	232,38	289,33	

continua →

continuação

Pop atendida	Área do galpão (m ²)	Capacidade (t/dia)	Custo unitário (R\$/t.dia)		Referência
			Data base do estudo	Atualizado para 2015	
> 30.000	-	1,00	490,00	552,27	BNDES (2013)
30.000-100.000	-	2,00	470,00	529,73	
100.000-250.000	-	16,00	500,00	563,54	
250.000-1.000.000	-	80,00	100,00	112,71	
> 100.000	-	325,00	80,00	90,17	

Fonte: as autoras.

6.5 Centrais de valorização

O armazenamento dos materiais recicláveis por um período maior de tempo pode vir a permitir a otimização nos processos de comercialização dos materiais submetidos à triagem. Estes locais de armazenamento temporário são denominados neste estudo como CV.

As etapas de separação, triagem e enfardamento podem agregar valor aos materiais recicláveis. No entanto, as etapas posteriores de beneficiamento podem gerar maior renda para as OCMR. Este beneficiamento pode ser trituração, moagem, flocagem, entre outros. Para que possam atender diretamente às exigências das indústrias as mesmas devem ter condições de garantir quantidade, qualidade e regularidade do fornecimento, o que acaba sendo muitas vezes inviável pelas centrais de triagem, devido à falta de espaço para o armazenamento de grandes quantidades de materiais. Quando as associações e cooperativas não conseguem armazenar grandes volumes, pode ocorrer a venda de seus produtos a atravessadores por preços inferiores ao valor real de mercado (SOTO, 2011).

Para as CV deste estudo foi considerada a organização logística em rede, com recebimento de materiais advindos de CT participantes da SLR, objetivando a comercialização direta de seus produtos às indústrias recicladoras. O ganho principal propiciado pela CV é a oportunidade de melhoria de preço de comercializada pelo estoque de materiais. Nestas CV poderão também ser realizadas atividades de beneficiamento primário para agregação de valor aos materiais com melhoria no preço de venda e aumento do mercado. Neste

caso, devem ser considerados os custos de implantação e operação referentes às estas atividades, bem como os custos referentes aos controles ambientais dos respectivos processos.

Para a escolha dos equipamentos utilizados nas CV deve-se analisar o mercado local de compradores de materiais recicláveis para avaliar quais tipos de beneficiamento agregam maior valor (MARTINS *et al.*, 2016).

Assim como centrais de triagem, as CV também precisarão de local de recepção (com depósito, banheiros, escritório e cozinha), depósitos e baias para estocar os materiais a serem comercializados. Em relação à estrutura indica-se a construção de galpão de materiais de concreto e metal, semelhante aos galpões de associações de triagem e deve haver baias em número suficiente para o armazenamento dos diferentes tipos de materiais recicláveis. Devem ser previstas áreas cobertas, adequadamente dimensionadas e equipadas para o desenvolvimento das atividades de recepção, pesagem, armazenamento, beneficiamento e comercialização (MARTINS *et al.*, 2016).

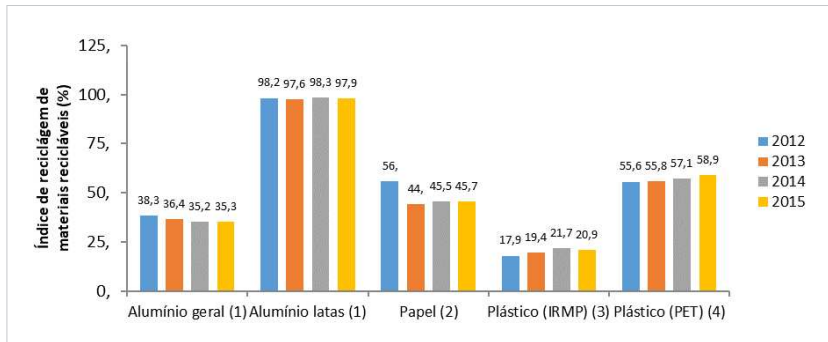
6.6 Mercado de reciclagem de resíduos

A cadeia produtiva de materiais recicláveis identifica um fluxo de processos, que após o consumo, funciona no sentido da reinserção destes em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, com o objetivo da redução de rejeitos, seja através da reutilização ou da reciclagem (IBAM, 2009).

O mercado da reciclagem tem como principais produtos as embalagens fabricadas a partir de plásticos, papéis, vidros e metais diversos, ocorrendo também produtos compostos como as embalagens conhecidas como “tetrapak”² ou “longa vida”, dentre outros. Sendo que os três setores industriais que possuem considerável participação nas atividades de reciclagem no Brasil são os de alumínio, papel e plástico.

A Figura 1.10 apresenta os índices de reciclagem para esses materiais, os quais mostram, de maneira geral, uma estabilidade no período analisado.

2 Metonímia com base no nome de uma empresa fabricante de embalagens, Tetrapak.

Figura 1.10- Índices de reciclagem do alumínio, papel e plástico³

Fonte: ABRELPE, 2015. Adaptado.

6.7 Papel

A reciclagem do papel significa fazer papel empregando como matéria-prima papéis, cartões, cartolina e papelões provenientes de sobras geradas no processo de fabricação destes materiais e de artefatos pré e pós-consumo (CEMPRE, 2010).

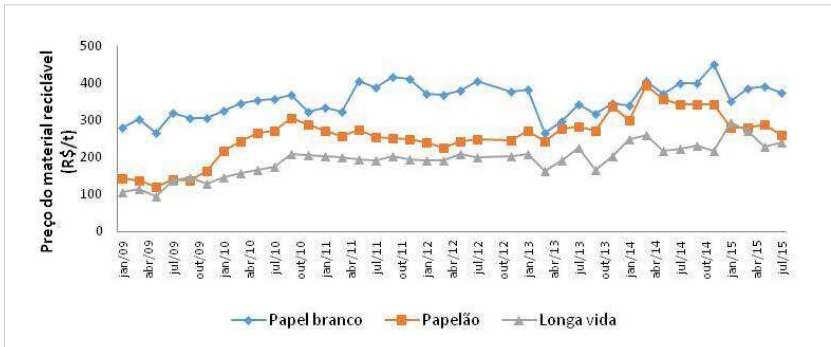
Observa-se uma tendência mundial para o aumento do consumo de papel reciclado e também da atividade de reciclagem do papel. Em alguns países, como a China, as taxas de consumo de papel reciclado são muito mais elevadas do que a própria atividade de reciclagem. Em outros países, tais como a França, o Japão e os Estados Unidos, a produção de material reciclado chega mesmo a ser superior ao consumo nacional desse material (VIDAL; HORA, 2011).

Como o processo de reciclagem do papel é função do tipo de papel a ser processado é necessária sua triagem nos diversos tipos de Papéis (embalagens, papéis de imprimir e escrever, especiais, cartões e cartolinas, entre outros) o que torna as associações de catadores atores importantes no processo de reciclagem desse material por fazerem exatamente essa segregação dos materiais. No Brasil, a maior parte dos resíduos de papéis reciclados é utilizada na produção de novas embalagens (80 %), papéis sanitários (18 %) e impressão (2 %) (VIDAL; HORA, 2011).

3 Índice de Reciclagem Mecânica de Plásticos (IRPM); (1) Associação Brasileira de Alumínio (ABAL); (2) Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA); (3) Associação Brasileira da Indústria de Plástico (ABIPLAST); (4) Associação Brasileira de indústria de PET (ABIPET).

A Figura 1.11 apresenta uma série histórica do preço médio de venda de algumas tipologias de papel em algumas cidades do Brasil.

Figura 1.11 - Valores médios de venda do papel branco, papelão, e embalagem longa vida pós-consumo



Fonte: Base de dados CEMPRE, 2016.

A Tabela 1.9 apresentam os valores médios de venda do papel branco, papelão e embalagem longa vida.

Tabela 1.9 - Valores médios de venda do papel e embalagem longa vida (2009-2015)

Material	Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Papelão	Média (R\$/t)	139,84	268,48	259,56	241,24	280,00	348,15	276,63
	Desvio Padrão (R\$/t)	55,51	97,30	75,01	65,29	77,10	102,06	71,71
	N	74	79	91	85	64	54	38
Papel Branco	Média (R\$/t)	297,43	346,96	380,07	380,00	327,62	395,09	376,75
	Desvio Padrão (R\$/t)	137,99	141,31	159,37	176,55	105,76	125,11	99,06
	N	74	79	91	85	63	54	36
Embalagem longa vida	Média (R\$/t)	120,68	170,55	203,75	211,24	199,11	226,17	237,36
	Desvio Padrão (R\$/t)	49,67	81,83	94,41	82,41	83,56	78,87	126,22
	N	59	60	81	75	56	47	36

Fonte: Base de dados CEMPRE, 2016.

6.8 Plástico

O consumo brasileiro de plástico gira em torno de 6,2 milhões de toneladas e cresce em média de 5 % ao ano. Desse total, 26 % são embalagens para indústria alimentícia; 15 % são peças e produtos para uso na construção civil; 10 % são utilidades domésticas e bens de consumo; 8 % são embalagens para produtos de higiene e limpeza; 4 % são destinados aos produtos utilizados no setor agrícola, como mangueiras, lonas, etc. (SINPLAST, 2011). O Quadro 1.6 apresenta os três tipos de reciclagem do plástico e seus respectivos conceitos.

Quadro 1.6 - Tipos de reciclagem do plástico

Tipos de Reciclagem	Conceito
Mecânica	É o método mais comum. Consiste em transformar os plásticos em pequenos granulados, que podem ser utilizados na produção de novos materiais, como saco de lixo, mangueiras, embalagens não alimentícias, peças de automóveis etc.
Química	Trata-se do modelo mais elaborado, que processa os plásticos para transformá-los em matéria-prima para a criação de produtos de elevada qualidade.
Energética	Consiste na tecnologia que transforma o plástico em energia térmica e elétrica, aproveitando, por meio da incineração, o poder calorífico armazenado neles. Além disso, esse tipo de reciclagem permite também que os plásticos sejam aproveitados como combustível.

Fonte: FORLIN; FARIA, 2002. Adaptado.

A reciclagem mecânica é o método de reciclagem mais utilizado, entretanto só pode ser realizado em produtos que possuem apenas um tipo de resina, quanto mais misturado e contaminado, mais complicada se torna a reciclagem mecânica (FORLIN; FARIA, 2002). O Quadro 1.7 apresenta algumas possíveis destinações por tipologia de plástico.

Quadro 1.7 - Destinação do plástico reciclado por tipologia⁴

Tipo de plástico reciclado	Principal destinação
PET	Indústria têxtil
PEBD e PEBDL	Agropecuária e construção civil
PEAD	Sacolas
PVC	Tubulações (água)

Fonte: COLTRO *et al.*, 2008. Adaptado.

4 Politereftalato de etileno (PET); Polietileno de baixa densidade (PEBD); Polietileno linear de baixa densidade (PEBDL); Polietileno de Alta Densidade (PEAD); Policloreto de Vinila (PVC).

No Brasil o mercado de consumo de plásticos reciclados é diverso como mostra a Figura 1.12.

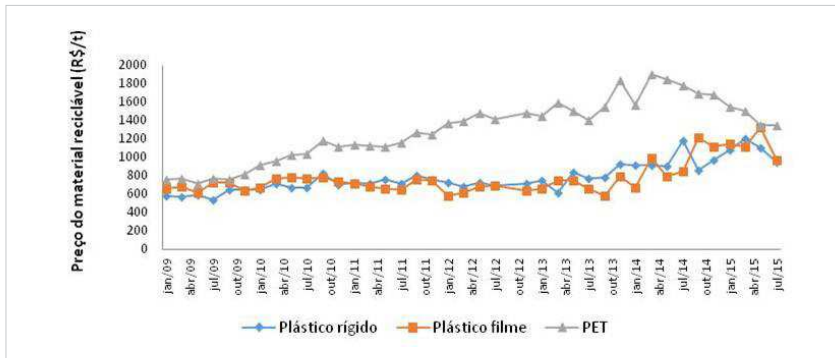
Figura 1.12 - Mercados consumidores do plástico reciclado em 2011 no Brasil⁵



Fonte: PLASTIVIDA, 2012. Adaptado.

A Figura 1.13 apresenta o preço médio de venda de plástico em algumas cidades do Brasil.

Figura 1.13 - Valores médios de venda do plástico rígido, plástico filme e PET para reciclagem



Fonte: Base de dados CEMPRE, 2016.

5 Outros: Infraestruturas, limpeza doméstica, eletroeletrônico, automobilístico, móveis, brinquedos, calçados, materiais escolar/escritórios.

A Tabela 1.10 apresenta os valores médios de venda do plástico rígido, PET e plástico filme em algumas cidades brasileiras.

Tabela 1.10 - Valores médios de venda de plástico (2009-2015)

Material	Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Plástico rígido	Média (R\$/t)	620,89	706,97	770,62	712,74	779,76	909,94	982,61
	Desvio Padrão (R\$/t)	278,44	264,18	316,16	300,20	288,86	480,45	410,28
	N	71	79	91	84	63	53	36
Plástico filme	Média (R\$/t)	651,37	719,34	704,10	637,05	667,46	908,07	1041,94
	Desvio Padrão (R\$/t)	277,01	255,38	293,21	258,84	295,65	325,54	342,47
	N	73	73	89	83	57	54	36
PET	Média (R\$/t)	701,35	893,16	1105,49	1318,59	1430,64	1608,42	1296,32
	Desvio Padrão (R\$/t)	183,19	311,62	424,71	420,11	392,67	379,23	412,62
	N	74	79	91	85	64	55	38

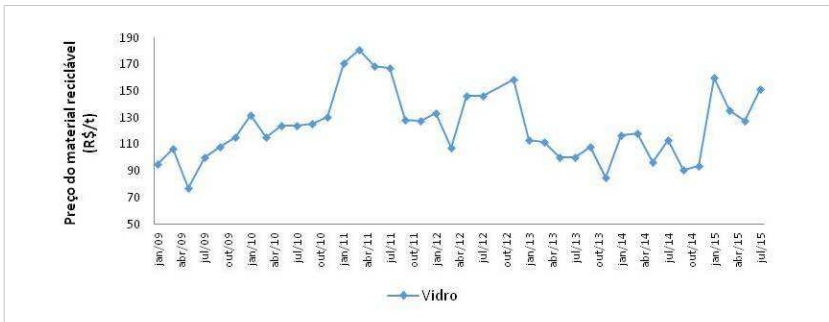
Fonte: Base de dados CEMPRE, 2016.

6.9 Vidro

O vidro é 100 % reciclável, não ocorrendo perda no processo de reciclagem. Entretanto alguns produtos de vidro não são recicláveis por conterem em sua composição elementos que impedem a reciclagem como, espelhos, ampolas de medicamentos, entre outros. (CEMPRE, 2010). Para municípios localizados próximos às fabricas de vidro, a melhor forma encontrada para a reciclagem é quebrá-los e vende-los na forma de cacos diretamente para as fábricas. Já para municípios distantes das fábricas os vidros podem ser vendidos na forma de cacos para outras funcionalidades como (CEMPRE, 2010):

- Material de enchimento;
- Material abrasivo;
- Matéria-prima para fitas cerâmicas;
- Fabricação de tijolos de vidro;
- Fabricação de microesferas de vidro; e
- Entre outros.

A Figura 1.4 apresenta os valores médios de venda do vidro incolor.

Figura 1.14 - Valores médios de venda do vidro incolor

Fonte: CEMPRE, 2016.

A Tabela 1.11 apresenta os valores médios de venda de vidros em cidades brasileiras.

Tabela 1.11 - Valores médios de venda de vidros (2009-2015)

Material	Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Vidro	Média (R\$/t)	94,37	141,23	151,69	129,60	94,80	91,12	123,17
	Desvio Padrão (R\$/t)	46,26	108,81	139,66	67,77	48,86	63,10	86,33
	N	57	66	80	75	49	41	30

Fonte: CEMPRE, 2016.

6.10 Metal

Segundo a CEMPRE (2010) a maior parte dos metais presentes nos RSU é aquela proveniente de embalagens, principalmente as alimentícias, como latas e tampas de recipientes de vidro. Em menor quantidade, encontram-se no resíduo urbano metais provenientes de utensílios e equipamentos como panelas, esquadrias, peças de eletrodomésticos, etc.

Um fator que impulsiona o mercado de sucatas metálicas é o fato que seu uso economiza uma grande quantidade de energia que seria necessária no uso de metais primários. Segundo o CEMPRE (2010), consome-se vinte vezes mais energia para processar alumínio primário e 3,7 vezes mais para processar o aço quando comparados com o gasto utilizando-se materiais reciclados. A Figura 1.15

apresenta os valores médios de venda de latas de aço e alumínio em algumas cidades do Brasil.

Figura 1.15 - Valores médios de venda de latas aço e alumínio



Fonte: Base de dados CEMPRE, 2016.

A Tabela 1.12 apresentam os valores médios de venda de latas de alumínio e latas de aço em algumas cidades brasileiras.

Tabela 1.12 - Valores de venda das latas de aço e latas de alumínio (2009-2015)

Material	Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Latas de aço	Média (R\$/t)	153,65	232,36	233,26	250,39	255,00	259,31	228,94
	Desvio Padrão (R\$/t)	81,32	94,32	82,04	80,40	115,60	92,04	85,68
	N	74	72	86	77	60	51	35
Latas de alumínio	Média (R\$/t)	1772,86	2130,14	2510,99	2448,47	2375,71	2646,36	2953,19
	Desvio Padrão (R\$/t)	459,02	295,19	384,84	287,19	376,00	535,66	651,81
	N	70	73	91	85	63	55	36

Fonte: Base de dados CEMPRE, 2016.

7 Desafios na implementação dos sistemas de logística reversa

A logística reversa é importante como estratégia de negócios sustentáveis e lucrativos. No entanto, existem diversos fatores críticos internos, externos que afetam as atividades inerentes à LR de uma organização. Os principais resultados dos estudos analisados por Gonçalves-Dias *et al.* 2012 demonstram certas dificuldades na estruturação da logística reversa, principalmente no que diz respeito à interação dos atores na cadeia, às normas de regulação da cadeia reversa e estratégias de inovação tecnológica e gerencial.

No Quadro 1.8 são apresentados os principais fatores que afetam os SLR, sendo um estudo realizado em Portugal, onde já tem SLR implementados (BARROSO; MACHADO, 2005) e um realizado na China, onde há poucas iniciativas sobre o assunto (ABDULRAHMANA *et al.*, 2014). Esses estudos apresentam diferentes aspectos em decorrência do estágio de amadurecimento da prática de LR no País.

Quadro 1.8 - Fatores impactantes na implementação e operacionalização de SLR

Categoria	Fatores impactantes	País
Consumidor	Dificuldade em manter um sistema economicamente viável de coleta de resíduos, atendendo a dispersão dos potenciais fornecedores.	Portugal (a)
Mercado de reciclagem	Compreende a procura de produtos recuperados, na forma de material reciclado e/ou produtos/componentes reutilizáveis.	
Legislação	Garantias em relação à entrada de resíduos no sistema para sua viabilidade.	
Concorrência	Diz respeito ao nível de competitividade dos fornecedores de resíduos.	
Custos estratégicos	Custo para desmontar os resíduos, o custo de qualificação dos recursos humanos para operar o SLR e o custo associado à armazenagem adicional.	
Serviço ao cliente	Para qualquer sistema logístico ser eficiente é essencial a identificação e satisfação dos requisitos do serviço ao cliente.	
Aspectos ambientais	Se considerados na definição da estratégia da empresa, podem conduzir à redução de custos e a melhorias ambientais.	
Custos operacionais	Custo-benefício de transporte, armazenagem, gestão do abastecimento, embalagem, bem como desmontagem e reprocessamento.	

continua →

continuação

Categoria	Fatores impactantes	País
Aspectos legais e políticos	Falta de leis e diretrizes eficazes para a coleta de produtos em fim de vida e de políticas econômicas governamentais de apoio à implementação LR.	China(b)
Gestão	Baixo comprometimento com práticas de LR. Falta de especialista no nível gerencial da LR e de pessoal qualificado.	
Financeira	Falta de capital inicial e de recursos para sistemas de monitoramento do fluxo de retorno.	
Infraestrutura	Falta de sistemas (hardware/software) para monitorar os fluxos de retorno, falta de coordenação com os prestadores terceirizados, e de instalações de armazenagem, equipamentos de manuseio e veículos.	

Fonte: BARROSO; MACHADO (2005)^(a) e ABDULRAHMANA *et al.* (2014)^(b). Adaptado.

Ao se analisar os EVTE já elaborados para SLR no Brasil, foi possível categorizar uma variedade de desafios que os setores produtivos estão enfrentando ou preveem surgir no decorrer da sua implementação.

Esses desafios foram divididos em três categorias, relacionadas aos aspectos políticos e legais, aspectos operacionais e aspectos relacionados às questões sociais. As questões levantadas nessas categorias necessitam ser consideradas na proposição e operacionalização dos SLR, pois podem interferir no alcance das metas estabelecidas pelos instrumentos reguladores desses sistemas.

7.1 Desafios legais e normativos

Os desafios apresentados pelos setores produtivos nos EVTE foram analisados em relação aos aspectos políticos e legais são apresentados no Quadro 1.9.

Quadro 1.9 - Desafios dos SLR no Brasil em relação aos aspectos legais e normativos

Categorias	Desafios
Legislação e normatização	Necessidade de revisão da legislação em relação às questões relacionadas ao gerenciamento dos resíduos perigosos que estão no SLR;
	Necessidade ou não de termo de doação no caso da transferência de Resíduos Eletroeletrônicos;
	Custeio de produtos órfãos;
	Complementação de marco regulatório com objetivo de não favorecer o desenvolvimento de negócios sem atendimento aos requisitos legais e técnicos relacionados aos SLR;
	Estabelecimento de metas para utilização de matéria-prima secundária.

continua 

continuação

Categorias	Desafios
Aspectos tributários	Definição de critérios para isenção de tributação da atividade de LR;
	Promoção do mercado da reciclagem através de incentivos fiscais pelo uso de material reciclado, venda de produtos com conteúdo reciclável ou com design ecológico.
Instrumentos financeiros	Linhas de crédito para investimentos em infraestrutura das recicladoras regionais;
	Criar incentivos no mercado para vários atores envolvidos nos SLR.
Controle governamental	Promover a articulação entre fabricante, importadores, comércio, recicladores e poder público para alinhamento dos objetivos do SLR, com criação de instrumentos de controle para garantir que todos se vinculem aos seus respectivos SLR;
	Regulamentação dos acordos setoriais possibilitando a fiscalização dos procedimentos estabelecidos.

Fonte: ABDI (2012, 2013); GRANT THORNTON (2011); IBAM(2012) e SINDICOM (2012).

7.2 Desafios operacionais

Os desafios apresentados pelos setores produtivos nos EVTE foram analisados, em relação aos aspectos operacionais, são apresentados no Quadro 1.10.

Quadro 1.10 - Desafios dos SLR no Brasil em relação aos aspectos operacionais

Categorias	Desafios
Modelo operacional	Estabelecer parcerias com associações e cooperativas para suporte operacional dos SLR;
	Estabelecer um comitê de acompanhamento da implantação do sistema, de forma a se implementar os ajustes necessários para eficácia do modelo;
	Detalhar o fluxo de informações e interfaces com o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR);
	Detalhar as condições e o processo de formalização e cadastro das organizações gestoras.
Incentivo à pesquisa, desenvolvimento e informação	Fomentar pesquisa para desenvolvimento de novas técnicas de reciclagem;
	Aplicações das matérias-primas recicladas e ecodesign;
	Estabelecimento de taxas de reciclabilidade para as embalagens;
	Definição de critérios de qualidade para produtos elaborados com matéria-prima secundária;
	Criação de banco de dados para acesso às informações sobre o mercado de matéria-prima;
Promoção do mercado de matéria prima secundária, com especificações técnicas e ambientais.	

→ continua

continuação

Categorias	Desafios
Infraestrutura	Especificações técnicas para infraestruturas de descarte/recebimento e triagem;
	Construção de um fluxo de logística reversa sólido;
	Necessidade de conhecimento sobre a capacidade do parque reciclador nacional;
Licenciamento ambiental	Localização e qualificação das infraestruturas existentes, com reforço às capacidades instaladas para alguns setores.
	Definir condições técnicas para certificação de recicladoras que comporão o sistema;
	Definir critérios técnicos para licenciamento ambiental dos pontos de recebimento/triagens e veículo dos SLR.

Fonte: ABDI (2012; 2013); GRANT THORNTON (2011); IBAM (2012) e SINDICOM (2012).

7.3 Desafios sociais

Os desafios apresentados pelos setores produtivos analisados, em relação aos aspectos sociais, são apresentados no Quadro 1.11 e trazem questões relacionadas à qualificação de mão de obra e adesão da população no retorno de embalagens e produtos pós-consumo.

Quadro 1.11 - Desafios dos SLR no Brasil em relação aos aspectos sociais

Categorias	Desafios
Mão de obra	Capacitar mão de obra na área de gestão e operação dos SLR;
	Capacitar as organizações de catadores com vistas a sua estruturação para o SRL.
Participação da população	Criar de amplo programa de educação ambiental e de sensibilização da população.
Canais de comunicação	Orientar para a mudança de cultura do consumidor, comerciante e suas equipes quanto ao manuseio e segregação adequada e posterior devolução dos resíduos;
	Promover ações de divulgação e conscientização.

Fonte: ABDI (2012; 2013); GRANT THORNTON (2011); IBAM (2012) e SINDICOM (2012).

Conclusões

Neste capítulo aponta-se uma série de desafios para o desenvolvimento e operacionalização dos SLR que necessitam ser analisados com cautela, pois são indicativos de possíveis gargalos para

os futuros sistemas que irão ser implantados no Brasil. Questões como adequação de legislação e normatização, aspectos tributários, instrumentos financeiros e licenciamento ambiental necessitam diretamente da atuação do Governo Federal. Existe também a necessidade do controle governamental, tanto como articulador entre os elos das cadeias produtivas, como na regulamentação e fiscalização do cumprimento dos acordos setoriais.

Avaliando os SLR já em operação no Brasil conclui-se também que indicadores de desempenho desses sistemas devem medir não apenas as taxas de retorno dos materiais, mas também a sua cobertura e abrangência, visto que altos índices são atingidos mesmo deixando de atender um grande percentual de municípios de médio e pequeno porte.

Em relação aos desafios operacionais, a definição do modelo operacional e a relação entre os agentes responsáveis pela gestão compartilhada são fatores decisivos. No caso das embalagens em geral, sua forte relação com os SMCS e com a catação informal que ocorre no Brasil necessita de grande atenção pelo setor empresarial e setor público para não haver sobreposição de ações.

Questões como normatização de procedimentos, principalmente quanto se trata de licenciamento ambiental e transporte dos produtos e consolidação de dados sobre a infraestrutura logística, também são apontados como desafios para os SLR.

É importante observar que no Brasil a legislação define que a responsabilidade pelo gerenciamento dos resíduos sólidos é compartilhada entre fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, setor público e consumidor, enquanto nos países na zona do Euro a responsabilidade do fabricante é estendida, alargada, integral. Este diferencial faz com que no Brasil o consumidor tenha que ser tratado como protagonista da política.

Referências

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica.** [S.l: s.d.], 2012.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Logística Reversa para o setor de Medicamentos.** [S.l: s.d.], 2013.

ABDULRAHMANA, M. D.; GUNASEKARAN, A.; SUBRAMANIAN, N. Critical barriers in implementing reverse logistics in the Chinese manufacturing sectors. **International Journal of Production Economic**, [S.l], v. 147, p. 460-471, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - 2014.** São Paulo, 2015.

AGRAWAL, S.; RAJESH, K.; SINGH, R. K.; MURTAZA, Q. A literature review and perspectives in reverse logistics. **Resources, Conservation and Recycling**, [S.l], v. 97, p. 76-92, 2015.

AITKEN, J.; HARRISON, A. Supply governance structures for reverse logistics systems. **International Journal of Operations & Production Management**, [S.l], v. 33, n. 6, p. 745-764, 2013.

ALUMUR, S. A.; NICKEL, S.; SALDANHA-DA-GAMA., F; VERTER, V. Multi-period reverse logistics network design. **E. J. of Operational Research**, [S.l], v. 220, n. 1, p. 67-78, 2012.

AQUINO, I. F.; CASTILHO JUNIOR, A. B.; PIRES, T. S. L. A organização em rede dos catadores de materiais recicláveis na cadeia produtiva reversa de pós-consumo da região da grande Florianópolis: uma alternativa de agregação de valor. **Revista Gestão & Produção**, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 15-24, 2009.

AUTRY, CH. Formalization of reverse logistics programs: a strategy for managing liberalized returns. **Industrial Marketing Management**, [S.l], v. 34, p. 749-757, 2005.

BARBOSA, R. F; BRAGATO, L. C, V.; PIMASSONI, L. H. S. Quantificação do grau de conscientização Ambiental e do consumo ecológico em dois bairros de classes sociais distintas no Município de São Gabriel da Palha (ES). **Revista Científica Faesa**, v. 8, n. 1, p. 27-40, 2012.

BARROSO, A. P.; MACHADO, V. H. A Gestão da Logística Reversa dos resíduos em Portugal. **Investigação Operacional**, [S.l.], v. 25, 179-194, 2005.

BASSANI, P. D. **Caracterização de resíduos sólidos de coleta seletiva em condomínios residenciais**: estudo de caso em Vitória (ES). 2011, 187 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO (BNDES). FUNDAÇÃO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (FADE). Produto 10: relatório final de avaliação técnica, econômica e ambiental das técnicas de tratamento e destinação final dos resíduos. **Pesquisa Científica BNDES FEP** n. 02/2010. Contrato n. 11.2.0519.1. 2013.

BRAGA, F. S.; NÓBREGA, C.C.; HENRIQUES, V. M. Estudos da composição gravimétrica dos resíduos domiciliares em Vitória (ES). **Revista Limpeza pública**, São Paulo, n. 55, p. 11-18, 2000.

BRASIL. Lei n. 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília – DF, n. 5, p. 3, 08 jan. 2007.

BRASIL. Lei n. 11.107, de 6 de abril de 2005. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 2005, n.66, p. 1, 07 abr. 2005b.

BRASIL. Lei n. 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília – DF, n. 5, p. 3, 08 jan. 2007a.

BRASIL. Decreto n. 6.017, de 17 de Janeiro de 2007. Regulamenta a Lei n. no 11.107, de 6 de abril de 2005. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 2007, n. 13, p. 1, 18 jan. 2007b.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília – DF, n. 147, p. 3, 03 ago. 2010a.

BRASIL. Decreto n. 7.404/2010. Regulamenta a Lei n. n. 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 2010, n.245-A, p. 1, 23 dez. 2010b.

BRASIL. Decreto n. 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei n. no 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 2010, n.117-A, p. 1, 22 jun. 2010c.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Elementos para a organização da coleta seletiva e projeto de galpões de triagem**. Brasília, 2008. 53 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). **Diagnóstico do Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos – 2014**. 2016a. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos/diagnostico-rs-2014/>. Acesso em: 15 jun. 2016.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). **Série Histórica - 2014**. 2016b. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 15 jun. 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 362/2005. Dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília,, 2005, n. 121, p. 128-130, 27 jun. 2005a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 401/2008. Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 2008, n. 215, p. 108-1090, 05 nov. 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 416/2009. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1 , Brasília, DF, 2009, n. 188, p. 64-65, 01. out. 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 450/2012. Altera os arts. 9.º; 16; 19; 20; 21; 22, e acrescenta o artigo 24-A à Resolução n. 362, de 23 de junho de 2005. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, 2012, n. 46, p. 61, 07 mar. 2012a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado – dados de 2014**. Brasília, 2015. Disponível em:

http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/174D441A/Relatorio_Resol_CONAMA362_2005_MMA.pdf. Acesso em: 04 abr. 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Melhoria da Gestão Ambiental Urbana no Brasil – BRA/OEA/08/001. **Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios Públicos**. Brasília, 2011. 75 p.

BRINGHENTI, J. R. **Programas de Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Urbanos**: aspectos operacionais e da participação da população. 2004. 316 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública da USP, São Paulo, 2004.

BRINGHENTI, J. R.; LAIGNIER, I. T. R.; LOUZADA, J. P.; BRUNETTI, O. B.; ROMANO, E. B. Gerenciamento de programas de coleta seletiva de lixo em condomínios residenciais: um estudo de caso. *In*: CONGRESSO INTERAMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA ASOCIACIÓN INTERAMERICANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL (AIDIS), 2009, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires: AIDIS, 2009.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Pesquisa Ciclosoft 2012**: radiografando a coleta seletiva. 2012. Disponível em <https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/08/Ciclosoft2012.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2015.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Pesquisa Ciclosoft 2014**: radiografando a coleta seletiva. 2014. Disponível em <https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/08/Ciclosoft-2014.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2015.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Base de dados dos preços dos materiais recicláveis de 2009 a 2015**. 2016. Disponível em <http://cempre.org.br/servico/mercado2015>. Acesso em: 20 jan. 2016.

CERQUEIRA, C. L.; SPECK, H. G.; MURATA, A. T. A Estratégia da Integração Vertical: estudo de caso da cooperativa de valorização de materiais recicláveis do Paraná. *In*: ENCONTRO DE ESTUDOS SOBRE EMPREENDEDORISMO E GESTÃO DE PEQUENAS EMPRESAS (EGEPE), 8., 2014, Goiânia. **Anais...**, 2014.

COLTRO, L.; GASPARINO, B. F.; QUEIROZ, G. de C. Reciclagem de materiais plásticos: a importância da identificação correta. **Polímeros**, São Carlos, v. 18, n. 2, p. 119-125, 2008

DAMÁSIO, J (Coord.). **Cadeia produtiva da reciclagem e organização de redes de cooperativas de catadores:** oportunidades e elementos críticos para a construção de tecnologia social de combate à pobreza e inclusão social no estado da Bahia. Relatório Final de Pesquisa. Bahia: FAPESB, 2008.

DAMÁSIO, J (Coord.). **Impactos socioeconômicos e ambientais do trabalho dos catadores na cadeia da reciclagem.** Relatório Final. Brasília: MDS/Pangea, 2010.

DAT, L. Q.; TRUC, D. T. L.; CHOU, S. Y.; YU, V. F. Optimizing reverse logistic costs for recycling end-of-life electrical and electronic products. **Expert Systems with Applications**, [S.l.], v. 39, p. 6.380-6.387, 2012.

FLEISCHMANN, M.; BLOEMHOF-RUWAARD, J. M.; DEKKER, R.; VAN DER LAAN, E.; VAN NUNEN, J. A. E. E; VAN WASSENHOVE, L. N. Quantitative models for reverse logistics: a review. **European Journal of Operational Research**, [S.l.], v. 103, 1997, p. 1- 17.

FLEISCHMANN, M.; BEULLENS, P.; BLOEMHOF-RUWAARD, J. M.; VAN WASSENHOVE, L. N. The impact of product recovery on logistics network design. **Production and Operation Management**, [S.l.], v.10, n. 2, p. 156-173, 2001.

FORLIN, F. J.; FARIA, J. de A. F. Considerações Sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 1 p. 1-10. 2002. Disponível em: <https://www.revistapolimeros.org.br/doi/10.1590/S0104-14282002000100006> . Acesso em: 20 abr. 2015.

GARCÍA-RODRÍGUEZ, F. J.; CASTILLA-GUTIÉRREZ, C.; BUSTOS-FLORES, C. Implementation of reverse logistics as a sustainable tool for raw material purchasing in developing countries: the case of Venezuela. **International Journal Of Production Economics**, [S.l.], v. 141, p. 582-592, 2013.

GIANNETTI, B. F.; BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. M. V. B. An emergy-based evaluation of a reverse logistics network for steel recycling. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 46, p. 48-57, 2013.

GONÇALVES-DIAS, S. L. F.; LABEGALINI, L.; CSILLAG, J. M. Sustentabilidade e cadeia de suprimentos: uma perspectiva comparada de publicações nacionais e internacionais. **Produção**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 517-533, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/fp3vDcGVDCWhhgfnbdqw73N/?lang=pt>, Acesso em: 14 abr. 2017.

GRANT THORNTON. **Viabilidade técnica e econômica em logística reversa na organização da coleta e reciclagem de resíduos de lâmpadas no Brasil**. 2011. Disponível em: http://www.sinir.gov.br/documents/10180/13560/EVTE_LAMPADAS/. Acesso em: 12 set. 2014.

GUARNIERI, P.; CHRUSCIACK, D.; OLIVEIRA, I. L. de; KAZUOHATAKEYAMA; CANDELARI, L. WMS – Warehouse management System: adaptação proposta para o gerenciamento da logística reversa. **Produção**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 126-139. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/QqnCJKQh4CT4xm4VMkKwPSm/?lang=pt/>. Acesso em: 12 set. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação da logística reversa por cadeia produtiva - Componente: produtos e embalagens pós-consumo**. 2012. Disponível em: http://www.sinir.gov.br/documents/10180/13560/EVTE_PRODUTOS_EMBALAGENS_POS_CONSUMO/. Acesso em: 13 set. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável - Brasil**, 2012. Rio de Janeiro, 2012.

ILGIN, M. A.; GUPTA, S. M. Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): a review of the state of the art. **Journal of Environmental Management**, [S.l.], v. 91, p. 563-591. 2010.

INPEV – Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias. **Relatório de Sustentabilidade 2013. 2014**. Disponível em: <http://relatoweb.com.br/inpev/2013/>. Acesso em: 15 set. 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012.

KIZILBOGA, G.; MANDIL, G.; GENEVOIS, M.E.; ZWOLINSKI, P. Remanufacturing Network Design Modeling: a case of diesel particulate filter. **Procedia CIRP**, [S.l.], v. 11, p. 163-168, 2013.

KLASSEN, R. Exploring the Linkage between investment in manufacturing and environmental technologies. International. **Journal of Operations & Production Management**, [S.l.], v. 20, p.127-147, 2000.

LAIGNIER, I. T. R. **Caracterização gravimétrica e comercial dos resíduos sólidos urbanos recolhidos em Postos de Entrega Voluntária do Sistema de Coleta Seletiva da Prefeitura Municipal de Vitória**

(ES). 2001, 206 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.

LAJOLO, Roberto Domenico (Coord). **Cooperativa de catadores de materiais recicláveis**: guia de implantação (SEBRAE). São Paulo: IPT, 2003.

LAMERT, S.; RIOPEL, D. **Logistique inverse**: revue de littérature. Les Cahiers du GERAD, 2003.

MARTINS, N. M.; CRUZ, C. S.; COUTO, M. C. L. Composição de custos de implantação e operação de centrais de valorização de resíduos sólidos urbanos secos. **Revista Faesa**, Vitória, v.12, n. 1, p. 23-30, 2016.

MONTEIRO, José Henrique Penido (Coord.). **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2009.

MORIGAKI, M. M. **Indicadores de recuperação de material reciclável da Unidade de Triagem de Vitória (ES)**. 2003, 171 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2003.

PEPINELLI, R. F. G. **Empreendimentos econômicos solidários de catadores**: cadeias produtivas de resíduos, processos tecnológicos e parcerias. 2011. 183 p. Dissertação (Mestrado em Ciências, em tecnologias e sociedades). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2011.

PLASTIVIDA - Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos. **Monitoramento dos Índices de Reciclagem Mecânica de Plástico no Brasil (IRmP) 2011**. 2012. Disponível em: http://www.plastivida.org.br/images/temas/APresentacao_IRMP2011.pdf. Acesso em: 12 jun. 2015.

PMVNI – Prefeitura Municipal de Venda Nova do Imigrante. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Venda Nova do Imigrante (ES)**. 2014. Disponível em: <http://c2sisweb.tecnologia.ws/SisWeb/Repositorio/Arquivos/0/63215d23-b.pdf>. Acesso em: 20 set. 2015.

RAMEZANIA, M.; BASHIRI, M.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. **Applied Mathematical Modelling**, [S.l.], v. 37, p. 328-344, 2013.

RAVI, V.; SHANKAR, R.; TIWARI, M. K. Analyzing alternatives in reverse logistics for end-of-life computers: ANP and balanced scorecard approach. **Comput Ind Eng**, [S.l.], v. 48, n. 2, p. 327-356, 2015.

RICHEY, R.; CHEN, H.; GENCHEV, S.; DAUGHERTY, P. Developing effective reverse logistics programs. **Industrial Marketing Management**, v. 34, p. 830-840, 2005.

RUBIO, S.; CHAMORRO, A.; MIRANDA, F. J. Characteristics of the research on reverse logistic (1995-2005). **International Journal of Prod. Research**, [S.l.], v. 46, p. 1099-1120, 2008.

SCHULTMANN, F.; ZUMKELLER, M.; RENTZ, O. Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: An example from the automotive industry. **European Journal of Operational Research**, [S.l.], v. 171, p. 1.033-1.050, 2006.

SILVA, D. A. L.; RENÓ, G. W. S.; SEVEGNANI, G.; SEVEGNANI, T. B.; TRUZZI, O. M. S. Comparison of disposable and returnable packaging: a case study of reverse logistics in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 47, p. 377-387, 2013.

SINDICATO NACIONAL DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE COMBUSTÍVEIS E DE LUBRIFICANTES (SINDICOM). **Elaboração de Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica da Implantação da Logística Reversa para a Cadeia Produtiva do Setor de Distribuição de Combustíveis e de Lubrificantes**. 2012. Disponível em: http://www.sinir.gov.br/documents/10180/13560/EVTE_LUBRIFICANTES/. Acesso em: 12 set. 2014.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS (SINIR). **Sistemas de logística reversa**. 2021 Disponível em: <https://sinir.gov.br/logistica-reversa>. Acesso em: 10 ago. 2021.

SHEU, J. A coordinated reverse logistics system for regional management of multi-source hazardous wastes. **Computers and Operations Research**, [S.l.], v. 34, p. 1442-1462, 2007.

SOLEIMANI, H.; SEYYED-ESFAHANI, M.; SHIRAZI, M. A. A new multi-criteria scenario-based solution approach for stochastic forward/reverse supply chain network design. **Annals of Operations Research**, 2013. p. 1-23.

SOTO, M. M. T. **Análise e formação de redes de cooperativas de catadores de materiais recicláveis no âmbito da economia solidária**. 2011. 214 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

SROUFE, R.; CURKOVIC, S.; MONTABON, F.; MELNYK, S. The new product design process and design for environment. Crossing the chasm.

International Journal of Operations and Production Management, [S.l.], v. 20, n. 2, p. 267-291, 2000.

TIBBEN-LEMBKE, R. S.; ROGERS, D.S. Differences between forward and reverse logistics in a retail environment. **Supply Chain Management**, v. 7, p. 271-282. 2002.

TRAPPEY, A. M. Y.; CHARLES V. TRAPPEY, C. V.; WU, C. R. Genetic algorithm dynamic performance evaluation for RFID reverse logistic management. **Expert Systems with Applications**, [S.l.], v. 37, p. 7.329-7.335, 2010.

VIDAL, A. C.; HORA, A. B. **A indústria de papel e celulose**. 2011. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro60anos_perspectivas_setoriais/Setorial60anos_VOL1PapelECelulose.pdf Acesso: 18 nov. 2014.

VILHENA, André (Coord.). **Lixo Municipal**: manual de gerenciamento integrado. 3. ed. São Paulo: CEMPRE, 2010.

WANG, H. F.; CHEN, Y. Y. A coevolutionary algorithm for the flexible delivery and pickup problem with time windows. **I. Journal of Production Economics**, [S.l.], v. 141, p.4-13, 2013.

ZSIGRAIOVA, Z.; SEMIAO, V.; BEIJOCO, F. Operation costs and pollutant emissions reduction by definition of new collection scheduling and optimization of MSW collection routes using GIS. **Waste Management**, [S.l.], v. 33, p. 793-806, 2013.

YONGSHENG, Z.; SHOUYANG, W. Generic Model of Reverse Logistics Network Design. **J. of Transportation Systems Engineering and Information Technology**, [S.l.], v. 8, p. 71-78, 2008.

Capítulo 2

Pesquisa operacional aplicada à logística reversa

Introdução

A configuração de um SLR compreende a determinação de locais ideais e capacidades de centros de coleta, de instalações de remanufatura, de unidades de reciclagem, dentre outros, sendo necessário incorporar características que estão relacionadas à qualidade, à quantidade, aos prazos e à variedade de retornos, bem como às questões relacionadas às regras para devoluções de produtos, aos custos de coordenação ao longo da cadeia, à estimativa de operação e aos parâmetros de custos logísticos (SRIVASTAVA, 2008; KIZILBOGA *et al.*, 2013).

Entretanto, os SLR não podem ser analisados de forma simplificada, como ações de coletar e destinar produtos e embalagens pós-consumo para uma destinação adequada, seja a reciclagem ou a disposição final. Os SLR se configuram como o conjunto de competências infraestruturais (transportes, comunicações, centrais de recebimento, armazenamento e comercialização, etc.); institucionais (agências reguladoras, licenciamento ambiental, concessão de serviços públicos a empresas privadas, parcerias público-privadas, etc.); e organizacionais (conhecimento e estratégias), que conferem competitividade às cadeias produtivas que devem fazer uso do SLR (IBAM, 2012).

Alguns estudos como o de Fleischmann *et al.* (2001), Pishvaei *et al.* (2010), Ferri *et al.* (2015) têm pesquisado redes logísticas reversa com base em Programação Linear Inteira Mista (PLIM) com o objetivo de escolher o local, quantidade e capacidades de centrais de coleta e triagem, além de determinar a quantidade de fluxo entre as instalações.

No Brasil, a Lei n. 12.305/2010 traz um importante conceito de organização territorial, que consiste no agrupamento de municípios, principalmente de pequeno e médio porte, visando ampliar a economia de escala no gerenciamento de resíduos sólidos. Essas organizações territoriais são denominadas Arranjos Territoriais Ótimos (ATOS) e neste trabalho este conceito é expandido para SLR, cuja gestão e operação são de responsabilidade do setor empresarial (BRASIL, 2010a).

Na Itália, em 1994, foi editada a Lei n. Galli, obrigando a prestação dos serviços de água e esgoto de forma regionalizada por meio da gestão associada. Em 1997, o Decreto n. Ronchi estendeu a experiência para gestão dos resíduos sólidos. Em todos os ATOS se constitui uma Autoridade de Âmbito com personalidade jurídica em que participam obrigatoriamente todos os municípios. A esses ATOS são atribuídas as competências de Planejamento, Organização, Delegação e Controle do Serviço de Gestão Integrada dos Resíduos.

Diante deste cenário, desenvolveu-se uma base conceitual do modelo logístico; as variáveis de decisão e os parâmetros relevantes para o problema. Posteriormente, desenvolveu-se um modelo matemático com uma função objetivo e restrições de forma a representar o máximo o modelo conceitual desenvolvido.

Nesse Capítulo, portanto, é apresentado um modelo logístico, cujo princípio norteador é o agrupamento de municípios de pequeno e médio porte, organizados em ATOS, geradores de embalagens pós-consumo, que são transportadas para Centros de Triagem (CT). Posteriormente estes seguirão para Centrais de Valorização (CV) com o objetivo de receber consolidação de carga para agregação de valor ou mesmo beneficiamento primário, seguindo para as empresas de reciclagem. Os rejeitos dos CT são encaminhados para empresa de disposição final.

Apresenta-se também um modelo matemático desenvolvido com o objetivo de definir a melhor localização dos CT e das CV, bem como determinar os melhores fluxos entre os nós dessa rede, e desta forma, minimizar os custos de implantação, de operação e de transporte, além de maximizar a receita obtida com a venda dos materiais para as empresas recicladoras (ER). A partir destas alocações, são definidos ATOS para SLR e também a indicação de polos industriais atrativos para indústrias recicladoras se instalem para atender a este novo mercado.

1 Metodologia

Este capítulo consiste no desenvolvimento do modelo logístico para a localização de instalações destinada à logística reversa de embalagem pós-consumo com objetivo de minimizar os custos de instalação e operacionais das instalações e seus fluxos, bem como maximizar a receita com a comercialização dos materiais reaproveitáveis. Os agrupamentos das instalações comporão os ATOS para logística reversa de embalagens.

2 Construção do modelo conceitual

As ações desenvolvidas nesta fase são:

- Descrição os princípios norteadores do modelo tendo como premissa atender os critérios estabelecidos na PNRS de se buscar o ganho de escala por meio de ATOS, garantir a universalização da prestação de serviço visando assegurar que todo consumidor possa destinar as embalagens descartadas em SLR e a participação de Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis (OCMR);
- Definição das variáveis de decisão do modelo. Estas variáveis foram escolhidas a partir de artigos e trabalhos técnicos sobre a construção de modelos logísticos para a localização de infraestruturas.
- Descrição dos nós do SLR que compreende o Gerador, CT, CV e empresas recicladoras e de disposição final,
- Descrição dos aspectos relevantes que deverão ser considerados nos custos de instalação e de operação das instalações e seus fluxos, bem como na receita obtida com a comercialização.

3 Desenvolvimento do modelo matemático

Nesta fase, o modelo matemático foi desenvolvido de forma a representar o modelo conceitual proposto, descrevendo de forma matemática os aspectos considerados relevantes na composição de custos, bem como as restrições que deverão ser atendidas considerando o contexto. Ele é apresentado em cinco partes: a função objetivo, os conjuntos, os parâmetros, as variáveis de decisão, e as restrições.

Para o desenvolvimento do modelo logístico é necessário, primeiramente, estabelecer os princípios norteadores do modelo, isto é, as hipóteses que são assumidas, a saber:

- todas as embalagens devolvidas pelos clientes devem ser recolhidas;
- a quantidade de embalagens devolvidas é baseada em previsões de geração e metas de eficiência do SLR estabelecida em legislação nacional (BRASIL, 2010a; IPEA, 2012);
- os materiais transportados são de mais de uma tipologia e podem ser encaminhados para CV e para ER de forma independente um o outro;
- os rejeitos gerados nos CT seguirão para disposição final em Aterros Sanitários (AS);
- os locais de geração são fixos, predefinidos e são concentrados nas sedes municipais;
- as quantidades, localização e capacidades dos CT e CV candidatas são limitadas e conhecidas;
- não há restrição quanto à capacidade de transporte. Ou seja, as capacidades dos veículos que serão utilizados no transporte dos materiais poderão ser definidas posteriormente em função dos resultados da modelagem de localização das instalações;
- As localizações e capacidades das ER e dos AS são previamente conhecidas.

4 Desenvolvimento no Solver

O modelo matemático foi desenvolvido no *solver* IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio* (IBM, 2015), utilizando um computador equipado com processador Intel i7 e memória RAM de 16 Gb.

Este é um Software que acelera o desenvolvimento e a implementação de modelos de otimização, combinando os melhores mecanismos de resolução com um forte *Integrated Development Environment* (IDE) ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado, e linguagem de modelagem.

5 Problemas de localização de instalações

A localização de instalações, também denominado de facilidade, é um aspecto crítico do planejamento estratégico de empresas

privadas e públicas. Preocupações com a satisfação dos clientes, os custos logísticos e os resultados operacionais são relevantes e impactam na tomada de decisão da localização (CARVALHO, 2011).

O problema de localizar uma indústria, serviço, ou qualquer tipo de instalação, consiste em definir a melhor localização geográfica para sua operação. Para isso, é necessário otimizar uma determinada medida de utilidade, satisfazendo as restrições impostas pela área de estudo, tais como demanda e sua capacidade de absorção por parte da facilidade, restrições de mão de obra, entre outras (PIZZOLATO *et al.*, 2004). Instalações podem representar, por exemplo, postos de saúde, estações de bombeiros, centros de reaproveitamento, escolas, fábricas, antenas (FERRI *et al.*, 2015, MORABITO, 2015). Clientes, por sua vez, podem ser bairros, unidades de vendas, estudantes, e outros.

A Teoria de Localização utilizada dentro da economia regional, de modo geral, permite a localização ótima de uma série de equipamentos, ou serviços, alocando uma determinada demanda a eles. Para tal, geralmente, minimiza alguma função de custo, ou de distância, entre as estruturas e os pontos de demanda, ou seja, avalia aspectos econômicos das atividades (CARVALHO, 2011).

São muitos os estudos de localização de atividades econômicas embasados nos preceitos da teoria da localização. Esses estudos abrangem as mais diferentes áreas da atividade econômica, desde implantação de indústrias (STAMM *et al.*, 2004), empresas em geral (REVELLEA *et al.*, 2007; MARIANOV *et al.*, 2008), e centrais de distribuição (MAPA *et al.*, 2006; JIA *et al.*, 2007).

A teoria de localização tem sido utilizada também em estudos de atividades de prestação de serviços, tais como infraestruturas hospitalares (STUMMER *et al.*, 2004; ALSALLOUMA e RAND, 2006) e escolas (BARCELOS, PIZZOLATO e LORENA, 2004; TEIXEIRA E ANTUNES, 2008; CARVALHO, 2011).

Os procedimentos para definição de localização de instalações não podem ser generalizados a todo tipo de atividade econômica, pois cada uma apresenta especificidades que as diferem. Assim, não se pode considerar um único modelo para localização espacial das empresas. Os principais modelos de logística de localização podem ser assim classificados (DUBKE, 2006):

1. Modelos de cobertura: o objetivo é minimizar o custo de localização de uma facilidade, maximizando a área de cobertura ou influência dessa facilidade.

2. Modelos centrais: o objetivo é localizar “p” instalações em uma rede formada por pontos de consumo ou de fornecimento de um produto (os nós) e as ligações entre os pontos (rodovias, ferrovias etc.), minimizando a distância entre os vértices e a instalação, ou entre um nó de origem e a instalação mais próxima.
3. Modelos medianos: o objetivo é localizar instalações nos vértices de uma rede e alocar demandas dessas instalações de forma a minimizar o total do produto em peso vezes a distância entre as instalações e os pontos de demanda do consumidor. Ou seja, nos modelos medianos (p-mediana) o interesse está em reduzir o valor total dos custos ou o valor médio.
4. Modelos planos (planar): a demanda ocorre em qualquer lugar no plano (com coordenadas x e y);
5. Modelos de rede (*network model*): a demanda ocorre em pontos específicos da rede.
6. Modelos estáticos: são aqueles que estudam onde implantar, mas não analisam quando localizar a facilidade.
7. Modelos dinâmicos: considera-se a questão de onde e quando localizar (são modelos que contêm informações de vários períodos de tempo).
8. Modelos probabilísticos (estocásticos): são os modelos sujeitos a incertezas, com isso, tentam capturar essas incertezas.
9. Modelos determinísticos: são os modelos não sujeitos a incertezas.
10. Modelos para um único produto ou múltiplos produtos: consideram na análise um único produto ou a combinação de vários produtos.
11. Modelos com um único objetivo: determinam o local de mínimo custo, mínimo tempo, ou mínima distância.
12. Modelos com múltiplos objetivos: determinam o local a partir da combinação de resultados, como, por exemplo, o local de mínimo custo e maximização da demanda coberta.
13. Modelos que consideram a análise multicritérios: que são utilizados para realizar análise comparativa entre locais diferentes para implantação de uma nova facilidade. Esse método faz sua inferência a partir da opinião daqueles ligados ao problema em estudo.
14. Modelos de alocação temporal: são modelos utilizados com o objetivo de determinar o intervalo de tempo em que o sistema deve ser revisto, tendo como base o crescimento da demanda pelos serviços na região de estudo.

Em muitos dos modelos empregados para a avaliação da localização de uma determinada instalação são abordados os chamados fatores de localização. Assim, estudam-se os aspectos que podem

interferir diretamente na determinação da localização da instalação, fazendo uma combinação desses para atingir o local que melhor atenda às necessidades do empreendimento (CARVALHO, 2011).

Klose e Drexl (2005) realizaram uma revisão da literatura dos problemas de localização de facilidade com ênfase nos pressupostos fundamentais, modelos matemáticos e referências específicas para abordagens de solução e apresenta uma taxonomia para os problemas de localização de instalações em uma Rede Logística (RL) que pode ser aplicada para SLR, Quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Classificação dos problemas de localização de instalações

Classificação		Descrição
Espaço	Plana	Na classe Planar, onde a demanda ocorre em qualquer lugar no plano. Nesses problemas, supõe-se que não existam restrições de percurso, de modo que se pode usar a distância mais curta. Os mais utilizados são os métodos da métrica euclidiana e o modelo de Weber.
	Em rede	Em rede, as instalações e os pontos de demanda estão localizados nos nós da RL e há restrições de fluxo nos arcos ligam esses nós da rede.
Localização das instalações	Contínuo	Nos problemas contínuos os modelos permitem que as instalações sejam localizadas em qualquer lugar dentro do espaço tratado do problema, o que os assemelham aos problemas planares.
	Discreto	Os problemas de localização em rede são classificados como modelos Discretos, pois se assume que os clientes e as instalações estão localizados nos nós de uma rede, em um conjunto finito de localizações.
Horizonte de tempo	Período simples	Para período simples considera-se somente um único período e todo planejamento é feito com as previsões para esse período.
	Período misto	Para período misto o horizonte de planejamento é dividido em períodos e em cada um deles novas demandas e novos cenários são definidos, definindo planejamentos diferentes para cada período.
Tipologias das instalações	Homogênea	Quando existe somente um tipo de instalação previsto para localização.
	Heterogênea	Quando existem vários tipos de instalações para serem localizados.
Fluxo dos produtos	Único Produto	Onde existe um fluxo de apenas um produto ao longo da Rede Logística (RL).
	Vários Produtos	Onde diversos produtos podem fluir ao longo das instalações existentes na RL. Nesse último caso cada produto está associado a um fluxo específico.

continuação

Classificação		Descrição
Interação entre as instalações	Sem interação	Quando não existe fluxo de produtos entre instalações.
	Com interação	São problemas nos quais existe a possibilidade de fluxos de produtos entre as instalações e então a solução do problema de localização passa a depender não só da distribuição espacial das instalações, mas também, dos fluxos entre as instalações.
Tipologia do fluxo de produtos	Sem relevância	Quando o fluxo do produto que chega à facilidade e que sai da facilidade não é determinante para resolver o problema de localização. Esses são os problemas tradicionais de localização espacial de uma facilidade em função da localização espacial dos fornecedores e clientes sem considerar os fluxos da RL. (<i>Single Echelon</i>).
	Com relevância	Quando os fluxos de produtos que entram e saem das instalações da RL são determinantes para a solução do problema de localização. Esses problemas são conhecidos como Múltiplas Camadas, <i>Multiple-Echelon</i> .
Tipo de demanda	Integral	Quando o fluxo da demanda não pode ser fracionado, como por questões contratuais, sendo exigido que cada cliente seja abastecido por uma única facilidade da RL.
	Fracionada	Quando a demanda pode ser fracionada e um cliente pode ser atendido por duas ou mais instalações.
Influência do transporte	Sem influência	Quando o custo de transporte entre duas instalações, ou entre uma facilidade e um cliente, é calculado como um valor de frete, geralmente calculado através de distância x o volume de carga a ser transportado. É apropriada se a viagem dos veículos pode ser realizada por meio de uma rota direta.
	Com Influência	Quando as rotas a serem seguidas pelos veículos devem ser levadas em conta explicitamente no problema. Se cada veículo faz coletas e/ou entregas para vários pontos, estabelecer um frete único pode não ser facilmente definido.
Incertezas	Determinísticos	Quando não se consideram as incertezas e, portanto, os valores são fixos.
	Estocásticos	Quando ocorrem incertezas oriundas de atrasos, por exemplo, tempo de viagem, tempo de carregamento. Diferentes fontes de incerteza podem ser encontradas na literatura, dentre elas: demandas dos clientes, taxas de câmbio, tempos de viagem, quantidade de retorno (MELO <i>et al.</i> , 2007).
Características das instalações	Ilimitados	Quando a capacidade das instalações é considerada como ilimitada, sem restrições.
	Limitado	Quando os problemas impõem limite ou tamanho da capacidade das instalações nas restrições.
Objetivos	Único	Quando se considera apenas um objetivo no problema, como a determinação de mínimo custo para a RL.
	Múltiplos	Quando se considera múltiplos objetivos no problema, como a determinação de mínimo custo com maximização do atendimento da demanda.

Fonte: KLOSE; DREXL, 2005. Adaptado.

Melo *et al.* (2007) destaca também que, para a definição da localização, deve-se levar em conta não só fatores quantitativos, mas

também, decisões qualitativas que são mais difíceis de mensurar e de extrema importância na decisão final de localização como:

- Disponibilidade e custos de mão de obra, serviços de comunicação, saúde, energia e segurança;
- taxa de câmbio e barreiras comerciais;
- regulamentação de impacto ambiental;
- grau de organização sindical;
- disponibilidade e custos de serviços públicos;
- facilidades para o sistema de transporte;
- custos de instalação, operação e transporte;
- localização dos concorrentes;
- clima e temperatura da região;
- incentivos governamentais.

Cabe salientar que os problemas de localização não são usualmente classificados como uma única classe da taxonomia apresentada e sim como um conjunto de classes dentro da taxonomia.

Neste estudo, as instalações para as quais se deseja determinar a localização são os Centros de Triagem (CT) e as Centrais de Valorização (CV), além disso, pretende-se definir os fluxos entre os nós do SLR, que inclui os Pontos de Geração (PG) e as Empresas de reciclagem de resíduos e de disposição final de rejeitos.

6 Pesquisa operacional aplicada à localização de instalações de logística reversa

a modelagem matemática e computacional dos mais diversos problemas ambientais é considerada uma ferramenta essencial no entendimento e na previsão da evolução de fenômenos, físicos, químicos, biológicos e de outras naturezas associados a eles (COUTO, 2006).

A Pesquisa Operacional (PO) é a aplicação de métodos científicos a problemas complexos para auxiliar no processo de tomada de decisões, tais como projetar, planejar, e operar sistemas em situações que requerem alocações eficientes de recursos escassos. O objetivo é dar suporte à definição de políticas e determinação de ações de forma científica (MORABITO, 2015).

Tendo em vista o momento em que as organizações buscam maior eficiência, produtividade e melhor desempenho, a PO está

em crescente ascensão. Por outro lado, também de forma positiva, o avanço tecnológico em termos de oferta de software e hardware, tem contribuído para maior disseminação de ferramentas de PO e, em particular, de programação linear (CAIXETA-FILHO; BARTHOLOMEU, 2011).

Geralmente, na literatura sobre modelagem de SLR, são realizados estudos de caso orientados para o produto (SRIVASTAVA, 2008; XANTHOPOULOS; IAKOVOU, 2009; ACHILLAS *et al.*, 2010, 2011) ou orientados ao processo (FLEISCHMANN *et al.*, 2001). Embora os modelos propostos sejam representações realistas do problema, eles não são facilmente generalizáveis para uma ampla gama de indústrias.

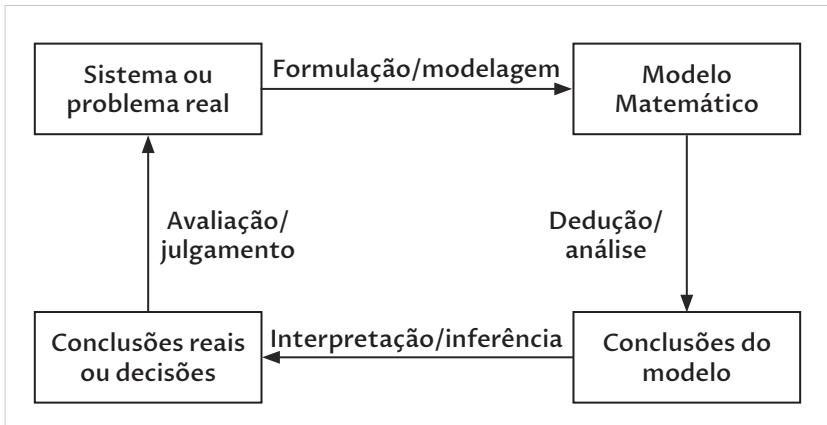
Neste estudo a PO, especificamente a programação linear, surge da necessidade de maximizar receitas e minimizar custos, os quais se relacionam em um modelo matemático aqui proposto.

6.1 Modelagem matemática de problemas de localização de instalações

Tem-se tornado cada vez mais evidente a pertinência da utilização de ferramentas de modelagem matemática para otimização de sistemas de transporte e armazenamento, bem como na escolha de melhores locais para acomodar resíduos sólidos.

Na área de resíduos, há uma demanda para utilização de modelagem matemática tanto de redes de coleta de resíduos, visando localizar, em um contexto intermunicipal, como na escolha de melhores locais para aterros sanitários e os melhores fluxos para recuperação energética de resíduos e resíduos industriais (CAIXETA-FILHO; BARTHOLOMEU, 2011).

Conforme se observa na Figura 2.1 a formulação (modelagem) define as variáveis de decisão e as relações matemáticas para descrever o comportamento relevante do sistema ou problema real. A dedução (análise) aplica técnicas matemáticas e tecnologia para resolver o modelo matemático e visualizar quais conclusões ele sugere. A interpretação (inferência) argumenta que as conclusões retiradas do modelo têm significado suficiente para inferir conclusões ou decisões para o problema real. Frequentemente, uma avaliação (julgamento) dessas conclusões ou decisões inferidas mostra que elas não são adequadas e que a definição do problema e sua modelagem matemática precisam de revisão, e então, se necessário, o ciclo é repetido (MORABITO, 2015).

Figura 2.1 - Processo de modelagem matemática

Fonte: MORABITO, 2015.

Como exemplos de modelos matemáticos têm-se os modelos de programação matemática (otimização matemática), como: programação linear (otimização linear), programação linear inteira (otimização discreta), programação em redes (otimização em rede) e programação não linear (otimização não linear). Outros exemplos são modelos de teoria de filas para estudar a congestão em sistemas e determinar medidas de avaliação de desempenho e políticas ótimas de operação (MORABITO, 2015).

A modelagem de um problema de pesquisa operacional e, em particular, de programação matemática, envolve três aspectos fundamentais (MORABITO, 2015):

- definição de decisões a serem tomadas,
- restrições que limitam as escolhas das decisões em valores aceitáveis,
- objetivos que determinam preferências na escolha de decisões.

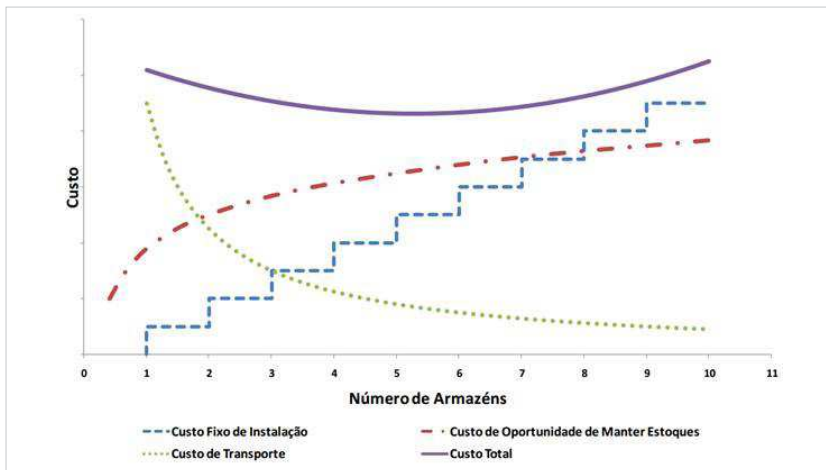
Entretanto, Caixeta-Filho e Bartholomeu (2011) chama a atenção a respeito de cautelas que devem ser tomadas em relação a três aspectos: primeiramente em relação à capacidade de entendimento e interpretação do problema a ser resolvido, para o êxito da aplicação a ser desenvolvida; segundo em relação à confiabilidade dos dados de entrada do modelo, e em terceiro em relação à interpretação dos resultados e simulação de cenários alternativos, via análises de sensibilidade, otimizando o processo de tomada de decisão.

De forma geral os problemas de localização têm como objetivo a minimização do custo total da rede para dado intervalo de tempo e são sujeitos a restrições de capacidade das instalações, devendo atender a determinada demanda e satisfazer níveis de serviço (LACERDA, 2000). Ballou (2004) ressalta que os problemas de localização de instalações se enquadram em um número limitado de categorias, abrangendo as seguintes possibilidades:

- determinação dos fatores preponderantes, ou seja, se há um fator mais crítico que todos os outros, como o lucro de determinada região, ou acessibilidade mais fácil para os transportadores;
- determinação do número de instalações a serem abertas;
- determinação das possíveis localidades, ou seja, se há locais predeterminados para localização ou se o método de cálculo determinará a melhor localidade a partir de uma região ou espaço;
- escolha do grau de agregação dos dados;
- escolha do horizonte de tempo.

O custo total é normalmente composto pelos custos fixos das instalações, custo de transporte e custo de oportunidade de manter os estoques. O comportamento esperado desses custos, em função do número de locais de armazenamento é mostrado na Figura 2.2.

Figura 2.2 - Custos de distribuição em função do número de locais de armazenamento



Bowersox e Closs (2001) citam como principais variáveis em um estudo de localização ótima de estruturas:

- o número de estruturas a serem instaladas;
- os locais candidatos para a instalação dessas unidades;
- as regiões e clientes atendidos por cada unidade;
- os produtos a serem processados ou armazenados em cada estrutura;
- os canais e custos logísticos envolvidos no acesso às estruturas e no escoamento dos produtos até os mercados.

Para Caixeta-Filho e Bartholomeu (2011), para a avaliação de melhor localização de instalações na área de gerenciamento de resíduos é imprescindível à análise de fluxos de resíduos e alocação desses fluxos com o objetivo de minimização dos custos de transporte entre os centroides geradores de resíduos e os locais candidatos para recepção dos mesmos. Os estudos dessa natureza são divididos em quatro etapas:

- definição das zonas de carga: divisão espacial de áreas de influência correlata ao sistema de transporte analisado;
- geração e atração de viagens: quantificação das cargas produzidas ou atraídas pelas zonas de carga, determinadas na primeira etapa;
- distribuição de viagens: estimativa dos fluxos de cargas entre as zonas de oferta de carga e as zonas de demanda de carga;
- alocação modal: alocação dos fluxos de carga na rede multimodal de transporte considerada.

Lacerda (2000) comenta que em função da sua complexidade bastante alta, os problemas de localização envolvem grandes volumes dados, pois requerem informações detalhadas sobre a demanda, custos de transporte, custo e taxas de produção, localização dos consumidores, localização dos atuais e prováveis pontos de estocagem e suprimento etc. Como os dados necessários geralmente não estão estruturados, um grande tempo dos estudos de localização é gasto em sua coleta, organização e estruturação.

Morabito *et al.* (2015) sugerem alguns parâmetros típicos para problemas de localização:

J = Conjunto de nós j que representam os cliente, $j = 1, \dots, n$;

I = Conjunto de locais i candidatos a localização de facilidades, $i = 1, \dots, m$;

q_j = Quantidade de Cliente j ;

d_{ij} = Distância entre Cliente j e a facilidade localizada em i ;

c_{ij} = Custo de atender a demanda q_j a partir de uma facilidade localizada em i ;

f_i = Custo fixo de instalação de uma facilidade localizada em i ;

Q_i = Capacidade da facilidade instalada no local i ;

$y_i = \begin{cases} 1, & \text{se facilidade é aberta no local } i, \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$

Pishvae et al. (2010), desenvolveu um projeto de rede logística reversa com o objetivo de escolher o local e a quantidade de centrais de coleta e inspeção para a rede, além de determinar a quantidade de fluxo entre as instalações. Os autores analisam um SLR com várias camadas que incluíam clientes, coleta/inspeção, reciclagem e centrais de destinação final com capacidades limitadas. Dentre os modelos de localização de instalações com base em PLIM, esse foi o que mais se aproximou do problema em estudo. O modelo apresentado é ampliado e difere por ter dois níveis de decisão, considera os custos de operação, possibilita a definição de faixas de capacidade para instalações, possibilita a entrada de diferentes tipos de materiais que seguem fluxos diferenciados e inclui parcela referente às receitas obtidas com a comercialização.

O problema de LR de embalagens em estudo é um fluxo reverso, onde os materiais coletados de diversos geradores devem ser recebidos por CT com capacidades limitadas. Neste trabalho, a função objetivo leva em conta os custos de implantação das instalações e os custos variáveis de atendimento das demandas, seja dos CT como das CV, os quais são decompostos em duas parcelas, uma relacionada ao custo variável de operação dos CT e das CV e outra relacionada ao custo variável de transporte entre os nós da rede, que só irão ocorrer quando houver fluxo.

6.2 Otimização linear

O design da rede é uma das questões estratégicas importantes que podem ter impacto em longo prazo no desempenho da RL. As decisões estratégicas para a concepção de RL incluem o número de

instalações na rede, sua localização e região a serem cobertas, e sua capacidade ou tamanho (AGRAWAL *et al.* 2015)

Os modelos de localização devem incorporar características que estão relacionadas à qualidade do serviço, à quantidade, aos prazos e à variedade de retornos, bem como às questões relacionadas às regras para devoluções de produtos, aos custos de coordenação ao longo da cadeia, à estimativa de operação e aos parâmetros de custos logísticos (SRIVASTAVA, 2008; KIZILBOGA *et al.*, 2013). As soluções devem considerar diferentes custos fixos e variáveis das instalações logísticas e custos variáveis de transporte entre essas instalações (EL KORCHI; MILLET, 2011).

As metodologias de solução utilizadas por muitos pesquisadores na construção de redes logísticas incluem modelagem determinística e estocásticas (linear/não linear, inteiros mistos, programação de objetivos, modelos de filas), simulação numérica e métodos heurísticos. A modelagem estocástica tem sido utilizada por pesquisadores para lidar com incertezas e PLIM é a técnica mais usualmente aplicada (EL KORCHI; MILLET, 2011; AGRAWAL, *et al.* 2015; GOVINDAN *et al.* 2015). A predominância do uso de modelos de PLIM para resolução de problemas de localização é devido os bons resultados que apresenta (HAMAD, 2006). No entanto a modelagem multiproduto, multiobjetivo e com capacidade limitadas é encontrada apenas nos estudos mais recentes.

O modelo proposto por Fleischmann *et al.* (2001) é o mais genérico entre os estudos de PLIM para SLR. Ele considera o projeto de rede logística no contexto de LR e apresenta um modelo genérico de localização de instalações. No trabalho de Salema *et al.* (2007) é apresentando um novo modelo que contempla tanto os aspectos de distribuição e de planejamento no contexto de um SLR, como permite um ambiente de multiproduto com capacidades limitadas e incerteza na demanda e fluxo de retorno. Alumur *et al.*(2012), propõem uma modelagem com maximização do lucro para projeto de SLR. É apresentada uma formulação de PLIM que é flexível para incorporar a maioria das estruturas de SLR na prática. No Quadro 2.2 são elencadas algumas das publicações sobre SLR consultadas para este estudo.

Quadro 2.2 - Resumo da literatura publicada que trata da infraestrutura necessária aos SLR

	Assunto/Comentários	Tipo de produtos	Local/Referência
Coleta e transporte	Modelagem computacional/matemática feita através de programação linear, visando melhorar rotas de veículos e planejamento de crescimento potencial da rede de coleta.	Óleo de cozinha	Portugal/ Zsigraiov et al. (2013)
	Aborda um problema de entrega e coleta flexível com janelas de tempo, em um modelo misto de programação inteira binária, a fim de minimizar o número de veículos e a distância total de viagem.	Modelo genérico	Taiwan/ Wang e Chen (2013)
Sistema de gerenciamento	Abordagem híbrida qualitativa e quantitativa, utilizando mapas cognitivos difusos e algoritmos genéticos, para modelar e avaliar o desempenho de identificação por radiofrequência para o monitoramento em tempo real.	Cadeia de armazéns	Taiwan/ Trappey et al. (2010)
	Apresenta diferentes cenários para uma cadeia de suprimentos em circuito fechado, com a proposição de roteamento de veículos a partir de um algoritmo adaptado ao problema.	Veículos em fim de vida útil	Alemanha/ Schultmann et al. (2006)
	Estudo sobre o fluxo reverso de embalagens de produtos industriais retornáveis em substituição a embalagens.	Embalagens	Brasil/ Silva et al. (2013)
Sistemas de gestão	O uso dos diagramas emergentes como método de avaliação de estratégias de reciclagem, comparando benefícios econômicos e ambientais relativas da Rede Logística (RL) implementada.	Chapas de aço	Brasil/ Giannetti et al. (2013)
	Analisa as mudanças nas estruturas de governança empresarial de cadeia de suprimento com o desenvolvimento de operações de logística reversa.	Veículos	Reino Unido/ Aitken e Harrison (2013)
	Apresenta uma ferramenta de suporte a decisão de políticas de mercado e regulação para otimizar redes de logística reversa de produtos eletroeletrônicos, baseado em programação matemática.	REEE	Grécia/ Achillas (2010, 2011)
	Analisa o grau de implementação das diretivas do parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia em Portugal.	REEE/ Veículos	Portugal/ Barroso e Machado (2005)

continua →

continuação

	Assunto/Comentários	Tipo de produtos	Local/Referência
Desenvolvimento de redes de LR	Apresenta uma modelagem matemática a partir de modelo estocástico multiobjetivo para um projeto de rede de logística reversa sob um ambiente de incerteza, maximizando o lucro, a capacidade de resposta ao cliente e qualidade. O modelo considera a possibilidade de instalações mistas.	Modelo genérico	Iran/ Ramezania et al.(2013)
	Utiliza uma Metodologia da Análise e Solução de Problemas (MASP), denominação brasileira para um método japonês de resolução de problemas - QC, para proposição de rede de LR.	Bateria automotiva	Brasil/ Baenas et al. (2011)
	Apresenta um problema de desenho ótimo para o processo de recuperação de Resíduos de Equipamento Elétricos e Eletroeletrônicos (REEE). Proposição de um algoritmo de duas fases, multicritério: financeiro, ambiental, legislativo e tecnológico.	REEE	Grécia/ Xanthopoulos e Iakovou (2009)
	Este estudo tem como objetivo projetar e desenvolver um sistema de logística reversa de rede que contém os processos de remanufatura para o fabricante de caminhões pesados.	Filtros de partículas de diesel	França/ Kizilboga, et al. (2013)
	Proposta de modelagem a partir de programação linear de SLR maximizando o lucro.	Máquinas de lavar roupas	Alemanha/ Alumur et al.(2012)
	Com base na análise RL reversa de REEE, este trabalho apresenta um modelo de programação matemática que minimiza o custo total de processamento de vários tipos de REEE.	REEE	Taiwan/ Dat et al. 2012
	Este trabalho propõe uma modelagem multiperíodo, multiproduto de circuito fechado de rede da cadeia de suprimentos com demanda estocástica e preço em PLIM.	Modelo genérico	Iran/ Soleimani et al. (2013)
	Propõe um modelo generalizado para o projeto de redes de logística reversa. O modelo estende o modelo de rede de recuperação e desenvolve um multiproduto para reverter o modelo de RL capacitado com a incerteza.	Móveis de escritório	Portugal/ Salema (2007)

Fonte: as autoras.

7 Modelo conceitual para fluxos reversos de materiais pós-consumo

Este estudo tem como princípio norteador a proposição de um método para a construção de um SLR para materiais pós-consumo, visando uma minimização de custos das instalações necessárias à triagem e aos processamentos de embalagens pós-consumo, bem como dos custos inerentes dos fluxos de transporte desde o gerador até a destinação final. Busca-se também a maximização da receita obtida pela comercialização dos materiais recicláveis a ser realizada pelos catadores de materiais reaproveitáveis.

Considera-se aqui que o SLR é constituído de quatro entidades estratégicas, que são chamadas de nós da rede: PG, CT, CV, ER e AS. Cada PG representa o ponto de convergência das embalagens pós-consumo, recolhidas nos municípios abrangidos pelo estudo. Considera-se como premissa que as embalagens são coletadas em Pontos de Entrega Voluntária (PEV), em pontos estratégicos, sendo esta atividade de responsabilidade das empresas fabricantes de embalagem, conforme preconiza a Lei n. 12.305/2010. Contudo, foi considerada no modelo que o PG é a sede do município em questão. Portanto as atividades realizadas nos pontos de coleta e respectivos transportes até o ponto de convergência não fazem parte deste modelo.

Os CT são locais onde ocorre a separação dos resíduos sólidos. Essa separação pode ser feita totalmente manual ou automaticamente, ou mesmo semiautomática. Segundo Vilhena (1999), o galpão de triagem é composto por uma prensa vertical, balança, esteira, fardos e empilhadeiras, sendo que todos os equipamentos devem seguir as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

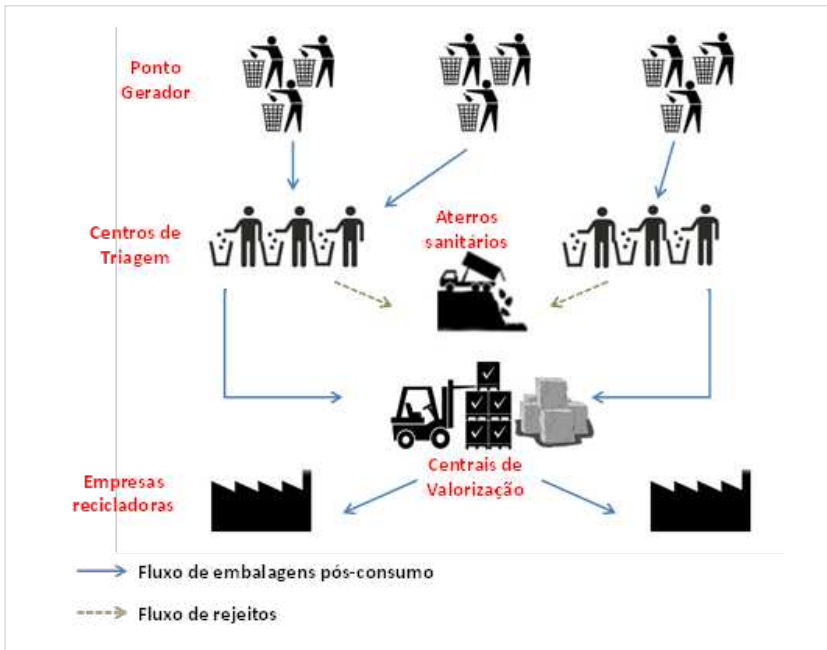
O conceito de CV surge ao final do processo dos CT, em que os materiais reaproveitáveis depois de submetidos à triagem, prensados e enfardados nos CT são encaminhados para um local de maiores dimensões para serem armazenados e/ou acumulados em grandes quantidades ou receberem um beneficiamento primário com o objetivo de agregar valor para posterior comercialização.

Aquino, Castilho Junior e Pires (2009) destacaram como fatores que limitam o avanço de associações de catadores a quantidade e a qualidade exigida pelas indústrias recicladoras para compra dos materiais submetidos à triagem. Os autores propõem uma forma de organização logística para que as associações comercializem de forma direta de seus produtos com as indústrias recicladoras.

As CV permitirão aos catadores uma melhoria em seu modo organizacional e o aperfeiçoamento dos processos de comercialização de materiais. A atuação em rede permite que o trabalho conjunto anule a ação do atravessador e negocie diretamente com a indústria (SOTO, 2011). Desta forma, os materiais são encaminhados diretamente para as indústrias recicladoras e podem ser vendidos por preços mais competitivos.

A Figura 2.3 apresenta um esquema de ATOS para SLR de embalagens, onde as embalagens coletadas nos municípios, PG, são encaminhadas para CT. Após triagem e prensagem, estes materiais, já separados por tipologias, são destinados às CV visando uma agregação de valor. Das CV estes materiais seguirão para as ER.

Figura 2.3 - Esquema de arranjos territoriais ótimos para SLR de embalagens pós-consumo

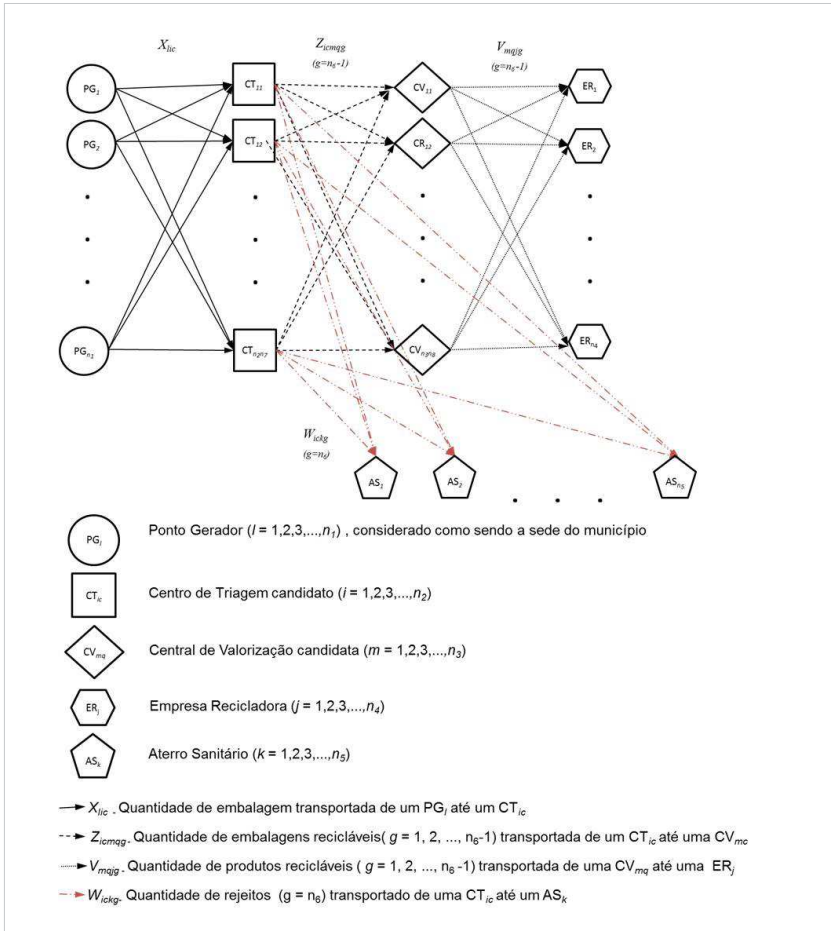


Fonte: as autoras.

Este, portanto, é um problema de localização de instalações em uma rede de multicamadas onde se objetiva definir a localização de dois tipos de nós, CT e CV, visando atender à demanda de descarte de embalagens por parte do consumidor (KLOSE; DREXL, 2005;

PISHVAEE *et al.*, 2010). A Figura 2.4 apresenta o esquema do modelo proposto evidenciando os fluxos entre as instalações.

Figura 2.4 - Esquema do modelo logístico proposto Otimizado



Fonte: autoras.

Na Figura 2.4, considerou-se que n_1 é a quantidade de PG , n_2 é a quantidade de CT candidatas, n_3 a quantidade de CV candidatas, n_4 é a quantidade de ER existentes, n_5 é a quantidade de AS existentes, n_6 é a quantidade de tipos de materiais das embalagens; n_7 é a quantidade de faixas de capacidades dos CT testadas e n_8 é a quantidade de faixas de capacidades das CV testadas.

Seis subconjuntos dos números naturais destacam-se no modelo, a saber: L é o conjunto dos PG_p , que são definidos pelas coordenadas das sedes municipais ($l = 1, 2, 3, \dots, n_1$); I é conjunto dos CT_{ic} candidatos à instalação ($i = 1, 2, 3, \dots, n_2$) com faixas de capacidades c ($c = 1, 2, 3, n_7$). M é o conjunto das CV_{mq} candidatas à instalação ($m = 1, 2, 3, \dots, n_3$), com faixas de capacidades q ($q = 1, 2, 3, n_8$); J é o conjunto das ER_j ($j = 1, 2, 3, \dots, n_4$). K é o conjunto dos AS_k ($k = 1, 2, 3, \dots, n_5$); G é o conjunto dos diferentes tipos de materiais das embalagens pós-consumo g ($g = 1, 2, 3, \dots, n_6$). Exemplo, $g = 1$ para papel, $g = 2$ para plástico, $g = 3$ para vidro, $g = 4$ para metais, etc. Utilizou-se $g = n_6$ para os rejeitos.

As embalagens do tipo g ($g = 1, 2, 3, \dots, n_6$) são enviadas em uma quantidade X_{lic} dos PG_l para os CT_{ic} candidatas com nas faixas de capacidade c . Cada CT_{ic} pode enviar uma quantidade Z_{icmqg} para uma CV_{mq} com faixa de capacidades q , do material reciclável g ($g = 1, 2, 3, \dots, n_6 - 1$), sem os rejeitos. Cada CV_{mq} pode enviar uma quantidade V_{mqjg} do material reciclável g ($g = 1, 2, 3, \dots, n_6 - 1$), sem os rejeitos, para uma empresa recicladora ER_j . Os rejeitos ($g = n_6$) são enviados dos CT_{ic} em quantidade W_{ickg} para um AS_k . Observa-se que o último índice nessa quantidade g é o número que representará o rejeito, isto é $g = n_6$. Os valores de X_{licg} , Z_{icmqg} , V_{mqjg} e W_{ickg} são as respostas do modelo matemático, ou seja, são as variáveis de decisão.

Deve-se notar ainda que as setas saindo de cada PG_l para todos os CT_{ic} na Figura 2 indicam todas as direções possíveis de fluxo dos produtos recicláveis. Entretanto, estabelece-se aqui, para simplificar o modelo, que o fluxo acontecerá em somente uma das direções, levando em conta que num PG_l não há seleção de produtos e, por isso, todos eles deverão ser encaminhados juntos para um CT_{ic} mais conveniente.

Cabe ainda ao modelo definir quais CT_{ic} e CV_{mq} deverão ser instalados ou não. Para tanto, é definida uma variável de decisão Y_{ic} que assume valor 1 se o CT_{ic} for instalada e 0 se não for instalada. Da mesma forma é definida uma variável de decisão N_{mq} que assume valor 1 se a CV_{mq} for instalada e 0 se não for instalada.

Portanto, o modelo deverá responder às seguintes questões: Quais CT e CV serão abertos? Para qual CT aberto às embalagens geradas em um município deverão ser destinadas para triagem? Para quais CV abertos deverão ser enviados os resíduos submetidos à triagem no CT para agregação de valor? Para quais empresas

recicladoras deverão seguir os materiais das *CV*? Para quais empresas de disposição final deverão seguir os rejeitos dos *CT*?

Os parâmetros são os dados de entrada do modelo. Eles foram coletados em campo ou foram obtidos de literatura. O Quadro 2.3 apresenta os parâmetros que são usados neste trabalho.

Quadro 2.3 - Parâmetros do modelo logístico otimizado

Sigla	Descrição	Unidade
<i>dl</i>	Quantidade de embalagens pós-consumo por tipo de material <i>g</i> devolvida pelos consumidores referente ao ponto de geração <i>PGL</i> .	<i>t/mês</i>
<i>Pecg</i>	Composição gravimétrica das embalagens pós-consumo.	%
<i>fc</i>	Custo de instalação do <i>CTic</i> por faixa de capacidade <i>c</i> .	<i>R\$/mês</i>
<i>hc</i>	Custo de instalação da <i>CVmq</i> por faixa de capacidade <i>q</i> .	<i>R\$/mês</i>
<i>cofc</i>	Custo de operação do <i>CTic</i> por faixa de capacidade <i>c</i> .	<i>R\$/mês</i>
<i>cohq</i>	Custo de operação da <i>CVmq</i> por faixa de capacidade <i>q</i> .	<i>R\$/mês</i>
<i>cfl</i>	Custo de transporte do <i>PGL</i> para o <i>CTic</i> .	<i>R\$/(t*km)</i>
<i>csim</i>	Custo de transporte do <i>CTic</i> para a <i>CVmq</i> .	<i>R\$/(t*km)</i>
<i>chmj</i>	Custo de transporte da <i>CVmq</i> para um <i>ERj</i> .	<i>R\$/(t*km)</i>
<i>ctik</i>	Custo de transporte do <i>CTic</i> para um <i>ASK</i> .	<i>R\$/(t*km)</i>
<i>dfl</i>	Distância entre o <i>PGL</i> e o <i>CTic</i> .	<i>km</i>
<i>dsim</i>	Distância entre o <i>CTic</i> e a <i>CVmq</i> .	<i>km</i>
<i>dhmj</i>	Distância entre a <i>CVmq</i> a <i>ERj</i> .	<i>km</i>
<i>dtik</i>	Distância entre o <i>CTic</i> e o <i>ASK</i> .	<i>km</i>
<i>cafc</i>	Capacidade operacional do <i>CTic</i> por faixa de capacidade <i>c</i> .	<i>t/mês</i>
<i>cahq</i>	Capacidade operacional da <i>CVmq</i> por faixa de capacidade <i>q</i> .	<i>t/mês</i>
<i>casjg</i>	Capacidade da <i>ERj</i> por tipo de embalagem <i>g</i> .	<i>t/mês</i>
<i>catkg</i>	Capacidade do <i>ASK</i> para receber rejeitos <i>g</i> ($g = n6$).	<i>t/mês</i>
<i>rg</i>	Receita auferida com a venda no material tipo <i>g</i> para <i>ERj</i> pela <i>CVmc</i> .	<i>R\$/t</i>
<i>cdg</i>	Custo de disposição final do rejeito.	<i>R\$/t</i>

Fonte: as autoras.

8 Modelos matemáticos

Neste estudo foram analisados quatro modelos matemáticos denominados Modelo Otimizado, Modelo Otimizado com benefício nas *CV*, Modelo Atual e Modelo Alternativo.

8.1 Modelo otimizado

8.1.1 Custos de instalação

O custo total de instalação CT_{Inst} dos CT e das CV alocadas é dado por Eq. 2.1:

$$CT_{Inst} = \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} f_c Y_{ic} + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} h_q N_{mq} \quad (2.1)$$

$\sum_{i \in I} \sum_{c \in C} f_c Y_{ic}$ representa os custos fixos para implantação dos CT_{ic} ($i \in I$, $c \in C$) por faixa de capacidade, f_c é o custo fixo de instalação para cada faixa de capacidade e Y_{ic} é a variável binária que define se um CT_{ic} é alocado, em que,

$$Y_{ic} = \begin{cases} 1, & \text{se um } CT_{ic} \text{ é alocada no local } i, \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$\sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} h_q N_{mq}$ representa os custos fixos para implantação das CV_{mq} ($m \in M$, $q \in Q$), por faixa de capacidade, h_q é o custo fixo de instalação para cada faixa de capacidade e N_{mq} é a variável binária que define se uma CV_{mq} é alocada.

8.1.2 Custos de operação

O custo total de operação, CT_{Oper} , dos CT e das CV alocadas é dado por Eq. 2.2:

$$CT_{Oper} = \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} cof_c Y_{ic} + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} coh_q N_{mq} \quad (2.2)$$

$\sum_{i \in I} \sum_{c \in C} cof_c Y_{ic}$ representa os custos de operação dos CT_{ic} . Consideram-se aqui os custos fixos por período de tempo e por faixa de capacidade. cof_c é o custo de operação para cada faixa de capacidade dos CT_{ic} . $\sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} coh_q N_{mq}$ é referente aos custos de operação das CV_{mq} . Consideram-se aqui os custos fixos por período e tempo e por faixa de capacidade, coh_q é o custo de operação para cada faixa de capacidade das CV_{mq} .

Nesse custo também estão inseridos os custos fixos e variáveis.

8.1.3 Custos de transporte

O custo total de transporte entre os nós da rede, CT_{Trasn} , considerando os CT e as CV alocadas é dado por Eq. 2.3:

$$CT_{Trasn} = \sum_{l \in I} \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} df_{li} cf_{li} X_{lic} + \sum_{l \in I} \sum_{c \in C} \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{g \in G} ds_{im} cs_{im} Z_{lcmqg} + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} dh_{mj} ch_{mj} V_{mqjg} + \sum_{l \in I} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} dt_{ik} ct_{ik} W_{ickg} \quad (2.3)$$

$\sum_{ieL} \sum_{ieI} \sum_{ceC} df_{li} cf_{li} X_{lic}$ é referente aos custos de transportes entre os *PGL*, até os *CTic*, df_{li} é a distância entre o *PGL* até o *CTic*, cf_{li} é o custo de transporte entre o *PGL* e o *CTic* por quilômetro e X_{lic} é a quantidade total de material reciclável que é transportada do *PGL* para o *CTic*.

$\sum_{ieI} \sum_{ceC} \sum_{meM} \sum_{qeQ} \sum_{geG} ds_{im} cs_{im} Z_{icmqg}$ representa os custos de transportes entre os *CT_{ic}*, e as *CV_{mq}*, ds_{im} é a distância entre o *CT_{ic}* e a *CV_{mq}*, cs_{im} é o custo de transporte do material do *CT_{ic}* para a *CV_{mq}* por quilômetro e Z_{icmqg} é a quantidade de materiais recicláveis transferida dos *CT_{ic}* para as *CV_{mq}*.

$\sum_{meM} \sum_{qeQ} \sum_{jeJ} \sum_{geG} dh_{mj} ch_{mj} V_{mqjg}$ representa os custos de transportes entre a *CVmq* e a *ERj*, dh_{mj} é a distância entre a *CVmq* e a *ERj*, ch_{mj} é o custo de transporte entre a *CVmq* e a *ERj* por quilômetro e V_{mqjg} é a quantidade de material recicláveis transferida da *CVmq* e a *ERj*.

$\sum_{ieI} \sum_{ceC} \sum_{keK} \sum_{geG} dt_{ik} ct_{ik} W_{ickg}$ refere-se aos custos de transporte dos rejeitos do *CT_{ic}* para o *AS_k*, dt_{ik} é a distância entre o *CT_{ic}*, e o *AS_k*, ct_{ik} é o custo de transporte do rejeito do *CT_{ic}* para o *AS_k* por quilômetro e W_{ickg} é a quantidade de rejeito transferida do *CT_{ic}* para o *AS_k*.

8.1.4 Custo de disposição final de rejeitos

O Custo total de disposição de rejeitos, CT_{Disp} , considerando os *CT* alocados, é dado por Eq. 2.4:

$$CT_{Disp} = \sum_{ieI} \sum_{ceC} \sum_{keK} \sum_{geG} cd_g W_{ickg} \tag{2.4}$$

$\sum_{ieI} \sum_{ceC} \sum_{keK} \sum_{geG} cd_g W_{ickg}$ refere-se aos custos de disposição final do rejeito no *AS_k*, cd_g é o custo de disposição final do rejeito e W_{ickg} é a quantidade de rejeito transferida do *CT_{ic}* para o *AS_k*.

8.1.5 Receita de comercialização

A receita total de comercialização dos materiais, R_{Venda} , considerando os *CT* e as *CV* alocadas, é dado por Eq. 2.5:

$$R_{Venda} = \sum_{meM} \sum_{qeQ} \sum_{jeJ} \sum_{geG} r_g W_{mqjg} \tag{2.5}$$

$\sum_{meM} \sum_{qeQ} \sum_{jeJ} \sum_{geG} r_g W_{mqjg}$ representa o ganho da receita da venda do material reciclado para as *ER_j*, r_g é a receita auferida com a venda no material tipo *g* para a *ER_j* pela *CV_{mq}* e V_{mqjg} é a quantidade de material do tipo *g* transferida da *CV_{mq}* para a *ER_j*.

8.1.6 Função Objetivo

A expressão matemática para o custo total do SLR, é formada pelas parcelas descritas anteriormente. Ela estabelece a função objetivo do problema da otimização linear, dada por Eq. 2.6:

$$CT_{Rede} = CT_{Inst} + CT_{Oper} + CT_{Trans} + CT_{Disp} - R_{Venda} \quad (2.6)$$

Onde, CT_{Rede} = custo total da Rede.

Portanto, a função-objetivo do problema de programação linear é composta por cinco parcelas, divididas em 10 subparcelas. Pretende-se minimizar os custos e maximizar as receitas auferidas com a comercialização dos materiais reaproveitáveis. Este problema é descrito pela Eq. 2.7, juntamente com as restrições da próxima seção.

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } CT_{Red} & \sum_{j \in I} \sum_{c \in C} f_c Y_{jc} + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} hq_m N_{mq} + \sum_{j \in I} \sum_{c \in C} cof_c Y_{jc} \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} coh_q N_{mq} + \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} df_{li} X_{lic} \\ & + \sum_{j \in I} \sum_{c \in C} \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} ds_{jm} cs_{jm} Z_{icmqg} \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} dh_{mj} ch_{mj} V_{mqjg} + \sum_{j \in I} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} dt_{jk} ct_{jk} W_{ickg} \\ & + \sum_{j \in I} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} cd_{jkg} W_{ickg} + \sum_m \sum_{M} \sum_{q \in Q} \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} r_{mqjg} V_{mqjg}. \end{aligned} \quad (2.7)$$

8.1.7 Restrições

Tão importantes quanto à função objetivo são as restrições do modelo. As restrições limitam as escolhas das decisões em valores aceitáveis. A seguir, descrevem-se as restrições que são consideradas nesse trabalho, que podem ser de igualdade ou desigualdade.

$$\sum_{j \in I} \sum_{c \in C} X_{lic} = d_l \quad \forall l \in L. \quad (2.8)$$

$$P_{licg} = X_{lic} Pec_g \quad \forall g \in G, l \in L, i \in I, c \in C. \quad (2.9)$$

$$\sum_{j \in I} P_{licg} = \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} Z_{icmqg} + \sum_{k \in K} W_{ickg} \quad \forall i \in I, c \in C, g \in G. \quad (2.10)$$

$$\sum_{j \in I} \sum_{c \in C} Z_{icmqg} = \sum_{j \in J} V_{mqjg} \quad \forall g \in G, m \in M, q \in Q. \quad (2.11)$$

$$\sum_{j \in I} \sum_{g \in G} P_{licg} \leq Y_{ic} caf_c \quad \forall i \in I, c \in C. \quad (2.12)$$

$$\sum_{j \in I} \sum_{c \in C} \sum_{g \in G} Z_{icmqg} \leq N_{mq} cah_q \quad \forall m \in M, q \in Q \quad (2.13)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} V_{mqjg} \leq cas_{jg} \quad \forall j \in J, g \in G. \quad (2.14)$$

$$\sum_{j \in I} \sum_{c \in C} W_{ickg} \leq cat_{kg} \quad \forall k \in K, g \in G. \quad (2.15)$$

$$Y_{ic} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, c \in C. \quad (2.16)$$

$$N_{mq} \in \{0,1\} \quad \forall m \in M, q \in Q. \quad (2.17)$$

$$\sum_{c \in C} Y_{ic} \geq 1 \quad \forall i \in I. \quad (2.18)$$

$$\sum_{q \in Q} N_{mq} \geq 1 \quad \forall m \in M. \quad (2.19)$$

$$X_{lic}, P_{licg}, Z_{icmqg}, V_{mqjg}, Wickg \in R^+ \quad (2.20)$$

Os I, J, K, L, M e G são todos subconjuntos dos números Naturais.

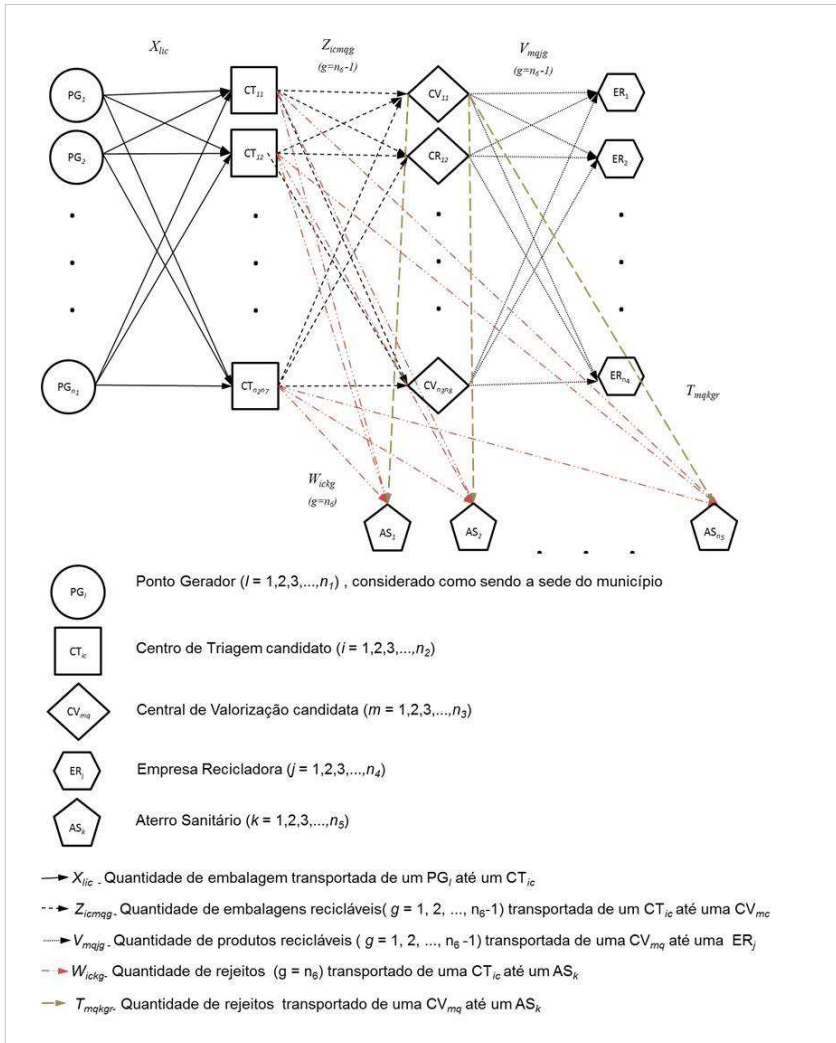
A Restrição (2.8) exige que toda embalagem gerada em PG_l seja destinada para um CT_{ic} no período de tempo analisado; Restrição (2.9) calcula a quantidade de material do tipo g que é triado no CT_{ic} em função do total do material transportado, X_{lic} , e da composição gravimétrica dos materiais, Pec_g ; A Restrição (2.10) garante que nenhum material ficará estocado no CT_{ic} no período de tempo analisado; A Restrição (2.11) impõe que não haverá estoque de material na CV_{mq} no período de tempo analisado; A Restrição (2.12) garante que o total de embalagens que é transportado de todos os PG_l para um CT_{ic} não exceda o limite da faixa de capacidade do CT_{ic} , se ele for alocado ($Y_{ic} = 1$); A Restrição (2.13) garante que o total de embalagens que é transportado de todos os CT_{ic} para uma CV_{mq} não exceda o limite superior da faixa de capacidade da CV_{mq} , se ela for alocada ($N_{mq} = 1$); A Restrição (2.14) estipula que o total de embalagens que é transportado de todas as CV_{mq} para uma ER_j (V_{mqjg}) não exceda o limite de capacidade da ER_j em reciclar o material g ; A Restrição (2.15) obriga que o total de rejeitos que é transportado de todos os CT_{ic} para um AS_k (W_{ickg}) não exceda o limite da capacidade do AS_k , se ele for alocado ($Y_{ic} = 1$). Exige-se que as variáveis Y_{ic} e N_{mq} , condição (2.16) e (2.17), sejam 0 ou 1, pois 1 significa que um CT_{ic} ou uma CV_{mq} é alocada, caso contrário assume o valor 0. Exige-se que apenas um CT_{ic} , com uma faixa de capacidade c , Restrição (2.18), e uma CV_{mq} com uma faixa de capacidades q , Restrição (2.19), seja alocada em cada local candidato. Além disso tem-se as condições de não negatividade (2.20), pois estas variáveis representam quantidades de embalagens deslocadas, as quais não podem ser negativas.

9 Modelo otimizado com beneficiamento nas CV

As CV podem ter função de armazenamento temporário ou de beneficiamento primário de materiais. Quando ocorre o beneficiamento é necessária uma modificação na função objetivo, com o acréscimo de mais duas parcelas, além de novas restrições que modelem esta situação. Para isto foram declaradas mais duas variáveis, que são calculadas pelas rotinas de otimização: R_{icmqg} é uma variável de apoio e representa

a quantidade de rejeito gerada nas CV_{mq} e T_{mqkg} é a quantidade de rejeito transportado de CV_{mq} para AS_k . A Figura 2.5 apresenta o esquema do modelo proposto evidenciando os fluxos entre as estruturas.

Figura 2.5 - Esquema do modelo com beneficiamento nas CV



Fonte: as autoras.

Também foram incluídos quatro novos parâmetros apresentados no Quadro 2.4.

Quadro 2.4 - Novos parâmetros do modelo matemático atual

Sigla	Descrição	Unidade
<i>Rejg</i>	Percentuais de rejeito <i>g</i> gerado nas <i>CVmq</i>	%
<i>drmk</i>	Distância entre o <i>CTmq</i> e o <i>ASk</i> .	km
<i>crmk</i>	Custo de transporte do <i>CTmq</i> e o <i>ASk</i> .	R\$/(t*km)
<i>cdrg</i>	Custo de disposição final do rejeito <i>g</i> que após passar pela <i>CVmq</i> , segue um fluxo diferenciado para um <i>ASk</i> .	R\$/t

Fonte: as autoras.

9.1 Função Objetivo

A Função Objetivo foi modificada com a inserção de mais duas parcelas, dadas pela Eq. 2.21.

$$\begin{aligned}
 \text{Minimizar } & \sum_{j \in I} \sum_{c \in C} f_c Y_{jc} + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} h_{mq} N_{mq} + \sum_{j \in I} \sum_{c \in C} \text{cof}_c Y_{jc} \\
 & + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \text{coh}_q N_{mq} + \sum_{j \in I} \sum_{c \in C} df_{jc} X_{jc} \\
 & + \sum_{j \in I} \sum_{c \in C} \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{g \in G} ds_{im} cs_{im} Z_{icmqg} \\
 & + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{j \in I} \sum_{g \in G} dh_{mj} ch_{mj} V_{mqjg} + \sum_{j \in I} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} dt_{ik} ct_{ik} W_{ickg} \\
 & + \sum_{j \in I} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} cd_g W_{ickg} + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} dr_{mk} cr_{mk} T_{mqkg} \\
 & + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} cdr_{mk} cr_g T_{mqkg} - \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{j \in I} \sum_{g \in G} r_g V_{mqjg}.
 \end{aligned} \tag{2.21}$$

$\sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} dr_{mk} cr_{mk} T_{mqkg}$ representam os custos de transporte do rejeito dos materiais gerados no beneficiamento nas *CVmq* para *ASk*. Neste estudo é considerado apenas o beneficiamento do papel e do plástico.

$\sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} cdr_g T_{mqkg}$ representam os custos de destinação do rejeito gerado em *CVmq* destinado para os *ASk*.

9.2 Restrições

A Restrição 2.15 foi substituída pela Eq. 2.22 e foram inseridas as Eq. 2.23, Eq. 2.24 e Eq. 2.25:

$$\sum_{j \in I} \sum_{c \in C} W_{ickg} + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} T_{mqkg} \leq cat_{kg} \quad \forall k \in K, g \in G. \tag{2.22}$$

$$R_{icmqg} = Z_{icmqg} Rej_g \quad \forall g \in G, i \in I, c \in C, m \in M, q \in Q. \tag{2.23}$$

$$\sum_{j \in I} T_{mqkg} = \sum_{j \in I} \sum_{c \in C} R_{icmqg} \quad \forall g \in G, m \in M, q \in Q. \tag{2.24}$$

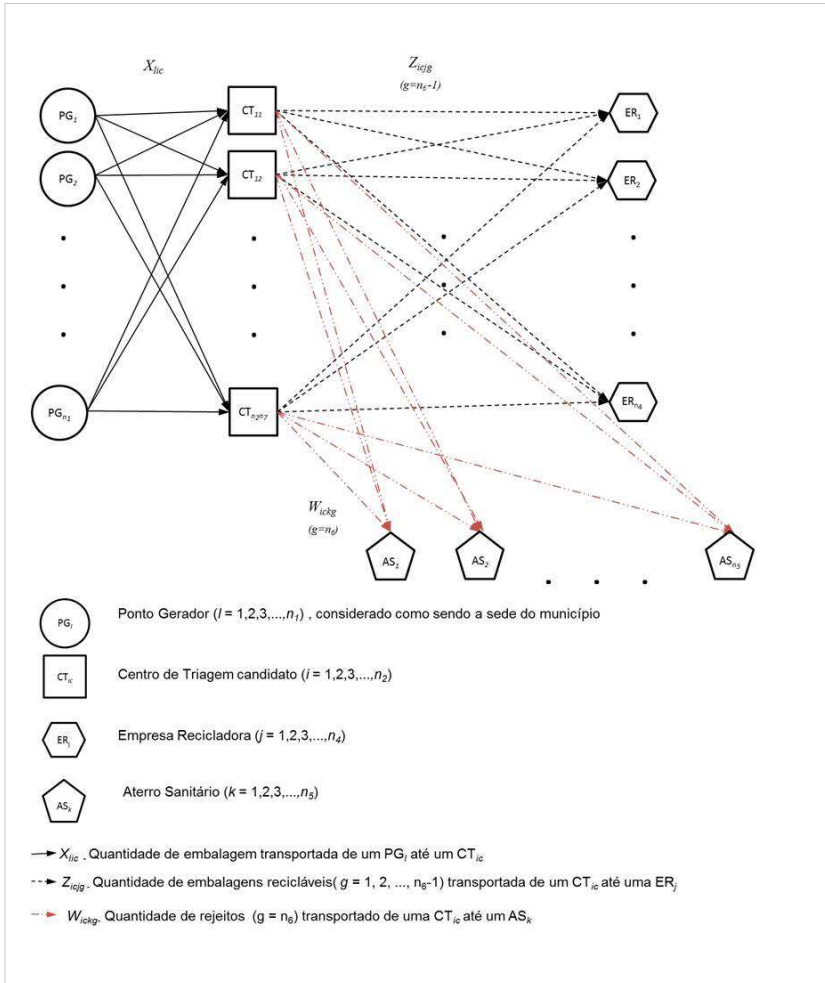
$$T_{mqkg}, R_{icmqg} \in R^+ \tag{2.25}$$

A Restrição (2.22) obriga que o total de rejeitos que é transportado de todos os CT_{ic} (somado ao total de rejeitos que é transportado de todos os CV_{mq} (para um AS_k não exceda o limite da capacidade do AS_k . A Restrição (2.23) calcula a quantidade de material do tipo g que se torna rejeito na CV_{mq} em função do total do material transportado, Z_{icmqg} , e dos percentuais de rejeito, Reg_g ; a Restrição (2.24) exige que todo o rejeito gerado em CV_{mq} seja destinado para uma AS_k . Além disso, tem-se as condições de não negatividade (2.25), que garante que as variáveis representem quantidades não negativas.

10 Modelo atual

A fim de verificar a contribuição das CV no modelo, foi construído um modelo denominado de Modelo Atual. Ele representa a situação atual, onde as $OCMR$ realizam a triagem e prensagem dos materiais recicláveis e comercializam diretamente com as ER sem a existência de CV . A Figura 2.6 apresenta o esquema do modelo proposto.

Figura 2.6 - Esquema do modelo atual



Fonte: as autoras.

10.1 Função Objetivo

Para tanto, a Função Objetivo foi modificada com a retirada de todas as parcelas referentes às CV e com os fluxos ocorrendo diretamente dos CT para ER. A Função Objetivo do Modelo Atual é dada pela Eq. 2.26.

$$\begin{aligned}
 \text{Minimizar } & \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} f_c Y_{ic} + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \text{cof}_c Y_{ic} + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} df_{ic} cf_{ic} Y_{lic} \\
 & + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} ds_{ij} cs_{ij} Z_{icjg} + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} dt_{ik} ct_{ik} W_{ickg} \\
 & + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} cd_g W_{ickg} - \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} r_g V_{mqjg}.
 \end{aligned} \tag{2.26}$$

10.2 Restrições

Quanto às restrições, foram retiradas aquelas relacionadas às *CV* (Eq. 2.11, 2.13, 2.17 e 2.19). Também foram modificadas as restrições relacionadas aos fluxos dos *CT* para as *CV* que passaram a ser dos *CT* para as *ER*. Para isso as restrições representadas pela Eq. 2.10 e Eq. 2.14 foram substituídas pelas Eq. 2.27 e Eq. 2.28.

$$\sum_{i \in I} P_{licg} = \sum_{j \in J} Z_{icjg} + \sum_{k \in K} W_{ickg} \quad \forall i \in I, c \in C, g \in G. \tag{2.27}$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{c \in C} Z_{icjg} \leq \text{cas}_{jg} \quad \forall j \in J, g \in G. \tag{2.28}$$

10.1 Modelo alternativo

Para ampliar a avaliação, foi desenvolvido um modelo denominado Modelo Alternativo. Nessa situação foi considerado que todos os *CT* candidatas são obrigatoriamente alocadas. Para tanto, a Função Objetivo não foi modificada, apenas as restrições dadas pelas Eq. 2.16 e 2.18 são substituídas pelas Eq. 2.29 e 2.30, que impõem que todos os *CT* candidatas sejam alocadas com uma faixa de capacidade a ser definida pelo modelo. Também é incluída a restrição representada pela Eq. 2.31 que garante que haja fluxo de embalagem para todos os *CT*. As novas restrições são:

$$Y_{ic} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, c \in C. \tag{2.29}$$

$$\sum_{c \in C} Y_{ic} = 1 \quad \forall i \in I. \tag{2.30}$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{c \in C} X_{lic} \geq 0 \quad \forall i \in I. \tag{2.31}$$

Conclusões

Neste Capítulo foi desenvolvido um modelo logístico conceitual e matemático para um Sistema de Logística Reversa de embalagens pós-consumo que tem como objetivo a organização do espaço estudado em ATOS. O modelo logístico tem como objetivo a localização

de instalações destinadas à logística reversa de embalagens, com alocação de *CT* e *CV*, com a possibilidade de diferentes tipos de materiais entrarem no sistema seguindo fluxos diferentes, em função das restrições das *ER*.

Um modelo matemático foi desenvolvido por meio de Programação Linear Inteira Mista, cujo objetivo foi minimizar os custos do SLR e maximizar as receitas auferidas com a comercialização dos materiais reaproveitáveis. A função-objetivo do problema é composta por cinco parcelas, divididas em 10 subparcelas, que representam os custos de instalação e operação dos *CT* e *CV*, custo de destinação dos rejeitos, custo de transporte entre os nós da rede e receita obtida com a venda dos materiais para indústrias recicladoras.

Para que o modelo se aproxime mais precisamente à realidade são desenvolvidas 20 restrições que dão os contornos do problema. Estas restrições garantem que vários tipos de matérias possam entrar no sistema e seguirem fluxos diferenciados a partir da triagem em *CT*, que os *CT* e *CV* serão alocados, com faixas de capacidades diferenciadas, que todo material terá uma destinação, e que todas as instalações, inclusive as empresas e os aterros não terão suas capacidades excedidas por tipo de matérias. Buscou-se, portanto, reproduzir de forma matemática, situações próxima a realidade, relacionadas à coleta, transporte e tratamento de materiais recicláveis e disposição final de rejeitos.

Para a construção do modelo foram elencados vinte e quatro parâmetros que estão relacionados com as características, as instalações como faixa de capacidades e custos de instalação e operação dos *CT* e *CV*, limites de capacidades dos *AS* e *ER*, quantidades de embalagens por tipo de material, distâncias e o custo de transporte entre os nós da rede.

Foram também desenvolvidos mais dois modelos matemáticos, o modelo Atual e o modelo alternativo que permitirão uma análise comparativa entre o modelo logístico proposto inicialmente, considerando que possa haver outras possibilidades de funcionamento do *SLR*.

Referências

- ACHILLAS, C.; VLACHOKOSTAS, C.; AIDONIS, D.; MOUSSIOPOULOS, N.; IAKOVOU, E.; BANIAS, G. Optimising reverse logistics network to support policy-making in the case of Electrical and Electronic Equipment. **Waste Management**, [S.l.], v. 30, p.2592-2600, 2010.
- ACHILLAS, C.; VLACHOKOSTAS, C.; MOUSSIOPOULOS, N.; PERKOULIDIS, G.; BANIAS, G.; MASTROPAVLOS, M. Electronic waste management cost: a scenario-based analysis for Greece. **Waste Management Research**, [S.l.], v. 29, n. 9, p. 963-972, 2011.
- AGRAWAL, S.; RAJESH, K.; SINGH, R. K.; MURTAZA, Q. A literature review and perspectives in reverse logistics. **Resources, Conservation and Recycling**, [S.l.], v. 97, p. 76-92, 2015.
- AITKEN, J.; HARRISON, A. Supply governance structures for reverse logistics systems. **International Journal of Operations & Production Management**, [S.l.], v 33, n. 6, p. 745-764, 2013.
- ALSALLOUMA, O. I.; RAND, G. K. Extensions to emergency vehicle location models. **Computers & Operations Research**, [S.l.], v. 33, p. 2.725-2.743, 2006.
- ALUMUR, S. A.; NICKEL, S.; SALDANHA-DA-GAMA., F; VERTER, V. Multi-period reverse logistics network design. **E. J. of Operational Research**, [S.l.], . 220, n. 1, p. 67-78, 2012.
- AQUINO, I. F.; CASTILHO JUNIOR, A. B.; PIRES, T. S. L. A organização em rede dos catadores de materiais recicláveis na cadeia produtiva reversa de pós-consumo da região da grande Florianópolis: uma alternativa de agregação de valor. **Revista Gestão & Produção**, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 15-24, 2009.
- BARCELOS, F. B.; PIZZOLATO, N. D. LORENA; L. A. N. Localização de Escolas do Ensino Fundamento com Modelos Capacitado e Não-Capacitado: caso de Vitória (ES). **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 24, n.1, p.133-149, 2004.
- BAENAS, J. M. H.; CASTRO, R. de; BATTISTELLE, R. A. G.; GOBBO JUNIOR, J. A. A study of reverse logistics flow management in vehicle battery industries in the midwest of the state of São Paulo (Brazil). **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 19, p. 168-172, 2011.

BALLOU, R. H. **Bussiness logistics**: supply chain management. 5. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2004.

BARROSO, A. P.; MACHADO, V. H. A Gestão da Logística Reversa dos resíduos em Portugal. **Investigação Operacional**[S.l.], v. 25, p. 179-194, 2005.

BOWERSOX, D. F.; CLOSS, D. J. **Logística Empresarial**: o processo de integração da cadeia de suprimento. São Paulo: Altas, 2001.

BRASIL. Lei n. n. 12.305/2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, 03 ago. 2010a.

CAIXETA-FILHO, J. V.; BARTHOLOMEU, D. B (Orgs.). Logística ambiental de resíduos sólidos. São Paulo: Atlas, 2011.

CARVALHO, L. A. V. **Datamining**: a mineração de dados no *marketing*, medicina, economia, engenharia e administração. São Paulo: Érica, 2001.

COUTO, P. R. L. **Modelagem computacional do transporte de contaminantes com processos de biodegradação e sorção física em um meio poroso saturado.2006, 143p.** Tese (Doutorado Modelagem computacional) – Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional. Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC). Petrópolis, 2006.

DAT, L. Q.; TRUC, D.T. L.; CHOU, S. Y.; YU, V. F. Optimizing reverse logisticcosts for recycling end-of-life electrical and electronic products. **Expert Systems with Applications**, [S.l.], v. 39, p. 6.380-6.387, 2012.

DUBKE, A. F. **Modelo de localização de terminais especializados**: um estudo de caso em corredores de exportação da soja.2006, 177p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia Industrial. Pontifícia Universidade Católica (PUC). Rio de Janeiro, 2006.

EL KORCHI, A; MILLET, D. Designing a sustainable reverse logistics channel: the 18 generic structures framework. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], . 19, n. 6, p. 588-597, 2011.

FERRI, G. L.; CHAVES, G. DE L. D.; RIBEIRO, G. M. Reverse logistic network for municipal solid waste management: the inclusion of waste pickers as a Brazilian legal requirement. **Waste Management**, [S.l.], v. 40, p. 173-191, 2015.

FLEISCHMANN, M.; BEULLENS, P.; BLOEMHOF-RUWAARD, J. M.; VAN WASSENHOVE, L. N. The impact of product recovery on logistics network

design. **Production and Operation Management**, [S.l], v. 10, n. 2, p. 156-173, 2001.

GIANNETTI, B. F.; BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. M. V. B. An emergy-based evaluation of a reverse logistics network for steel recycling. **Journal of Cleaner Production**, [S.l], v. 46, p. 48 - 57, 2013.

GOVINDAN, K.; SOLEIMANI, H.; KANNAN, D. Reverse logistics and closed-loop supply chain: a comprehensive review to explore the future. **European Journal of Operational Research**, [S.l], v. 240, n. 3, p. 603-626, 2015.

HAMAD, R. **Modelo para localização de instalações em escala global envolvendo vários elos da cadeia logística**. 2006. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de sistemas logísticos). Escola politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006..

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES (IBM). IBM ILOG CPLEX Optimization Studio. Inc. **CPLEX 12.6**. User Manual. [S.l.: s.n.], 2015

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação da logística reversa por cadeia produtiva - Componente: produtos e embalagens pós-consumo**. 2012. Disponível em: http://www.sinir.gov.br/documents/10180/13560/EVTE_PRODUTOS_EMBALAGENS_POS_CONSUMO/. Acesso em: 13 set. 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012.

JIA, H.; ORDÓÑEZ, F.; DESSOUKV, M. M. Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies. **Computers & Industrial Engineering**, [S.l], v. 52, p. 257-276, 2007.

KIZILBOGA, G.; MANDIL, G.; GENEVOIS, M.E.; ZWOLINSKI, P. Remanufacturing Network Design Modeling: a case of diesel particulate filter. **Procedia CIRP**, [S.l], v. 11, p.163-168, 2013.

KLOSE, A. DREXL, A. Facility location models for distribution system design. **European Journal of Operational Research**, [S.l], v. 162, p. 4-29, 2005.

LACERDA, L. Considerações sobre o estudo de localização de instalações. In: FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F (Orgs.). **Logística empresarial: a perspectiva brasileira**. São Paulo: Atlas, 2000.

MAPA, S. M. S.; LIMA, R. S.; MENDES, J. F. G. M. **Localização de instalações com o auxílio de Sistema de informações Geográficas (SIG) e modelagem matemática**. In: ENEGEP, 26., 2006, Fortaleza (CE). Anais... [S.l.] : Abepro, 2006.

MARIANOV, V.; RÍOS, M.; ICAZA, M. J. Facility location for market capture when users rank facilities by shorter travel and waiting times. **European Journal of Operational Research**, [S.l.], v. 191, p. 32-44, 2008.

MELO, T.; NICKEL, S.; SALDANHA DA GAMA, F. Facility location and supply chain management - A comprehensive review. **Berichte des Fraunhofer ITWM**, [S.l.], n. 130, 2007, 54p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/26920691_Facility_Location_and_Supply_Chain_Management_-_A_comprehensive_review. Acesso em: 20 mai. 2022.

MORABITO, R.; ARENALES, M.; ARMENTANO, V. A.; YANASSE, H. H. **Pesquisa operacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

PISHVAEE, M. S.; KIANFAR, K.; KARIMI, B. Reverse logistics network design using simulated annealing. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [S.l.], v. 47, n. 1-4, p. 269-281, 2010.

PIZZOLATO, N. D.; BARROS A. G.; BARCELOS, F. B.; CANEN, A. G. Localização de escolas públicas: Síntese de algumas linhas de experiências no Brasil. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 1, p. 111-131, 2004.

RAMEZANIA, M.; BASHIRI, M.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. **Applied Mathematical Modelling**, [S.l.], v. 37, p. 328-344, 2013.

REVELLEA, C.; MURRAVB, A. T.; SERRAC D. Location models for ceding market share and shrinking services. **The International Journal of Management Science — Omega**, [S.l.], v. 35, p. 533-540, 2007.

SALEMA, M. I. G.; POVOA, A. P. B.; NOVAIS, A. Q. An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty. **European Journal of Operational Research**, [S.l.], v. 179, n. 3, p. 1.063-1.077, 2007.

SCHULTMANN, F.; ZUMKELLER, M.; RENTZ, O. Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: an example from the automotive industry. **European Journal of Operational Research**, [S.l.], v. 171, p. 1033-1050, 2006.

SILVA, D. A. L.; RENÓ, G. W. S.; SEVEGNANI, G.; SEVEGNANI, T. B.; TRUZZI, O. M. S. Comparison of disposable and returnable packaging: a case study of reverse logistics in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 47, p. 377-387, 2013.

SOLEIMANI, H.; SEYYED-ESFAHANI, M.; SHIRAZI, M. A. A new multi-criteria scenario-based solution approach for stochastic forward/reverse supply chain network design. **Annals of Operations Research**, [S.l.], 2013. p. 1-23.

SOTO, M. M. T. **Análise e formação de redes de cooperativas de catadores de materiais recicláveis no âmbito da economia solidária**. 2011. 214 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SRIVASTAVA S. K. Network design for reverse logistics. **Omega**, [S.l.], v. 36, p. 535-548, 2008.

STAMM, C.; PIFFER, M.; PIACENTI, C. A. **Análise dos Fatores que Influenciaram a Localização das Indústrias no Paraná**. Paraná. Federação das Indústrias do estado do Paraná, 2004.

STUMMER, C.; DOERNER, K.; FOCKE, A.; HEIDENBERGER, K. Determining location and size of medical departments in a hospital network: A multiobjective decision support approach. **Health Care Management Science**, [S.l.], v. 7, p. 63-71, 2004.

TEIXEIRA, J. C.; ANTUNES, A. P. A hierarchical location model for public facility planning. **European Journal of Operational Research**, v. 185, p. 92-104, 2008.

TRAPPEY, A. M. Y.; CHARLES V. TRAPPEY, C. V.; WU, C. R. Genetic algorithm dynamic performance evaluation for RFID reverse logistic management. **Expert Systems with Applications**, [S.l.], v. 37, p. 7329-7335, 2010.

VILHENA, A. **Guia da Coleta Seletiva de Lixo**. São Paulo: Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), 1999.

WANG, H. F.; CHEN, Y. Y. A coevolutionary algorithm for the flexible delivery and pickup problem with time windows. **I. Journal of Production Economics**, [S.l.], v. 141, p. 4-13, 2013.

WANKE, P. F.; MONTEBELLER JÚNIOR, E. J.; TARDELLI, R. V. **Introdução ao planejamento de redes logísticas: aplicações em AIMMS (Optimization Software for operations applications)**. São Paulo: Atlas, 2009.

XANTHOPOULOS, A.; IAKOVOU, E. On the optimal design of the disassembly and recovery processes. **Waste Management**, [S.l], v. 29, p. 1.702-1.711, 2009.

ZSIGRAIOVA, Z.; SEMIAO, V.; BEIJOCO, F. Operation costs and pollutant emissions reduction by definition of new collection scheduling and optimization of MSW collection routes using GIS. **Waste Management**, [S.l], v. 33, p. 793-806, 2013.

Capítulo 3

Obtenção de dados para a modelagem matemática: estudo de caso — Espírito Santo/Brasil

Introdução

O objetivo deste Capítulo é a uma aplicação prática do modelo matemático, com vistas a validar o modelo logístico matemático proposto no Capítulo 2 para logística reversa de embalagens pós-consumo tendo como área de estudo o estado do Espírito Santo.

O estado do Espírito Santo, localizado na Região Sudeste do Brasil, possui uma população de 3.514.952 habitantes, e ocupa uma área de 46.098,1 km², com densidade demográfica de 76,2 hab./km² (IBGE, 2012). Este estado possui 1,81 % da população brasileira (BRASIL *et al.*, 2013) e 73 % dos municípios são considerados de pequeno porte, com população inferior a 30 mil habitantes (BRASIL, 2016). No Espírito Santo o Sistema de Logística Reversa (SLR) de embalagens ainda não foi implantado. Portanto, é um Estado representativo da realidade brasileira, o que permitirá que os resultados sejam replicados para cenários mais amplos no Brasil, bem como a outros países com semelhanças em termos de área territorial.

A obtenção dos dados reais teve como objetivo possibilitar a aplicação no modelo matemático apresentado no Capítulo 2. Neste estudo os quatro nós da SLR representado pelo modelo são: setenta e oito Pontos de Geração (PG), que representam todos os municípios do estado do Espírito Santo; cinquenta e quatro locais candidatos a Centros de Triagem (CT), correspondente às Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis (OCMR) existentes no estado em 2015; vinte e quatro locais candidatos a Centros de Valorização (CV), representando às áreas do projeto “Espírito Santo sem Lixão” e centrais de tratamento de resíduos existentes; quatorze Empresas

de Reciclagem (ER), que representam os polos industriais instalados no Espírito Santo e 8 Aterros Sanitários (AS) existentes no estado.

Para o modelo matemático proposto, foram definidos vinte parâmetros de entrada, relacionados aos nós do SLR e aos materiais recicláveis. Estes parâmetros foram obtidos por meio de coleta de dados de campo e análise de dados secundários específicos para a região de estudo. Desta forma, o modelo aplicado pode representar o mais próximo possível à realidade.

Neste Capítulo, portanto, são apresentados os dados obtidos em relação à quantidade de embalagens pós-consumo devolvidas pelos consumidores referentes ao ponto de geração PG, à composição gravimétrica das embalagens pós-consumo devolvidas pelos consumidores, aos custos fixos de instalação e de operação dos CT e CV juntamente com suas capacidades operacionais, aos custos de transporte entre os nós da rede, às distâncias entre os nós da rede, às capacidades das empresas recicladoras e às receitas auferidas com a venda dos materiais recicláveis para a ER pela CV, às capacidades e aos custos de disposição final dos rejeitos no AS.

1 Metodologia

A metodologia consiste na coleta de dados utilizados como parâmetros de entrada para o modelo matemático. Quando não foi possível se obter os dados reais em campo, ou quando os dados se mostraram muito frágeis, foram utilizados dados da literatura. Os dados coletados foram tabelados, para realização de análise estatística descritiva, teste de hipóteses utilizando o Software Statística 10. Posteriormente estes dados foram exportados para o ArcGis 10.1, onde foram elaborados mapas temáticos.

1.1 Estimativa de dados sobre geração das embalagens pós-consumo no Espírito Santo

Para a estimativa do quantitativo de embalagens pós-consumo gerado no Espírito Santo, foram assumidas algumas premissas descritas a seguir:

► **Local de geração** – Para este estudo foi considerando que os SLR de embalagens têm como ponto de partida os Pontos de Entrega Voluntária (PEV) que são utilizados pelo consumidor/gerador para

entrega voluntária das embalagens pós-consumo. No entanto, a localização dos PEV, e as rotas de coleta não fazem parte deste estudo. Foi considerado que as embalagens, após coletadas nos PEV, convergirão para um ponto comum, denominado Ponto de Geração (PG). O PG de cada município tem com coordenada geográfica a sede municipal, definida utilizando a Base de dados do IBGE, por meio dos arquivos Shapafiles (IBGE, 2014).

► **Quantidade gerada** – Para o cálculo do quantitativo de embalagens pós-consumo gerada em cada município foram levantados dados sobre a população, taxa de geração *per capita* e composição gravimétrica.

► **População** – Para o cálculo da população de cada município foi considerada a população medida no censo 2010 (IBGE, 2012), atualizada para 2015 com base nas Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (TMGCA) propostas para as microrregiões do Espírito Santo por Brasil *et al.* (2013). As TMGCA das microrregiões foram aplicadas aos municípios que as compõem. Para mensurar a quantidade de resíduos que chegam aos SLR foi considerada apenas a população urbana do município. O cálculo da população urbana considerou os percentuais estimados pelo censo 2010 do IBGE (2012).

► **Taxa de geração *per capita*** – Para este estudo foi considerado que a quantidade de embalagem pós-consumo gerada é a parcela de recicláveis dos RSD. O que leva a um valor superestimado, visto que nos materiais recicláveis também se encontra materiais que não são embalagens. Para o cálculo deste quantitativo foi considerada como Taxa de Geração *Per Capita* (TGP) de RSD a massa coletada de RSD *per capita* do SNIS ano Base 2014, por faixa populacional, considerando apenas os municípios que pesam seus resíduos (BRASIL, 2016a, 2016b).

Além disso, os valores de TGP foram corrigidos para o ano de 2015 utilizando uma taxa de crescimento anual *per capita* no valor de 2,6 % ao ano, obtido a partir da média dos percentuais de crescimento das taxas da massa coletada de RSD *per capita* em relação à população urbana para as faixas de 1 a 4, nos anos de 2013 a 2014. Portanto, são utilizados os valores de TGP por faixa populacional conforme Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Taxa de geração *per capita* por faixa populacional¹

Faixa	Intervalo da faixa	TGP geral	TGP c/ balança	TGP projetada c/balança				
		2014		2015	2020	2025	2030	
1	Até 30 mil habitantes	0,87	0,77	0,79	0,90	1,02	1,16	
2	De 30.001 a 100.000 habitantes	0,94	0,82	0,84	0,96	1,09	1,24	
3	De 100.001 a 250.000 habitantes	0,91	0,88	0,90	1,03	1,17	1,33	
4	De 250.001 a 1.000.000 habitantes	1,00	0,99	1,02	1,15	1,31	1,49	
5	De 1.000.001 a 3.000.000 habitantes	-	-	-	-	-	-	
6	Acima de 3.000.001 habitantes	-	-	-	-	-	-	

Fonte: as autoras.

► **Composição gravimétrica** – Para este estudo foram considerados os quatro principais grupos de materiais que compõem as embalagens pós-consumo: plástico, papel, metal, e vidro. Apesar de a comercialização desses materiais ser realizada a partir da reclassificação que sofrem durante o processo de triagem, foi realizada esta simplificação para efeitos de avaliação do modelo matemático. Para este estudo foi utilizada a percentual de materiais recicláveis do PLANARES, aplicado uma taxa de rejeitos de 16,7 % para cada material (IPEA, 2012a). A Tabela 3.2 apresenta as composições gravimétricas utilizadas no modelo logístico proposto.

Tabela 3.2 - Composição gravimétrica dos materiais recicláveis utilizada na aplicação do modelo matemático²

Composição	Papéis	Plásticos	Vidros	Metais	Rejeitos
ES ^(a)	42,7	19,1	11,1	4,3	22,9
PLANARES ^(b)	41,1	42,3	7,5	9,1	16,7 ^(c)
Valor adotado ^(d)	34,2	35,2	6,2	7,6	16,7

Fonte: as autoras.

1 TGP : Taxa de Geração Per Capita.

2 (a) Os valores dos estudos do Espírito Santo foram obtidos por meio da média simples dos resultados obtidos nos estudos de Laignier (2001), Morigaki (2003), Bringhenti *et al.*(2009) e Bassani (2011); (b) Os dados do Brasil foram os publicados no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) (IPEA, 2012a) e no Estudo de Viabilidade Técnica e econômica para embalagens pós-consumo - EVTE (IBAM, 2012); (c) Taxa de rejeitos para o total de resíduos. Este valor foi aplicado a cada parcela de matérias resultando nos percentuais adotados neste estudo; (d) Valor corrigido em relação ao do PLANARES com a retirada de 16,7 % de rejeito.

► **Taxa de retorno de embalagens para o SLR** – Considerando que o Acordo Setorial de embalagens pós-consumo, firmado em 25 de novembro de 2015 e publicado no Diário Oficial da União n. 227, em 27 de novembro de 2015 não apresenta metas para eficiência do SLR, o modelo foi aplicado para taxa de retorno de 5 %, 20 %, 40 % e 60 % (FERRI *et al.*, 2015).

1.2 Levantamento de dados sobre os locais candidatos a CT

Para este estudo foi considerado que as OCMR existentes no Espírito Santo são os locais candidatos à localização de CT. Estas OCMR já realizam a triagem de RSU advindos da coleta seletiva municipal, doação de empresas e catação nas ruas. Neste sentido, o modelo logístico para o SLR de embalagens atende à exigência legal, definida na Lei n. 12.305/2010, de que os catadores sejam inseridos nos SLR.

Inicialmente foi realizado um levantamento de informações quanto à existência de OCMR junto ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), Cáritas (ES), Agência de Desenvolvimento do Estado do Espírito Santo (ADERES) e Instituto Sindimicro.

Este levantamento resultou na identificação de 69 registros sobre a existência de organizações associativas de catadores localizadas em 57 dos 78 municípios do Espírito Santo. Destes 69 registros, foram confirmadas que 54 operavam efetivamente em 2015. Esta confirmação ocorreu por meio de contato telefônico direto com as organizações; informações do Instituto Sindimicro que realizava visita de campo de forma rotineira às associações participantes do projeto e questionamentos junto às secretarias municipais de meio ambiente dos municípios do Espírito Santo.

Para as 54 associações/cooperativas de catadores que se encontravam em operação, foi elaborado um questionário para levantamento de dados quantitativos sobre resíduos coletados, submetidos à triagem e comercializados e sobre a infraestrutura dos galpões de triagem. Este questionário foi aplicado em parcerias com um grupo de pesquisa do Departamento de Engenharia Ambiental do LAGESA/UFES -, e o Instituto Sindimicro.

O questionário foi aplicado em trinta e cinco das cinquenta e quatro organizações, totalizando 64,3 %. O questionário foi aplicado de forma presencial em trinta associações e cinco por telefone. Não foi possível aplicar os questionários nas demais associações por dificuldades logísticas.

1.3 Levantamento de dados sobre os locais candidatos a CV

Para a localização de áreas candidatas a CV foram analisadas dezoito áreas que fazem parte do projeto “Espírito Santo sem Lixão”. Estas áreas foram escolhidas pelo Governo do estado do Espírito Santo para construção de dezessete Estações de Transbordo (ET) e duas Centrais de Tratamento e de Disposição Final de RSU (CTDR) regionais. Também foram consideradas cinco áreas que são licenciadas como CTDR privadas existentes no estado. O que totaliza vinte e quatro áreas.

Estas áreas foram escolhidas como candidatas hipotéticas a CV, pois todas já foram avaliadas quanto aos critérios técnicos e ambientais, inclusive de acesso para caminhões. Todas as áreas já possuem licenças ambientais para atividade de transbordo, ou CTDR, que tem impactos semelhantes e superiores a de uma CV.

Para levantamento de dados sobre estas áreas, foram consultados os processos de licenciamento ambiental do IEMA (IEMA, 2015) e publicações do *Diário Oficial do Espírito Santo* (DIO-ES, 2015). Os dados analisados foram referentes à localização, à abrangência, às capacidades de projeto, às áreas totais e úteis ainda não ocupadas. As localizações destas áreas já contavam com coordenadas utilizando o Sistema Projetado de coordenadas UTM WGS 84/24S. Estes dados foram exportados para o ArcGis 10.1, permitindo uma melhor visualização das informações das áreas em estudo.

1.4 Levantamento de dados sobre empresas receptoras de resíduos

1.4.1 Empresas recicladoras

Foi realizado um levantamento de informações quanto à existência de empresas recicladoras no Espírito Santo junto ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA), órgão do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) responsável pelo licenciamento das atividades de reciclagem e beneficiamento de resíduos e disposição final de rejeitos no Espírito Santo, e junto aos municípios que municipalizaram o licenciamento ambiental.

Junto ao IEMA foram identificados oitenta e oito empreendimentos com licença ou em fase de licenciamento, cuja atividade cadastrada era reciclagem de resíduos/beneficiamento de resíduos. Para dezoito municípios que realizavam o licenciamento em 2015,

foram solicitadas as mesmas informações. No entanto, apenas seis municípios encaminharam as informações.

Foram consultados os bancos de dados de três organizações não governamentais que disponibilizam seus dados em sites na internet: ABIPLAST (2015), CEMPRE (2015) e Rota da reciclagem (2015), conforme apresentado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Base de dados consultadas sobre empresas recicladoras no Espírito Santo³

Fonte	Nº de empresas
ABIPLAST (2015)	5
CEMPRE (2015)	21
Rota da Reciclagem (2015)	42
IEMA ^(a)	88
Municípios ^(b)	6
Total	162

Fonte: as autoras.

1.4.2 Aterros Sanitários

Neste estudo, é considerado como local de destinação ambientalmente adequada de rejeitos apenas os devidamente licenciados pelo órgão ambiental responsável. Foram identificados oito CTDR que operam com Aterros Sanitários (AS), sendo que cinco possuem Licença de Operação (LO), dois estão em fase de Licença de Instalação (LI) e um de Licença Prévia (LP), incluindo os dois aterros do Projeto “Espírito Santo sem Lixão”.

1.5 Levantamento dos custos logísticos

Nesta fase foi realizado um levantamento de dados primários e secundários sobre os custos da cadeia de logística reversa de embalagens pós-consumos, incluindo os custos de instalações dos CT e CV, os custos para disposição de rejeitos, bem como os custos de transporte entre os nós da rede do modelo, sendo estas: PG até CT, CT até CV, CV até ER e CT até AS.

³ (a) Informação cedida pela Gerência de Qualidade Ambiental do IEMA; (b) Informação cedida pelos municípios que realizam o licenciamento ambiental.

As informações disponíveis sobre os custos logísticos para manejo de resíduos apresentam, em sua maioria, alguma defasagem temporal, sendo provável que os valores não sejam mais os mesmos, ou ainda que as datas de publicações apresentem-se diferentes, o que dificulta a comparação dos resultados. Dessa forma, optou-se por fazer uso de um método de correção dos valores monetários defasados, utilizando o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) de 2008 a 2015

Ano	IPCA	Ano	IPCA
2008	5,90 %	2012	5,83 %
2009	4,31 %	2013	5,91 %
2010	5,90 %	2014	6,40 %
2011	6,50 %	2015	8,52 %

Fonte: IBGE, 2015.

1.5.1 Custo de implantação e operação dos CT e das CV

Para a obtenção dos custos de implantação dos CT e das CV foram analisados alguns estudos como Brasil (2011), Brasil (2008), IBAM (2012), ABRELPE (2015) e BNDES (2013). Foram elaboradas planilhas de composição de custos, com coleta de preços de mercado quando não encontrado em literatura. Para os custos de manutenção das instalações foram assumidos como premissa uma vida útil de 20 anos. Para os custos de manutenção dos equipamentos uma vida útil de 10 anos. Para a mão de obra foram considerados o valor de um salário mínimo e os encargos de Instituto Nacional do Seguro Social (INSS), férias e décimo terceiro. O que difere dos estudos consultados, que considera a renda do catador como sendo o rateio da receita obtida com a venda dos materiais.

1.5.2 Custos de transporte de embalagens pós-consumo

Para o cálculo do custo de transporte entre os nós da rede foi considerado o Índice Nacional de Custos de Transporte de Carga Lotação (INCT-L) de dezembro de 2015. O INCT - L mede a evolução de todos os custos da carga fracionada, incluindo transferência,

administração, gerenciamento de riscos e custo valor o qual é elaborado pela Associação Nacional do Transporte de Cargas e Logística (NTC) (NTC, 2015). A Tabela 3.5 apresenta dos custos de médio de transporte de carga lotação para o mês de dezembro de 2015.

Tabela 3.5 - Índice Nacional de custos de transporte de carga lotação - Dez 2015

Percurso	Faixa	R\$/t	R\$/t.km
Muito Curto	0-50	56,65	1,13
Curto	51-400	109,2	0,27
Médios	401-800	171,84	0,21
Longos	801-2400	407,36	0,17
Muito Longos	2401-6000	926,01	0,15

Fonte: NTC, 2015.

1. 5.3 Taxa de cubagem

As tarifas por tonelada são calculadas levando-se em conta cargas cuja densidade permita ao veículo completar o seu limite de peso bruto antes que se esgote a sua capacidade volumétrica. Caso a densidade seja menor, o veículo completa sua lotação volumétrica antes que sua capacidade em peso seja alcançada. Portanto, cargas de baixa densidade, que lotam a carroçaria antes de completar o limite de peso, sofrerão acréscimo no frete-peso. O Coeficiente de Acréscimo de Cubagem (CAC) é multiplicado pelo valor do frete normal, quando necessário (NTC, 2015).

Portanto, os custos de transporte foram obtidos conforme o INCT-L de dezembro de 2015 (NTC, 2015). A densidade considerada para os materiais transportados de PG e CT foi de 65 kg/m³ (BASSANI, 2011), entre CT e CV e entre CV e ER; de 200 kg/m³ (BRASIL, 2008) e de 230kg/m³ para o rejeito transportado para os AS (IBAM, 2009). Desta forma os CAC adotados foram 4,61, 1,5 e 1,3 respectivamente.

1. 5.4 Matrizes de distâncias

As coordenadas geográficas UTM dos nós da rede foram utilizadas para calcular as matrizes de distâncias utilizadas no modelo logístico. As distâncias retas foram acrescidas de 10 % conforme metodologia adotada por Ferri *et al.* (2015).

1.5.5 Custo de disposição final dos rejeito

As informações referentes aos custos de disposição final de rejeitos são escassas nas pesquisas existentes no Brasil. A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizadas pelo IBGE, cujo levantamento mais recente data de 2008, não faz esta avaliação (IBGE, 2010). A pesquisa da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), publicada anualmente, apresenta apenas com o indicador “despesas municipais anuais com coleta e demais serviços de limpeza urbana”, sendo que os demais serviços de limpeza urbana compreendam, além das despesas com a disposição final dos RSU, os gastos com serviços de varrição, capina, limpeza e manutenção de parques e jardins, limpezas de córregos etc. (ABRELPE, 2015).

Assim, para o levantamento dos custos com a disposição final dos resíduos de embalagem foi utilizada a base de dados do SNIS para os RSU. Para construção do modelo logístico foram considerados os valores médios praticados no Espírito Santo para o ano de 2014 (BRASIL, 2016b).

1.6 Levantamento das receitas previstas com a comercialização de materiais reaproveitáveis

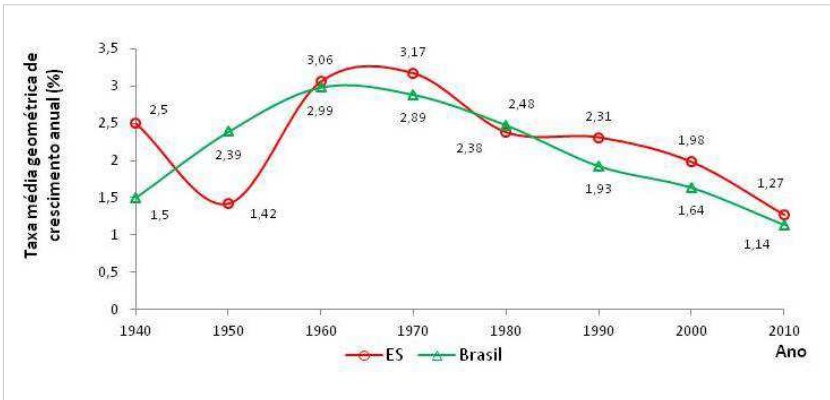
Para os preços de venda dos materiais foram considerados os obtidos a partir do levantamento realizado junto as organização associativas de catadores de materiais reaproveitáveis do Espírito Santo.

1.7 Caracterização da área de estudo - Estado do Espírito Santo

O estado do Espírito Santo situa-se na Região Sudeste do país e constitui-se no menor e menos populoso estado da região. Com população de 3.514.952 habitantes, o estado ocupa uma área de 46.098,1 km² e apresenta densidade demográfica de 76,2 hab./km² (IBGE, 2012).

Desde 1960 o crescimento populacional do Espírito Santo, medido pela Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (TMGCA) tem sido ligeiramente superior ao da média brasileira, conforme a Figura 3.1. A participação da população tem ficado em torno de 1,81 % da população brasileira desde o censo de 1990 (BRASIL *et al.*, 2013).

Figura 3.1 - Evolução da taxa média geométrica de crescimento anual do Espírito Santo e do Brasil (1940-2010)



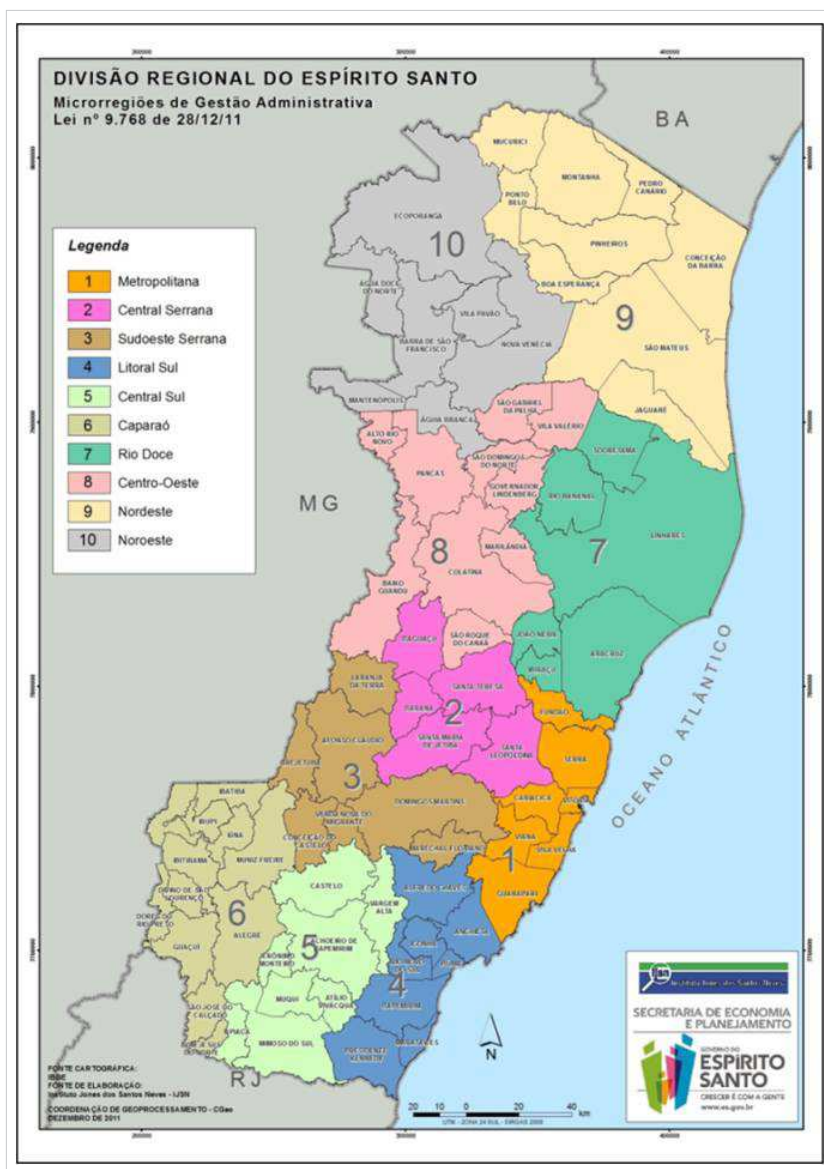
Fonte: BRASIL *et al.*, 2013. Adaptado.

O estado do Espírito Santo é dividido territorialmente em dez microrregiões de planejamento, conforme a Lei n. 9.768 de 28/12/2011. Estas dez microrregiões, por sua vez, são agrupadas em quatro macrorregiões (ESPÍRITO SANTO, 2011), sendo elas:

- Macrorregião Metropolitana, que compreende as microrregiões 1, 2, e 3;
- Macrorregião Norte, que agrega as microrregiões 9 e 10;
- Macrorregião Central, que agrega as microrregiões 7 e 8;
- Macrorregião Sul, que agrega as microrregiões 4, 5 e 6.

A Figura 3.2 apresenta a divisão microrregional do estado do Espírito Santo.

Figura 3.2 - Divisão regional do Espírito Santo

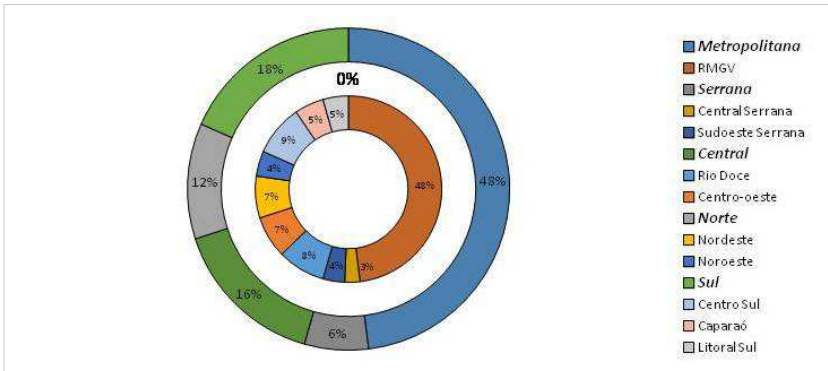


Fonte: IJNS, 2015.

Neste estudo a macrorregião Metropolitana foi analisada de forma segregada em Metropolitana e Serrana, onde a Metropolitana

compreende a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) e a Serrana compreende a Central Serrana e Sudoeste Serrana. A RMGV representava, em 2010, 48,1 % da população do Estado, mas tem apenas 5,1 % de sua área (IBGE, 2012). A participação percentual da população das macro e microrregiões em relação ao estado do Espírito Santo é apresentada na Figura 3.3.

Figura 3.3 - Participação percentual da população das microrregiões em relação ao estado do Espírito Santo em 2010.

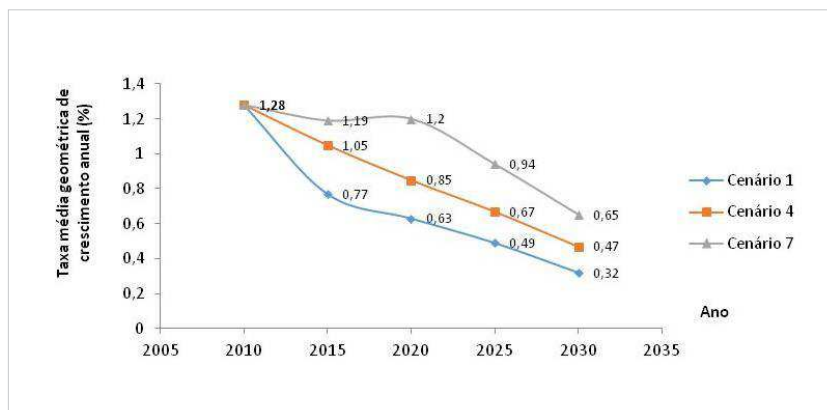


Fonte: BRASIL *et al.*, 2013. Adaptado.

1.8 Previsão de crescimento populacional no Espírito Santo

A análise do crescimento populacional é de grande importância para o estudo do gerenciamento de resíduos sólidos, visto que a geração de resíduos está sempre relacionada com a população. No estudo realizado por Brasil *et al.* (2013), foram elaborados sete cenários de crescimento populacional para todo o Espírito Santo de acordo com hipóteses demográficas de fecundidade, mortalidade e migração, para o período de 2015 a 2030. Destes sete cenários, os autores selecionaram três cenários que consideram mais realistas, cenário 1, 4 e 7. A Figura 3.4 mostra as TMGCA previstas para os três cenários.

Figura 3.4 - Taxa média geométrica de crescimento anual para o Espírito Santo de 2010 a 2030⁴



Fonte: BRASIL *et al.*, 2013. Adaptado.

As descrições dos três cenários de crescimento selecionados por Brasil *et al.* (2013) como sendo os mais realistas são apresentados a seguir:

► **Cenário 1** – Tendência média (esperança de vida média, fecundidade média), sem migração. População em 2030 cerca de 11 % maior que em 2010. TMGCA 2030 de 0,32.

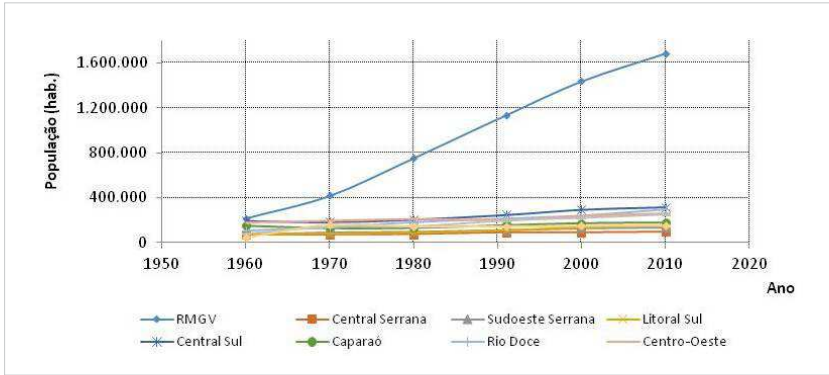
► **Cenário 4** – Tendência média (esperança de vida média, fecundidade média). Pressupõe migração decrescente, relativamente a 2005-2010, em 20 % a cada quinquênio. População em 2030 cerca de 17 % maior que em 2010. TMGCA em 2030 de 0,47.

► **Cenário 7** – Tendência média (esperança de vida média, fecundidade média), com migração crescente inicial e decrescente nos últimos quinquênios. População em 2030, 21,9 % maior que em 2010. TMGCA em 2030 de 0,65.

Para os três cenários selecionados foram elaboradas projeções de crescimento populacional desagregada para cada uma das dez microrregiões do Espírito Santo. Na Figura 3.5 é apresentada a evolução da população das microrregiões para o Cenário 1.

4 Ano 2010 (IBGE, 2012); 2 - População calculada para 01. de julho.

Figura 3.5 - Evolução da população das microrregiões de 1950 a 2030 - Cenário 1



Fonte: BRASIL *et al.*, 2013. Adaptado.

Observa-se que RMGV, que representa 48% da população do estado, é a região que mais cresce, em comparação com as demais microrregiões.

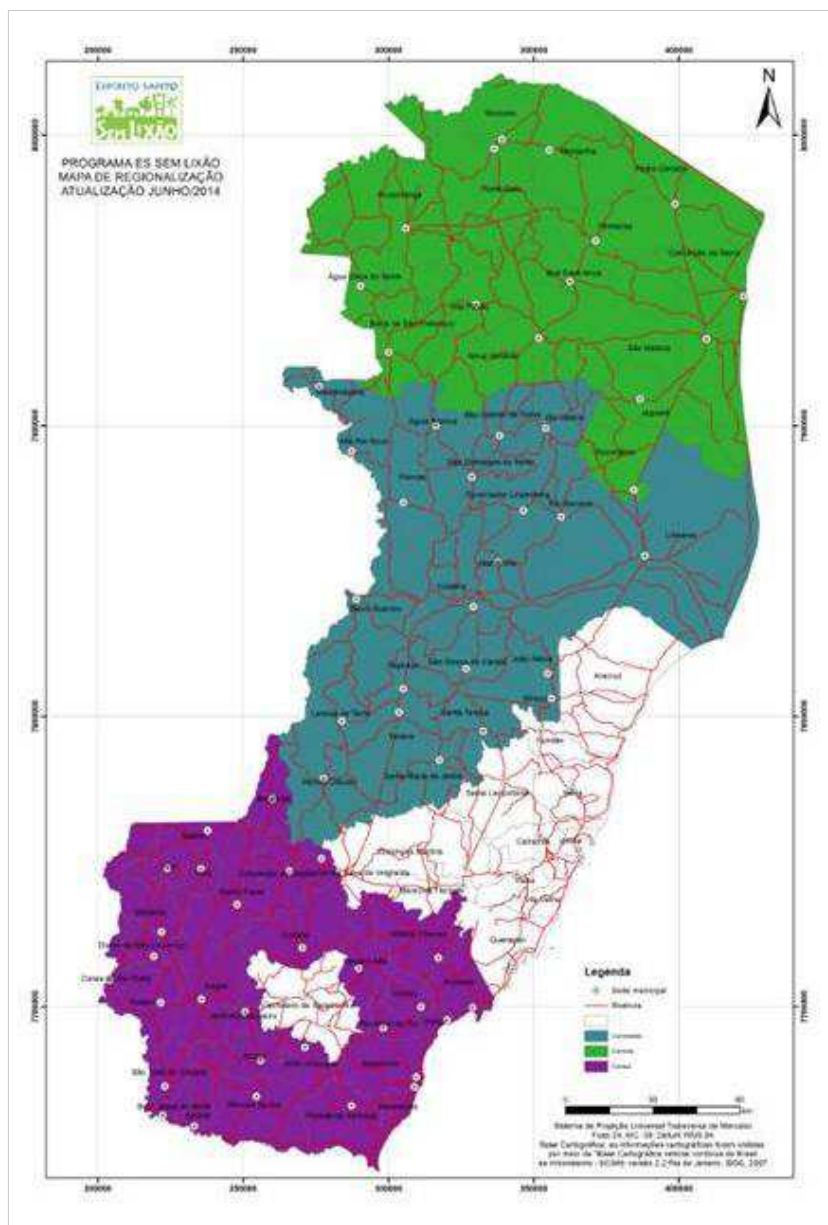
1.9 Panorama dos resíduos sólidos no Espírito Santo

No Espírito Santo a situação do gerenciamento de resíduos sólidos não destoa da realidade brasileira havendo grande presença de vazadouros a céu aberto, popularmente conhecido como “lixões”, e coleta seletiva incipiente, apenas em algumas localidades dos centros urbanos.

A publicação da Lei n. 9.264/2009 que instituiu a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) (ESPÍRITO SANTO, 2009a), bem como a formação do Comitê Gestor de Resíduos Sólidos do Espírito Santo (COGERES) por meio do Decreto n. 2363-R/2009, são ações importantes para a gestão dos RSU no Estado (ESPÍRITO SANTO, 2009b).

Em 2008, o Governo do Estado implantou o Projeto “ES Sem Lixão” com o objetivo principal de erradicar os lixões, por meio de sistemas regionais de disposição final adequada de RSU (SEDURB, 2014). A Figura 3.6 apresenta a atual configuração da regionalização do Projeto, que passou por diversas alterações desde sua configuração original, sendo em 2015 dividido em quatro regiões: Norte, Doce Oeste, Sul e Metropolitana.

Figura 3.6 - Regionalização do Projeto Espírito Santo Sem Lixão



Fonte: SEDURB, 2014.

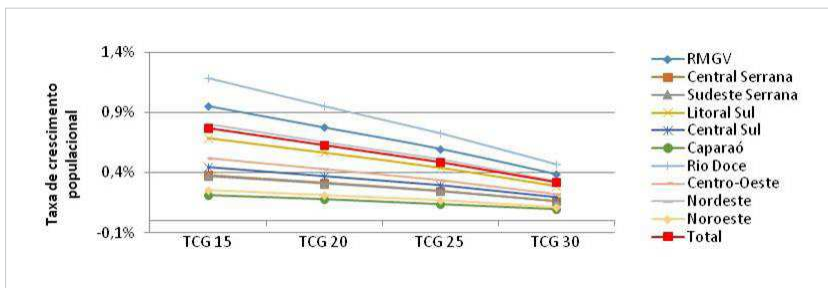
Neste estudo, as áreas selecionadas no projeto para implantação de Estações de Transbordo (ET) foram consideradas como locais candidatos a CV e os Aterros Sanitários como locais candidatos a AS do modelo.

2 Estimativa de geração de embalagens pós-consumo

A geração de embalagens atual foi calculada considerando a população total dos municípios, projetada para 2015, a taxa *per capita* de geração de resíduos considerando os dados do SNIS 2014 (BRASIL, 2016), a composição gravimétrica dos RSU do PLANARES (IPEA, 2012a).

A população de 2015 projetada para cada município foi calculada tendo como referências o estudo de Brasil *et al.* (2013), considerando as TMGCA de cada região. Como se pode observar na Figura 3.7 as TMGCA são diferentes para cada região, sendo que apenas três regiões apresentam TMCGA superiores à calculada para todo o estado do Espírito Santo.

Figura 3.7 - Crescimento populacional das microrregiões administrativas do Espírito Santo (Cenário 1)



Fonte: BRASIL *et al.*, 2013.

O Espírito Santo tem uma população urbana de 2.955.274 habitantes, com um potencial de geração de 880,36 t/dia de embalagens pós-consumo. As estimativas de geração de embalagens geradas nos municípios do Espírito Santo são apresentadas na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Estimativa de geração de embalagens por região administrativa do Espírito Santo em 2015⁵

Região ^(a)	Município		Pop. estimada 2015 ^(b)			Total de embalagens ^(c) (t/dia)					
	Nº	%	Pop. total	Pop Urb.	%	Total	Papel	Plástico	Vidro	Metal	Rejeito
Central	16	21	552.959	425.194	13	117,10	50,00	22,37	13,00	5,04	26,82
Metropolitana	7	9	1.703.767	1.674.797	61	534,62	228,28	102,11	59,34	22,99	122,43
Norte	16	21	410.417	291.025	9	77,72	33,19	14,84	8,63	3,34	17,80
Serrana	12	15	226.161	97.358	3	25,12	10,72	4,80	2,79	1,08	5,75
Sul	27	35	648.609	466.900	14	125,80	53,72	24,03	13,96	5,41	28,81
Total	78	100	3.541.915	2.955.274	100	880,36	375,91	168,15	97,72	37,86	201,60

Fonte: as autoras.

3 Levantamento sobre os nós da rede logística

Para a construção dos nós da rede logística foram coletados dados sobre as Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis (OCMR) existentes no Espírito Santo como sendo os locais candidatos à localização de CT, dados sobre locais candidatos a CV e sobre as empresas receptoras de resíduos e de rejeitos.

3.1 Diagnóstico das Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis (OCMR)

Para este estudo foi considerado que as Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis (OCMR) existentes no Espírito Santo são os locais candidatos à localização de CT do modelo logístico. Foram identificadas cinquenta e quatro organizações associativas em operação em 2015. Do questionário aplicado, obteve-se respostas

5 (a) Macrorregiões do Espírito Santo, Lei n. 9.768 de 28/12/2011. A Macrorregião Metropolitana está representada de forma dividida em suas microrregiões (Serrana e Metropolitana) (ESPÍRITO SANTO, 2011); (b) Calculado com base nos percentuais de RSU coletada por população urbana por faixas dos SNIS, considerando os municípios que têm balança (Brasil, 2016a,2016b); (c) Calculado considerando o percentual da população urbana do Censo 2010 (IBGE, 2012).

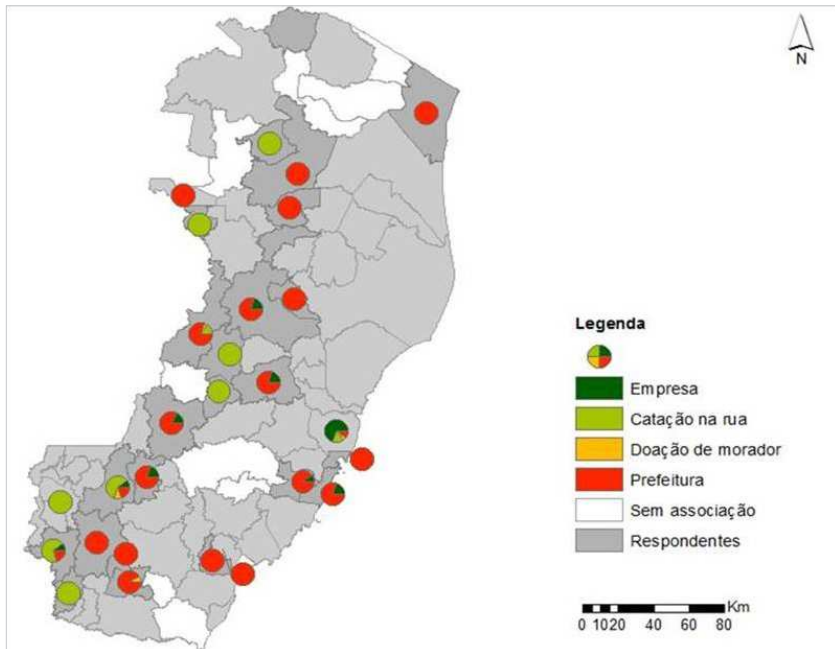
de tr organizações, com um percentual 64,8 % respondentes. O resumo dos dados coletados é apresentado na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 - Informações sobre as organizações de catadores de materiais recicláveis do Espírito Santo⁶

Regiões	Central	Norte	Sul	Serrana	Metropolitana	Total
Nº de município	16	16	27	12	7	78
Nº total de associações	10	9	16	8	11	54
Nº de respondentes	7	5	11	5	7	35
Nº de associados	69	50	97	32	106	354

Fonte: as autoras.

Figura 3.8 - Fontes dos materiais submetidos à triagem pelas associações de catadores no Espírito Santo.



Fonte: as autoras.

6 A Macrorregião Metropolitana está representada pela RMGV e Região Serrana. Quanto à origem, os materiais submetidos à triagem pelas OCMR são originários de empresas, prefeitura, catação na rua e doações de moradores conforme se observa na Figura 3.8. Constatou-se também que nove OCMR receberam materiais recicláveis de outros municípios.

3.1.1 Produtividade dos catadores

Os dados sobre a renda mensal média foram respondidos de forma direta no questionário. Quanto às produtividades, os valores foram levantados em termos de quantidade de resíduos submetidos à triagem pelos catadores em um dia. A Tabela 3.8 apresenta a renda e a produtividade das OCMR do Espírito Santo.

Tabela 3.8 - Renda e produtividade das organizações associativas de catadores do Espírito Santo

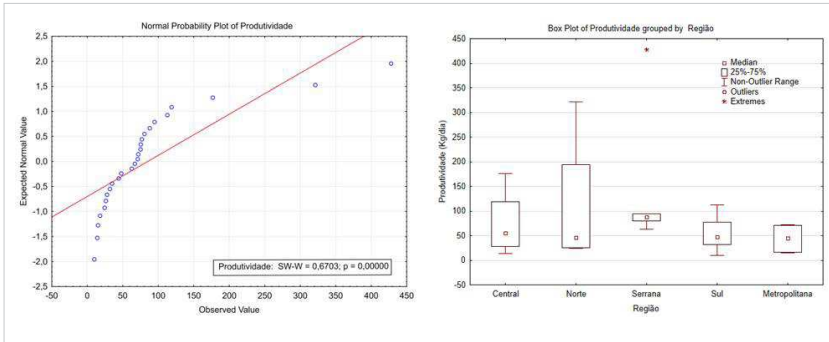
	Renda Mensal	N. de catador	Dias trabalhados		Quantidade comercializada		Produtividade	
	(R\$/mês)	(cat.)	(dia/sem.)	(dia/mês)	(kg/mês)	(kg/dia)	(kg/catador.dia)	(kg/m ² .dia)
Máximo	1.625,0	28,0	7,0	30,0	54.857,8	2.493,5	427,9	6,9
Mínimo	80,0	3,0	4,0	18,0	1.958,0	89,0	9,9	0,0
Mediana	788,0	8,0	5,0	22,0	9.800,0	442,5	69,0	0,8
Média	767,3	9,9	5,3	23,0	17.010,0	690,1	85,2	1,5
Desvio Padrão	386,1	5,6	0,6	2,4	16.319,0	682,3	94,7	2,0
N	33	35	35	35	27	26	26	13

Fonte: as autoras.

A análise da produtividade aponta para um valor médio de 85,2 kg/catador/dia ou 1.745,23 kg/catador/mês, considerando todas as associações pesquisadas. Este valor difere do valor de 200 kg/dia, apresentado por Brasil (2008), utilizado também por IBAM (2012).

Utilizando a classificação realizada por Damásio (2010), o valor da produtividade média das associações as enquadraria como média. Analisando individualmente, verifica-se que sete associações se enquadram como sendo de alta eficiência, nove de média, quatro como baixa e seis como baixíssima eficiência.

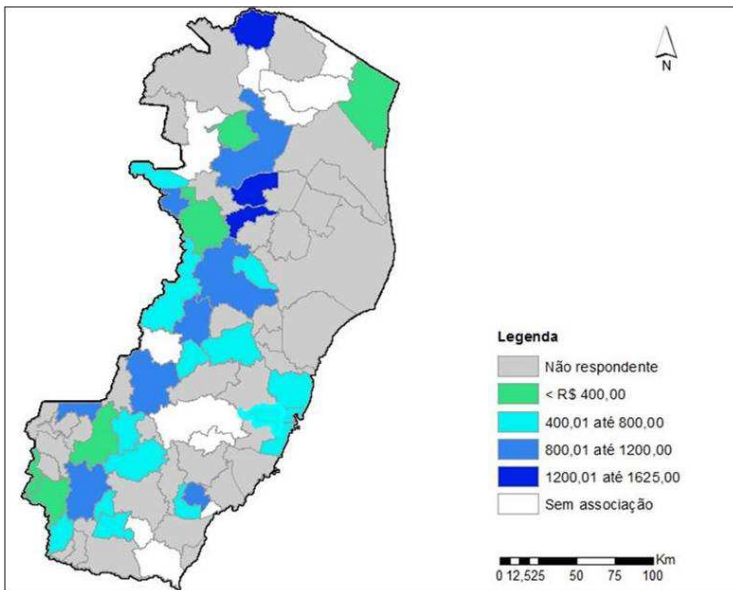
A Figura 3.9a mostra o teste estatístico de normalidade *Shapiro Wilk*, que indicou que não há uma distribuição normal, com $p = 0,0000 < 0,05$. Na Figura 3.9b é apresentado o Gráfico BoxPlot, considerando as regiões do estudo. Devido a pouca quantidade de dados, foi realizado o teste não paramétrico *Kruskal-Wallis* e como resultado obteve-se que não há evidências de diferenças significativas entre as medianas dos grupos analisados ($p = 0,374 > 0,05$).

Figura 3.9 - Produtividade dos catadores por microrregião do Espírito Santo

Fonte: as autoras.

3.1.2 Renda Média

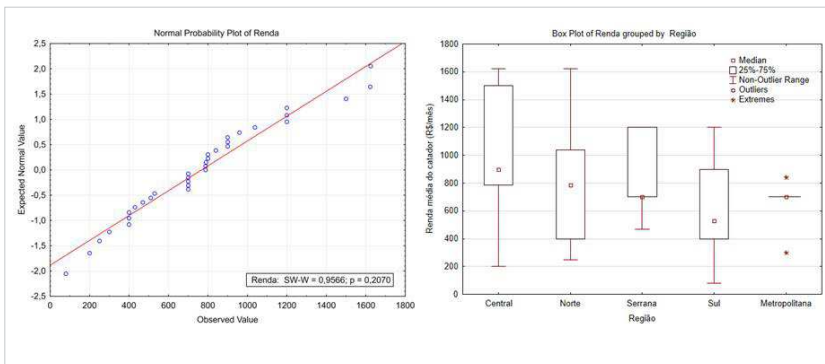
A análise da renda dos catadores aponta para um valor médio mensal de R\$ 767,30/catador/mês. Deve-se, atentar para valores máximo e mínimo de R\$ 1.625,00 e R\$ 80,00. A distribuição espacial da renda dos catadores pode ser observada na Figura 3.10.

Figura 3.10 - Renda média das associações de catadores no Espírito Santo

Fonte: as autoras.

A Figura 3.11a apresenta o gráfico de distribuição normal e teste estatístico de normalidade *Shapiro Wilk*, que indicou que existe uma distribuição normal, com $p = 0,2070 > 0,05$. Com os dados obtidos foi possível avaliar a renda média das associações dos catadores por Macrorregião. Na Figura 3.11b é apresentado o Gráfico BoxPlot, considerando as regiões do estudo. Devido a pouca quantidade de dados, foi realizado o teste não paramétrico *Kruskal-Wallis* e como resultado obteve-se que não há evidências de diferenças significativas entre as medianas dos grupos analisados ($p = 0,6691 > 0,05$).

Figura 3.11 - Renda média dos catadores por microrregião do Espírito Santo



Fonte: as autoras.

3.2 Levantamento de dados sobre locais candidatos a CV

Neste estudo foram consideradas vinte e quatro áreas candidatas a CV do SLR de embalagens para o estado do Espírito Santo. Destas áreas, dezenove fazem parte do projeto “Espírito Santo sem Lixão”, sendo que dezessete áreas são Estações de Transbordo (ET) e duas Centrais de Tratamento e de Disposição Final de RSU (CTDR) regionais (SEDURB, 2014; IEMA, 2015). As outras cinco áreas são CTDR privadas existentes no estado (IEMA, 2015).

As estações de transbordo ou transferência são unidades instaladas próximas ao centro de massa de geração de resíduos para que os caminhões de coleta, depois de cheios, façam a descarga e retornem rapidamente para complementar o roteiro de coleta (IBAM, 2009). Portanto, tem a finalidade de otimizar os custos da transferência dos resíduos coletados na cidade.

Alguns dos impactos ambientais semelhantes entre CV, ET e AS, são associados ao planejamento, implantação e operação como: desvalorização ou valorização dos terrenos e/ou imóveis circunvizinhos, incômodos à população, rejeição quanto à instalação do empreendimento, geração de resíduos, danos nas vias de acesso, geração de ruído, geração de esgoto (efluente doméstico), geração de emprego e renda e eliminação de pontos de disposição final inadequada de RSU.

Dessa forma, a adoção das áreas das ET do programa “Espírito Santo sem Lixão” como pontos candidatos para a localização de CV foi devido à existência de alguns impactos ambientais e características semelhantes que visam obter o máximo de proveito sob o ponto de vista logístico.

Para o modelo matemático, além dos dados sobre a localização, foram levantadas também as áreas totais, as áreas destinadas à construção dos transbordos e as áreas edificadas, que incluem infraestruturas que poderiam ser comuns às CV como balanças, portaria e pátios de manobras. Desta forma foi possível concluir que todas as dezenove áreas do Projeto “Espírito Santo sem Lixão” teriam potencial em termos da área disponível para a construção de CV de formar compartilhada com as ET e os AS já projetados.

3.3 Levantamento de dados sobre as empresas receptoras de resíduos

Para o levantamento de dados sobre as empresas receptoras de resíduos foram pesquisadas empresas que atuam na área de reciclagem e empresas de disposição final de rejeitos, no caso de embalagens pós-consumo, os aterros sanitários.

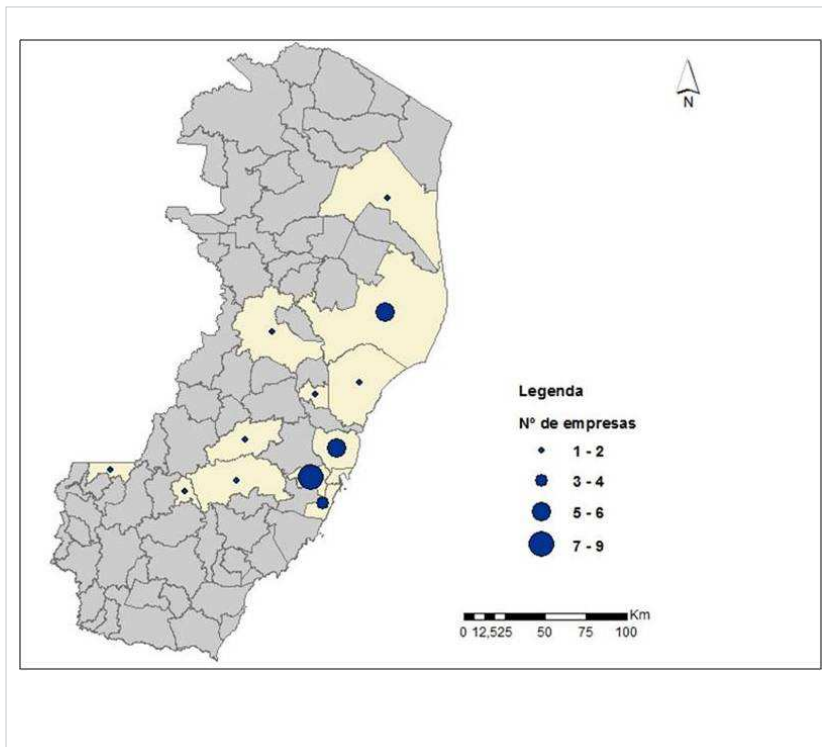
3.3.1 Empresas recicladoras

A partir do levantamento de dados secundários de cinco bases de dados sobre empresas recicladoras existentes no Espírito Santo e após tratamento dos dados, com verificação de sobreposição de dados, chegou-se a um quantitativo de oitenta e nove empresas, cadastradas como possíveis recicladoras de resíduos. Foi realizado contato telefônico com quarenta e oito empresas. Para trinta e quatro delas foram enviados questionários, sendo que apenas vinte responderam. Dentre estas, nove informaram que não trabalham mais com reciclagem e cinco não quiseram participar da pesquisa. O questionário enviado para as empresas aborda questões relacionadas ao

tipo de resíduo, processo, capacidade produtiva, valores de comercialização e previsão de ampliação das atividades.

Em relação à localização, considerando as oitenta empresas registradas como recicladoras, já excetuando as nove que responderam que não trabalham mais com reciclagem, verifica-se que existe uma concentração de empresas na região metropolitana, com cinquenta e três empresas das oitenta. As demais estão dispersas pelos demais municípios. O município do interior do estado com mais recicladoras é o município de Linhares, onde existe um polo industrial. Na Figura 3.12 é apresentado um mapa com a distribuição das empresas recicladoras mapeada nesse estudo.

Figura 3.12 - Mapa de localização de possíveis empresas recicladoras de resíduos instaladas no Espírito Santo



Fonte: as autoras.

Ressalta-se que este mapa trata de possíveis empresas, visto que algumas empresas podem não mais estar em funcionamento, como já foi verificado com 18,8 % das empresas com que foi realizado contato telefônico. Outra situação refere-se à real atividade desenvolvida pelas empresas, pois mesmo estando cadastradas nos respectivos bancos de dados como recicladoras, algumas empresas são na verdade, ferros velhos, aparistas ou realizam apenas, transporte, triagem e/ou beneficiamento primário.

3.3.2 Polos industriais

No Espírito Santo existem oito municípios com polos industriais instalados (ESPÍRITO SANTO, 2016), e estes polos foram considerados como locais potenciais para atração de indústrias recicladoras que poderão absorver os materiais coletados pelo SLR de embalagem. Para tanto, foi considerado que estes polos terão capacidades ilimitadas para receber todos os tipos de materiais.

Desta forma, o modelo também indica quais os polos industriais mais atrativos para empresas recicladoras em função da localização dos CT e CV alocadas.

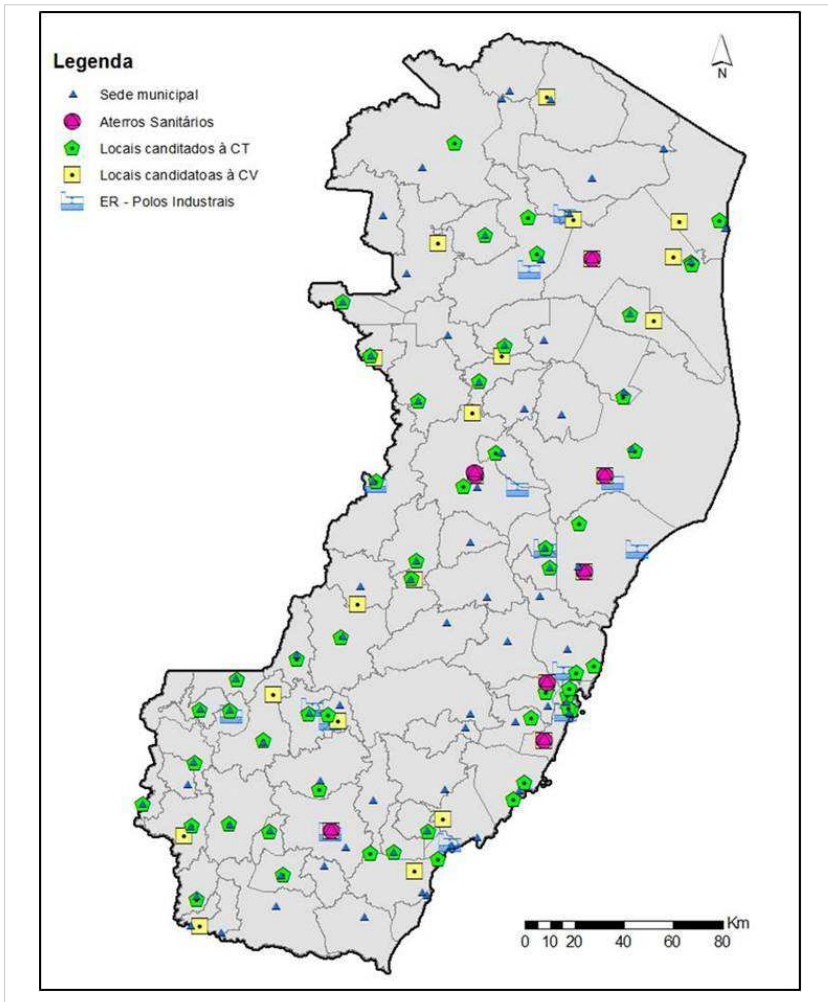
3.3.3 Empresas de disposição final de rejeitos

Foram mapeados oito aterros sanitários licenciados para disposição final de rejeitos no Espírito Santo. As informações sobre o operador, e a localização foram obtidas no site o IEMA, órgão do SISNAMA responsável pelo licenciamento desta atividade no estado (IEMA, 2015).

3.4 Resumo dos locais mapeados no estudo de caso

No estudo de caso foram reunidas as informações sobre os quatro nós da rede de logística reversa a ser modelada. Foram definidos setenta e oito Pontos de Geração que representam todos os municípios do Espírito Santo; cinquenta e quatro locais candidatos a CT, correspondente às Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis (OCMR) existentes no estado em 2015; 24 locais candidatos a CV, representando às áreas do projeto “Espírito Santo sem Lixão” e centrais de tratamento de resíduos existentes; quatorze ER, que representam os polos industriais instalados no Espírito Santo e oito AS existentes no estado. Estes locais foram mapeados e são mostrados na Figura 3.13.

Figura 3.13 - Mapa de localização dos nós da rede de logística reversa de embalagens pós-consumo no Espírito Santo



Fonte: as autoras.

3.5 Levantamento dos custos logísticos

Nesta fase foram levantados os custos logísticos de implantação e operação dos CT e CV, os custos de transporte entre os nós da rede e os custos de disposição de rejeitos do sistema.

3.5.1 Custos fixos de instalação e de operação dos CT e das CV

Para a composição dos custos de instalação e operação de CT e CV foram considerados os custos fixos e custos variáveis. Os custos fixos representam os gastos com licenciamento ambiental, compra de maquinário e equipamentos, construção do prédio administrativo e galpão, material de limpeza, salários, depreciação, entre outros. Os custos variáveis se referem ao gasto com insumos utilizados para o beneficiamento dos materiais como, água, energia, telefone, combustível, equipamentos de proteção individual, dentre outros. Ressalta-se que esses cálculos não incluíram custos de desapropriação e compra do local de instalação (BRASIL, 2008; 2012). A Tabela 3.9 mostra os valores calculados para implantação e operação dos CT e das CV, com quatro faixas de capacidade cada.

Tabela 3.9 - Custos de instalação e operação dos CT e das CV

Tipo de instalação	Capacidade t/mês	Custo de Instalação R\$/mês	Custo de operação R\$/mês
CT (Faixa 1)	50,53	3.348,27	18.891,45
CT (Faixa 2)	168,4	5.548,80	55.991,63
CT (Faixa 3)	421,1	9.307,65	133.639,59
CT (Faixa 4)	842,2	15.126,42	252.274,16
CV (Faixa 1)	260,0	2.335,60	11.647,97
CV (Faixa 2)	520,0	4.053,32	19.663,02
CV (Faixa 3)	1300,0	5.787,85	39.599,79
CV (Faixa 4)	2600,0	9.730,94	74.332,60

Fonte: as autoras.

3.5.2 Distâncias e custos de transporte entre os nós da rede

As matrizes de distâncias foram construídas utilizando as coordenadas geográficas UTM dos nós do SLR, acrescido de 10 % (FERRI, 2015). A matriz de custo foi construída utilizando os custos de frete conforme INCT-L de dezembro de 2015 (NTC, 2015). Os valores de frete foram majorados pelos CAC de 4,61 para os materiais transportados de PG e CT com densidade de 65 kg/m³ (BASSANI, 2011); CAC de 1,5 para os materiais transportados de entre CT e CV e entre CV e ER com densidade de 200 kg/m³ (BRASIL, 2008) e CAC de 1,3

para os rejeitos transportados para os AS com densidade de 230 kg/m³ (IBAM, 2009).

3.5.3 Custos de disposição final dos rejeitos

Foram identificados oito AS no Espírito Santo, sendo que cinco possuem Licença de Operação (LO), dois estão em fase de Licença de Instalação (LI) e um de Licença Prévia (LP) (IEMA, 2015). A capacidade destes AS foi considerada ilimitada para receber os rejeitos. Na Tabela 3.10 e na Tabela 3.11 são apresentados os valores contratuais para disposição de RSU em aterros sanitários no Brasil e no Espírito Santo respectivamente, tendo como base a série histórica do SNIS, sendo analisados os dados de 2009 a 2014 (BRASIL, 2016b). Na Figura 3.14 é apresentada a comparação entre estes valores.

Tabela 3.10 - Valores contratuais para disposição de RSU em aterros sanitários no Brasil

Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Máximo (R\$/t).	500,00	220,00	250,00	250,00	250,00	250,00
Mínimo (R\$/t).	2,93	1,67	3,22	5,00	5,00	5,00
Mediana (R\$/t).	55,00	59,00	57,99	62,30	65,00	76,00
Média (R\$/t).	74,14	73,89	74,61	76,64	79,72	89,58
Desvio Padrão (R\$/t).	70,62	55,62	55,89	57,54	57,84	58,31
N	283	347	342	501	625	645

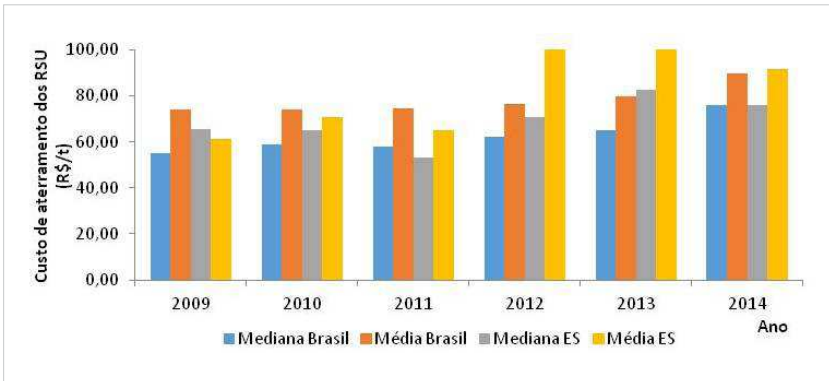
Fonte: BRASIL (2016b); Série histórica SNIS (2009 -2014).

Tabela 3.11 - Valores contratuais para disposição de RSU em aterros sanitários no Espírito Santo

Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Máximo (R\$/t).	85,00	146,19	165,00	228,00	250,00	250,00
Mínimo (R\$/t).	32,00	38,24	38,24	40,92	48,53	5,00
Mediana (R\$/t).	65,50	65,00	53,38	70,65	82,50	76,13
Média (R\$/t).	61,32	70,62	64,84	101,21	104,57	91,36
Desvio Padrão (R\$/t).	26,36	28,70	35,50	65,20	63,03	54,11
N	6	14	11	13	22	25

Fonte: BRASIL (2016b); Série histórica SNIS (2009 -2014).

Figura 3.14 - Custo de disposição dos RSU em AS no Brasil e no Espírito Santo (2009-2014)



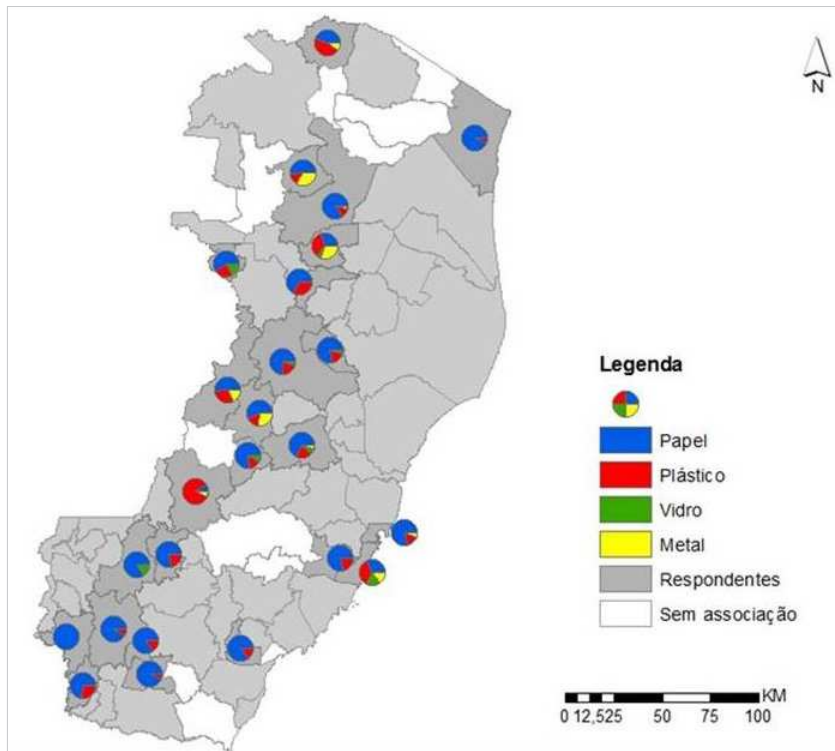
Fonte: BRASIL (2016b); Série histórica SNIS (2009 -2014).

Para este estudo foi assumido que o custo de disposição final de rejeitos é de R\$ 91,36/t, que foi o valor médio praticado pelos aterros sanitários no Espírito Santo no ano de 2014 (BRASIL, 2016b).

3.6 Receitas previstas com a comercialização de materiais

No questionário aplicado junto às OCMR do Espírito Santo verificou-se que das trinta e cinco respondentes, apenas vinte e cinco registram os dados de comercialização e quatro delas tinham registros em recibos de venda ou anotações em cadernos e informaram estes dados.

Na Figura 3.15 pode-se observar que os papéis e os plásticos são os materiais mais comercializados. Chama atenção o fato de o vidro aparecer como material comercializado em apenas 8 associações. Neste caso, as associações informaram sobre a dificuldade em comercializar o material, visto que no estado não existe empresa recicladora de vidro ou mesmo beneficiadora, o que torna inviável a comercialização para outros estados.

Figura 3.15 - Materiais comercializados pelas OCMR no Espírito Santo

Fonte: as autoras.

Na Tabela 3.12 é apresentado o percentual dos materiais submetidos à triagem pelas OCMR no Espírito Santo.

Tabela 3.12 - Distribuição em peso dos materiais submetidos à triagem pelas OCMR dos Espírito Santo

Materiais	Papel (%)	Plástico (%)	Metal (%)	Vidro (%)
Média	70,28	20,70	13,32	10,26
Desvio Padrão	18,49	10,86	11,37	5,54
N	26	25	13	8

Fonte: as autoras.

3.6.1 Papéis

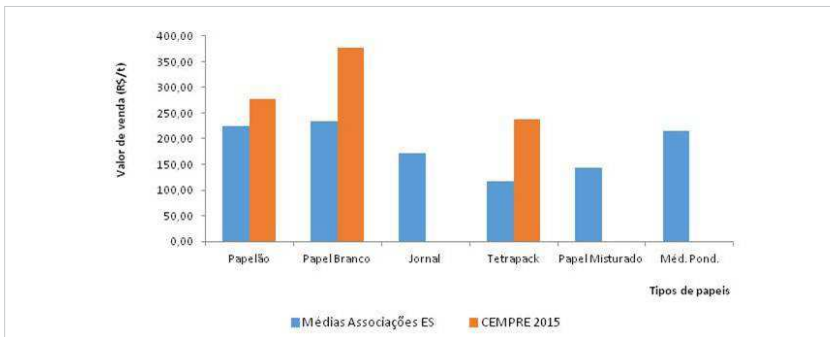
Os valores referentes à venda dos Papéis recicláveis são apresentados na Tabela 3.13 e na Figura 3.16. Os dados são comparados com os dados do CEMPRE (2015).

Tabela 3.13 - Valores médios de venda dos Papéis recicláveis no Espírito Santo (R\$/t)⁷

Tipos de Papéis	Papelão	Papel Branco	Jornal	Tetrapack	Papel Misturado	Méd. Pond.
Máximo (R\$/t)	300,00	420,00	250,00	170,00	200,00	310,17
Mínimo (R\$/t)	100,00	100,00	80,00	50,00	0,00	100,00
Mediana (R\$/t)	230,00	230,00	155,00	100,00	175,00	222,59
Média (R\$/t)	223,79	234,00	172,50	117,50	143,33	214,86
Desvio Padrão (R\$/t)	49,60	102,00	58,00	34,67	79,16	54,85
N	29	10	8	12	6	26
CEMPRE (2015) (R\$/t)	276,63	376,75	-	237,36	-	-
CEMPRE (ES) (R\$/t)	19,1 %	37,9 %	-	50,5 %	-	-

Fonte: as autoras.

Figura 3.16 - Valores médios de venda dos papéis no Espírito Santo

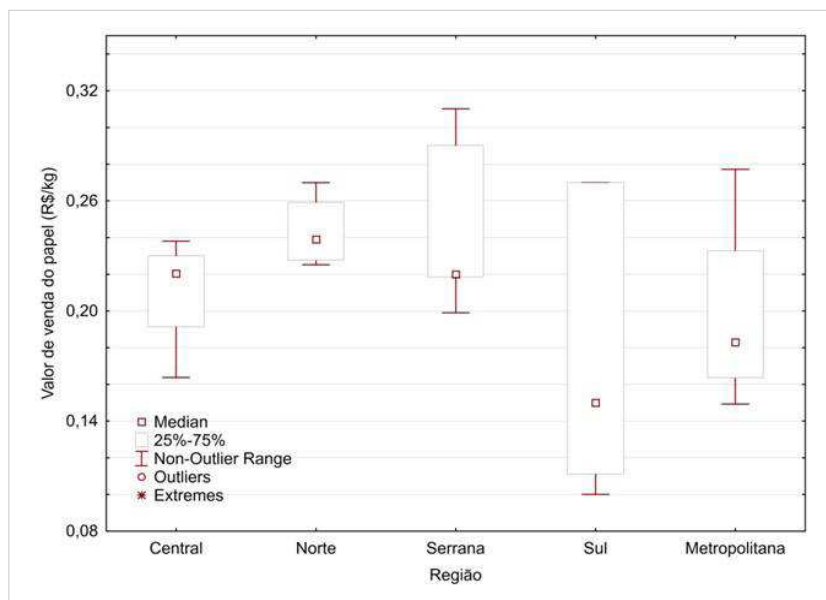


Fonte: as autoras.

7 A média ponderada foi calculada multiplicando o valor de venda de cada material pela quantidade vendida.

Na Figura 3.17 é apresentado o Gráfico BoxPlot, considerando as macrorregiões do estudo. Devido a pouca quantidade de dados, foi realizado o teste não paramétrico *Kruskal-Wallis* e como resultado obteve-se que não há evidências de diferenças significativas entre as medianas dos grupos analisados ($p = 0,4142 > 0,05$).

Figura 3.17 - Valores de venda dos papéis recicláveis por Macrorregião do Espírito Santo



Fonte: as autoras.

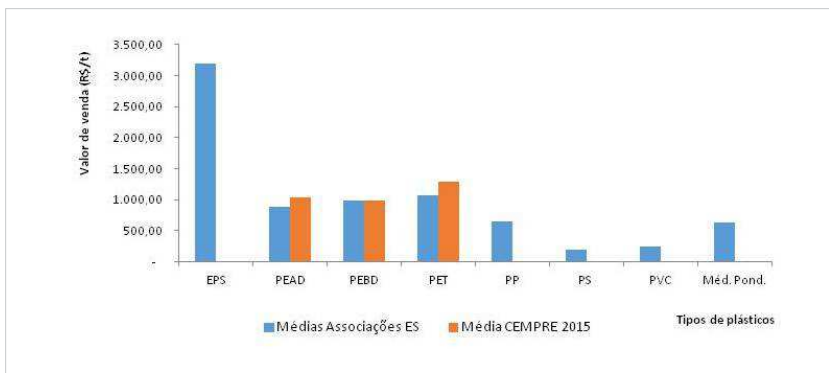
3.6.2 Plásticos

Os valores referentes à venda dos plásticos recicláveis são apresentados na Tabela 3.14 e na Figura 3.18.

Tabela 3.14 - Valores médios de venda dos plásticos recicláveis no Espírito Santo.

Tipos de Plásticos	EPS	PEAD	PEBD	PET	PP	PS	PVC	Méd. Pond.
Máximo (R\$/t)	3.200,00	776,79	821,45	1.053,53	505,43	200,00	200,00	961,68
Mínimo (R\$/t)	3.200,00	177,07	247,57	914,19	179,79	-	141,42	89,61
Mediana (R\$/t)	3.200,00	800,00	839,07	750,00	500,00	200,00	200,00	620,75
Média (R\$/t)	3.200,00	889,68	985,71	1.078,82	650,00	200,00	250,00	625,86
Desvio Padrão (R\$/t)	-	700,00	654,30	642,76	371,28	200,00	150,00	246,44
N	1	17	19	10	15	1	2	23
CEMPRE 2015 (R\$/t)	-	1041,94	982,61	1296,32	-	-	-	-
CEMPRE (ES) (R\$/t)	-	14,6 %	-0,3 %	16,8 %	-	-	-	-

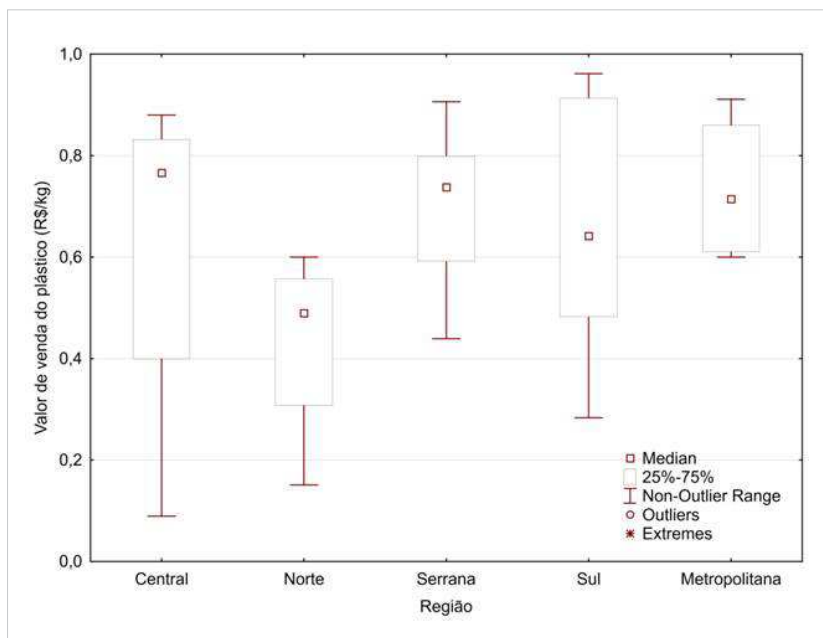
Fonte: as autoras.

Figura 3.18 - Valores médios de venda dos plásticos recicláveis no Espírito Santo

Fonte: as autoras.

Na Figura 3.19 é apresentado o Gráfico BoxPlot, considerando as macrorregiões do estudo. Devido a pouca quantidade de dados, foi realizado o teste não paramétrico *Kruskal-Wallis* e como resultado obteve-se que não há evidências de diferenças significativas entre as medianas dos grupos analisados ($p = 0,4409 > 0,05$).

Figura 3.19 - Valores de venda dos plásticos recicláveis por Macrorregião do Espírito Santo



Fonte: as autoras.

3.6.3 Metais

Os valores referentes à venda dos metais recicláveis são apresentados na Tabela 3.15 e na Figura 3.20.

Tabela 3.15 - Valores médios de venda dos metais recicláveis no Espírito Santo.

Tipos de metais	Ferro	Aço	Alumínio	Chumbo	Cobre	Estanho	Zinco	Méd. Pond.
Máximo (R\$/t)	300,00	2600,00	3900,00	8500,00	14000,00	7000,00	6000,00	4685,34
Mínimo (R\$/t)	50,00	2600,00	2000,00	8500,00	9000,00	2000,00	2900,00	120,00
Mediana (R\$/t)	170,00	2600,00	2700,00	8500,00	10000,00	4500,00	4450,00	606,29
Média (R\$/t)	165,00	2600,00	2812,63	8500,00	10577,78	4500,00	4450,00	1471,61

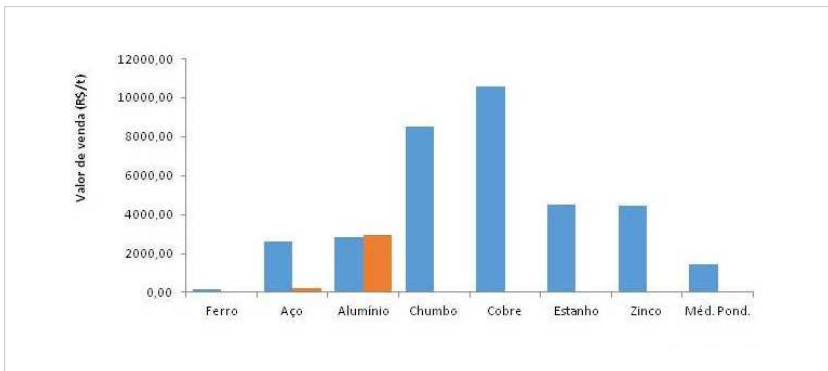
continua

continuação

Tipos de metais	Ferro	Aço	Alumínio	Chumbo	Cobre	Estanho	Zinco	Méd. Pond.
Desvio Padrão (R\$/t)	61,29	-	532,22	-	1776,08	3535,53	2192,03	1568,98
N	18	1	19	1	9	2	2	14
CEMPRE (2015) (R\$/t)	-	228,94	2953,19	-	-	-	-	-
CEMPRE (ES) (R\$/t)	-	-035,7 %	4,8 %	-	-	-	-	-

Fonte: as autoras.

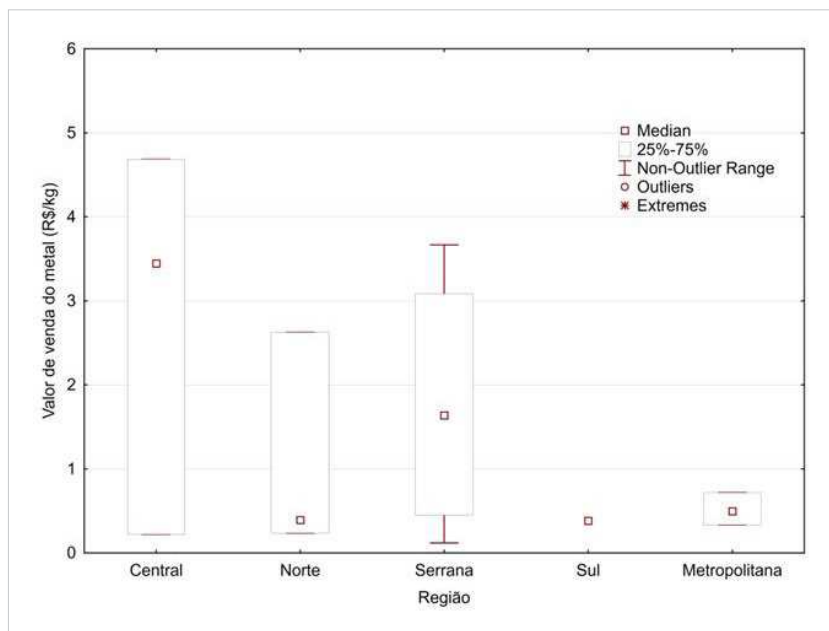
Figura 3.20 - Valores médios de venda dos metais recicláveis no Espírito Santo



Fonte: as autoras.

Na Figura 3.21 é apresentado o Gráfico BoxPlot, considerando as macrorregiões do estudo. Devido a pouca quantidade de dados, foi realizado o teste não paramétrico *Kruskal-Wallis* e como resultado obteve-se que não há evidências de diferenças significativas entre as medianas dos grupos analisados ($p = 0,8417 > 0,05$).

Figura 3.21 - Valores de venda dos metais recicláveis por Macrorregião do Espírito Santo



Fonte: as autoras.

3.6.4 Vidros

Os valores referentes à venda dos vidros recicláveis são apresentados na Tabela 3.16 e na Figura 3.22. A média ponderada foi calculada multiplicando os valores de venda de cada material pela quantidade vendida.

Tabela 3.16 - Valores médios de venda dos vidros recicláveis no Espírito Santo

Tipos de vidros	Longneck	Caco	Embalagens inteiras	Méd. Pond.
Máximo (R\$/t)	100,00	50,00	300,00	150,00
Mínimo (R\$/t)	30,00	20,00	50,00	20,00
Mediana (R\$/t)	50,00	50,00	75,00	50,00
Média (R\$/t)	57,50	40,00	112,50	61,67
Desvio Padrão (R\$/t)	29,86	17,32	87,63	44,91

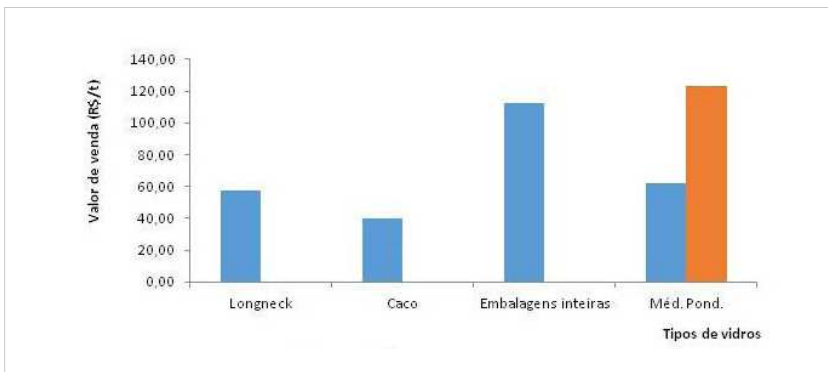
continua →

continuação

Tipos de vidros	Longneck	Caco	Embalagens inteiras	Méd. Pond.
N	4	3	8	6
CEMPRE (2015) (R\$/t)	-	-	-	123,17
CEMPRE (ES) (R\$/t)	-	-	-	49,9 %

Fonte: as autoras.

Figura 3.22 - Valores médios de venda dos vidros recicláveis no Espírito Santo



Fonte: as autoras.

Devido ao número pequeno de organizações associativas de catadores que comercializavam vidros em 2015, não foi possível realizar o teste estatístico para verificar se havia evidências significativas de diferença de preços entre as regiões.

Portanto, quanto aos valores de venda, observa-se que há uma diferença entre os valores médios praticados pelas associações do estado e valores médios nacionais (CEMPRE, 2015). Para este estudo são considerados como valor de comercialização, os valores médios de venda praticados pelas OCMR do Espírito Santo, a saber, Papel: R\$ 214,9/t; Plástico: R\$ 625,9/t; Metal: R\$ 1471,6/t; e Vidro: R\$ 61,7/t.

Nos Estados-Membros da União Europeia os valores de comercialização dos materiais recicláveis são em média 64 % maiores que os preços praticados no Brasil. Em média o valor de comercialização foi de US\$ 385,83/t para o plástico, US\$ 150,09/t para o papel e US\$ 59,53/t para o vidro e a sucata de alumínio pode valer US\$ 1.491/t (EUROPEAN COMMISSION, 2016).

Conclusões

O estado do Espírito Santo situa-se na Região Sudeste do país e constitui-se no menor e menos populoso estado da região. A participação da população do Espírito Santo tem ficado em torno de 1,81 % da população brasileira desde o censo de 1990 (BRASIL *et al.*, 2013) que se distribui territorialmente de forma desuniforme em setenta e oito municípios, agrupados em dez microrregiões de planejamento, e em quatro macrorregiões.

No Espírito Santo a situação do gerenciamento de resíduos sólidos não destoa da realidade brasileira havendo grande presença de lixões e coleta seletiva incipiente apenas em algumas localidades dos centros urbanos.

Em 2015 foram identificadas cinquenta e quatro OCMR, as quais foram objeto de pesquisa para levantamento de dados sobre aspectos produtivos. Do questionário aplicado, obtiveram-se respostas de trinta e cinco organizações, com um percentual 67,3 % respondentes. Quanto à origem, os materiais submetidos à triagem pelas associações de catadores são originários de empresas, prefeitura, catção na rua e doações de moradores e existem OCMR que recebem materiais recicláveis de outros municípios diferentes de onde estão instalados. Isso indica que, o que está sendo proposto no modelo já ocorre na prática.

A produtividade das OCMR aponta para um valor médio de 85,2 kg/catador/dia ou 1.745,23 kg/catador/mês. Este valor difere do valor de 200 kg/dia, apresentado por BRASILA (2008), utilizado também por IBAM (2012). Quanto à renda, a pesquisa aponta para um valor médio mensal de R\$ 767,30/catador/mês, com valores máximos e mínimo de R\$ 1.625,00 e R\$ 80,00, respectivamente. Quando comparado estatisticamente, não houve diferença significativa entre os valores de produtividade e renda entre as OCMR localizadas em regiões administrativas dos Espírito Santo. Portanto, as OCMR mais próximas às indústrias do estado não são favorecidas pela proximidade, fato que chamou atenção e não era esperado.

Para a definição de áreas candidatas a CV foram analisadas ao todo 24 áreas sendo 19 áreas do projeto do Governo do Estado “Espírito Santo sem Lixão” e 5 áreas onde estão localizadas Centrais de tratamento de resíduos licenciados no Espírito Santo. Estes locais são áreas que foram ambientalmente analisadas e estão instaladas

próximas ao centro de massa de geração de resíduos, com finalidade de otimizar os custos da transferência e tratamento de resíduos coletados nas cidades. Portanto, áreas com potencial de serem exploradas como CV na prática.

Para o mapeamento das empresas recicladoras de embalagens foi realizado um levantamento de dados secundários de cinco bases de dados sobre empresas recicladoras existentes no Espírito Santo chegando-se a um quantitativo de oitenta e nove empresas. Junto a estas empresas buscou-se realizar um levantamento de dado por meio de aplicação de questionário. No entanto, a qualidade dos dados não foi satisfatória, devido à baixa adesão das empresas em responder ao questionário e também porque ficou evidente durante a coleta de dados que, das empresas que participaram da pesquisa poucas eram as que tinham como atividade real a reciclagem, mesmo estando cadastradas como recicladora, inclusive no órgão ambiental. Constatou-se que algumas empresas são ferros velhos, aparistas ou realizam apenas, transporte, triagem e/ou beneficiamento primário, mas se declaram recicladoras. Esta constatação mostra a fragilidade dos bancos de dados existente sobre a reciclagem e a necessidade de normas com definição e conceitos sobre as diferentes atividades da cadeia de valor da reciclagem.

Desta forma, optou-se em utilizar como nó da rede, não apenas as empresas recicladoras existentes, mas também os polos industriais existentes no Espírito Santo. Como o SLR ainda não existe no estado, esta mudança favorece o modelo, pois foi possível avaliar quais os polos industriais existentes são mais atrativos para a instalação de empresas recicladoras e o quantitativo de material esperado para cada polo.

Para o cálculo dos custos de instalação e de operação dos CT e CV foram elaboradas planilhas de composição de custo para as quatro faixas de capacidade propostas. Para a composição dos custos de instalação e operação de CT e CV foram considerados os custos fixos e custos variáveis. Os custos fixos representam os gastos com licenciamento ambiental, compra de maquinário e equipamentos, construção do prédio administrativo e galpão, material de limpeza, salários, depreciação, entre outros. Os custos variáveis se referem ao gasto com insumos utilizados para o beneficiamento dos materiais como, água, energia, telefone, combustível, equipamentos de proteção individual, dentre outros.

No cálculo de distâncias e os custos de transporte entre os nós da rede, foram mapeados a localização de todos os nós da rede em coordenadas UTM e calculada a distância entre as coordenadas, acrescido de 10 %. Para o cálculo do custo foram considerados os custos de transporte obtidos conforme INCT-L de dezembro de 2015 (NTC, 2015). As densidades consideradas para os materiais transportados de PG e CT é de 65kg/m^3 (BASSANI, 2011) entre CT e CV e entre CV e ER é de 200kg/m^3 (BRASIL, 2008) e o rejeito é de 230kg/m^3 (IBAM, 2009). Dessa forma, os CAC adotados foram 4,61, 1,5 e 1,3 respectivamente.

Para calcular as estimativas das receitas auferidas com a venda dos materiais recicláveis, foram considerados os valores médios obtidos nas pesquisas com as OCMR. Os dados foram agrupados por macrorregião administrativa e para os valores de venda do papel e papelão foi realizado o teste não paramétrico *Kruskal-Wallis* e como resultado obteve-se que não há evidências de diferenças significativas entre as medianas dos grupos. Para vidro e metal não foi possível realizar os testes devido a pouca quantidade de dados.

Portanto, quanto aos valores de venda, observa-se que há uma diferença entre os valores médios praticados pelas associações do estado e valores médios nacionais (CEMPRE, 2015). Chegando a uma diferença de 50,5 % para a embalagem do tipo “tetrapack”, 16,8 % para o plástico tipo PET e 49,9 % para o vidro. Para este estudo são considerados como valor de comercialização, os valores médios de venda praticados pelas OCMR do Espírito Santo, a saber, papel: R\$ 214,9/t; plástico: R\$ 625,9/t; metal: R\$ 1471,6/t; e vidro: R\$ 61,7/t.

Referências

AQUINO, I. F.; CASTILHO JUNIOR, A. B.; PIRES, T. S. L. A organização em rede dos catadores de materiais recicláveis na cadeia produtiva reversa de pós-consumo da região da grande Florianópolis: uma alternativa de agregação de valor. **Revista Gestão & Produção**, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 15-24, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil** - 2014. São Paulo: ABRELPE, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (ABIPLAST). **Empresas Associadas** - 2015. Disponível em: <http://abiplast.org.br/associadas>. Acesso em: 15 jun. 2015.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE DE CARGAS E LOGÍSTICA (NTC). Departamento de Custos Operacionais e Pesquisas Técnicas e Econômicas (DECOPE). **Relatório mensal do INCTF e o INCTL: dezembro**. 2015. Disponível em: http://www.setcarfs.com.br/inct/inct_dezembro2015.pdf. Acesso em: 20 jun. 2016.

BARBOSA, R. F; BRAGATO, L. C, V.; PIMASSONI, L. H. S. Quantificação do grau de conscientização Ambiental e do consumo ecológico em dois bairros de classes sociais distintas no Município de São Gabriel da Palha (ES). **Revista Científica Faesa**, Vitória, v. 8, n. 1, p. 27-40, 2012.

BASSANI, P. D. **Caracterização de resíduos sólidos de coleta seletiva em condomínios residenciais: estudo de caso em Vitória (ES)**. 2011, 187 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2011.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO (BNDES). FUNDAÇÃO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (FADE). **Produto 10: relatório final de avaliação técnica, econômica e ambiental das técnicas de tratamento e destinação final dos resíduos**. [S.l.: s.n.], 2013. Pesquisa Científica BNDES FEP n. 02/2010. Contrato n. 11.2.0519.1.

BRAGA, F. S.; NÓBREGA, C. C.; HENRIQUES, V. M. Estudos da composição gravimétrica dos resíduos domiciliares em Vitória (ES). **Revista Limpeza Pública**, São Paulo, n. 55, p. 11-18, 2000.

BRASIL, G. H.; CASTIGLIONI, A. H.; FELIPE, C. U.; GRILLO, F. S.; SALLES, D. **Projeções populacionais para o Espírito Santo: 2015-2030**. Nota Técnica (ES) 2030. 2013. 166 p. Disponível em: www.es2030.com.br. Acesso em: 22 nov. 2014.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília – DF, n. 147, p. 3, 03 ago. 2010a.

BRASIL. Decreto n. 7.404/2010. Regulamenta a Lei n. n. 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 2010, n. 245-A, p.1 , 23 dez. 2010b.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Elementos para a organização da coleta seletiva e projeto de galpões de triagem**. Brasília, 2008. 53 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). **Diagnóstico do Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos – 2014**. Brasília, 2016a.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). **Série Histórica - 2014**. 2016b. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 15 jun. 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Melhoria da Gestão Ambiental Urbana no Brasil – BRA/OEA/08/001. **Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios Públicos**. Brasília, 2011. 75 p.

BRINGHENTI, J. R. **Programas de Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Urbanos**: aspectos operacionais e da participação da população. 2004. 316 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública. USP. São Paulo, 2004.

BRINGHENTI, J. R.; LAIGNIER, I. T. R.; LOUZADA, J. P.; BRUNETTI, O. B.; ROMANO, E. B. Gerenciamento de programas de coleta seletiva de lixo em condomínios residenciais: um estudo de caso. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE AIDIS, 2009, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires: AIDIS, 2009.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Base de dados das empresas cadastradas como recicladoras**. 2015 Disponível em: <http://cempre.org.br/servico/mercado2015>. Acesso em: 15 dez. 2015.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Base de dados dos preços dos materiais recicláveis de 2009 a 2015**. 2016. Disponível em: <http://cempre.org.br/servico/mercado2015>. Acesso em: 20 jan. 2016.

CERQUEIRA, C. L.; SPECK, H. G.; MURATA, A. T. A Estratégia da Integração Vertical: estudo de caso da cooperativa de valorização de materiais recicláveis do Paraná. *In: ENCONTRO DE ESTUDOS SOBRE EMPREENDEDORISMO E GESTÃO DE PEQUENAS EMPRESAS (EGEPE)*, 8., 2014, Goiânia. **Anais...**, 2014.

COLTRO, L.; GASPARINO, B. F.; QUEIROZ, G. de C. Reciclagem de materiais plásticos: a importância da identificação correta. **Polímeros**, São Carlos, v. 18, n. 2, p. 119-125, 2008

DAMÁSIO, J (Coord.). **Cadeia produtiva da reciclagem e organização de redes de cooperativas de catadores: oportunidades e elementos críticos para a construção de tecnologia social de combate à pobreza e inclusão social no estado da Bahia**. Relatório Final de Pesquisa. Bahia: FAPESB, 2008.

DAMÁSIO, J (Coord.). **Impactos socioeconômicos e ambientais do trabalho dos catadores na cadeia da reciclagem**. Relatório Final. Brasília: MDS/Pangea, 2010.

ESPÍRITO SANTO. Lei Ordinária n. 9.768 de 28/12/2011. Dispõe sobre a definição das Microrregiões e Macrorregiões de Planejamento no estado do Espírito Santo. [S.l: s.n.]: 2011. **Diário Oficial do Espírito Santo**: seção ,Vitória, 2011, n.0 , p.9, 28 dez. 2011.

ESPÍRITO SANTO. Lei n. Ordinária n. 9.264 de 15 jun. 2009. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências. 2009a. **Diário Oficial do Espírito Santo**: seção 1, 2009 , p.9, 16 jun. 2009.

ESPÍRITO SANTO. Decreto n. 2363-R de 24/09/2009. Dispõe sobre a criação do Programa Capixaba de Materiais Reaproveitáveis 2009b. **Diário Oficial do Espírito Santo**: seção 1, 2009, p. 7, 25 set. 2009.

ESPÍRITO SANTO. Secretaria de Desenvolvimento. Banco de Polos e Áreas Empresariais. 2016. Disponível em: <http://www.invistanoes.es.gov.br/2016-08-30-20-23-23/banco-de-polos-e-areas-empresariais>. . Acesso em: 13 de jun. 2016.

ESPÍRITO SANTO. Secretaria de Estado de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano (SEDURB). **Espírito Santo sem Lixão**. 2014.

Disponível em: <http://www.sedurb.es.gov.br/default.asp>. Acesso em: 13 de ago. 2015.

EUROPEAN COMMISSION. **Material prices for recyclates**. 2016. Disponível em: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/waste-related-topics/prices-for-recyclates>. Acesso em: 20 jun. 2016.

FERRI, G. L.; CHAVES, G. DE L. D.; RIBEIRO, G. M. Reverse logistic network for municipal solid waste management: the inclusion of waste pickers as a Brazilian legal requirement. **Waste Management**, [S.l.], v. 40, p. 173-191, 2015.

FORLIN, F. J.; FARIA, J. de A. F. Considerações Sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas. **Polímeros**, São Carlos v. 12, n. 1, p. 1-10, 2002. Disponível em <https://www.scielo.br/j/po/a/YNNvN9nLDV8rS5ffjp9rF4Q/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 20 abr. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação da logística reversa por cadeia produtiva - Componente: produtos e embalagens pós-consumo**. 2012. Disponível em: http://www.sinir.gov.br/documents/10180/13560/EVTE_PRODUTOS_EMBALAGENS_POS_CONSUMO/. Acesso em: 13 set. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – 2008**. [S.l.]: IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. 2012. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>. Acesso em: 20 jun. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema Nacional de Índices de Preços ao Consumidor**. Rio de Janeiro, s.d. Séries Históricas: Brasil, 2015. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/inpc_ipca/defaultseriesHist.shtm. Acesso em: 13 set. 2014.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (IEMA). Consulta de licenças. 2015. Disponível em <http://http://www.meioambiente.es.gov.br/>.. Acesso em: 20 dez. 2015.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012a.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Diagnóstico sobre catadores de Resíduos Sólidos. Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012b.

LAIGNIER, I. T. R. **Caracterização gravimétrica e comercial dos resíduos sólidos urbanos recolhidos em Postos de Entrega Voluntária do Sistema de Coleta Seletiva da Prefeitura Municipal de Vitória (ES)**. 2001, 206 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.

LAJOLO, Roberto Domenico (Coord). **Cooperativa de catadores de materiais recicláveis: guia de implantação** (SEBRAE). São Paulo: IPT, 2003.

MARTINS, N. M.; CRUZ, C. S.; COUTO, M. C. L. Composição de custos de implantação e operação de centrais de valorização de resíduos sólidos urbanos secos. **Revista Faesa**, Vitória, v.12, n. 1, p. 23-30, 2016.

MONTEIRO, José Henrique Penido (Coord.). **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2009.

MORIGAKI, M. M. **Indicadores de recuperação de material reciclável da Unidade de Triagem de Vitória (ES)**. 2003, 171 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2003.

PEPINELLI, R. F. G. **Empreendimentos econômicos solidários de catadores: cadeias produtivas de resíduos, processos tecnológicos e parcerias**. 2011. 183 p. Dissertação (Mestrado em Ciências, em tecnologias e sociedades). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2011.

PLASTIVIDA - Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos. **Monitoramento dos Índices de Reciclagem Mecânica de Plástico no Brasil (IRMP) 2011**. 2012. Disponível em: http://www.plastivida.org.br/images/temas/Apresentacao_IRMP2011.pdf. Acesso em: 12 jun. 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VENDA NOVA DO IMIGRANTE. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Venda Nova do Imigrante (ES)**. 2014. Disponível em: <http://c2sisweb.tecnologia.ws/SisWeb/Repositorio/Arquivos/0/63215d23-b.pdf>. Acesso em: 20 set. 2015.

ROTA DA RECICLAGEM. **Busca de entidades**. 2015. Disponível em: <http://www.rotadareciclagem.com.br/index.html?method=buscaEntidades>. Acesso em: 15 dez. 2015.

SOTO, M. M. T. **Análise e formação de redes de cooperativas de catadores de materiais recicláveis no âmbito da economia solidária.** 2011. 214 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

VIDAL, A. C.; HORA, A. B. **A indústria de papel e celulose.** 2011. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro60anos_perspectivas_setoriais/Setorial60anos_VOL1PapelECelulose.pdf. Acesso: 18 nov. 2014.

VILHENA, André (Coord.). **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado.** 3. ed. São Paulo: CEMPRE, 2010.

VILHENA, A. **Guia da Coleta Seletiva de Lixo.** São Paulo: CEMPRE, 1999.

Capítulo 4

Aplicação dos modelos matemáticos

Introdução

Neste capítulo é apresentada uma aplicação do modelo matemático descrito no Capítulo 2, utilizando os parâmetros de entrada obtidos a partir de documentos e do estudo de campo, apresentados no Capítulo 3. As premissas do modelo baseiam-se na minimização dos custos de implantação e operação do Sistema de Logística Reversa (SLR) de embalagens pós-consumo, bem como a maximização das receitas obtidas com a comercialização dos materiais recicláveis. O objetivo é alocar Centros de Triagem (CT) e Centrais de Valorização (CV) em locais estratégicos e definir os melhores fluxos entre os nós da rede logística desenvolvida no Capítulo 2. Este modelo foi tratado como Modelo Otimizado.

Neste sentido, buscou-se analisar os resultados do modelo logístico otimizado em relação aos resultados da função objetivo e a organização de Arranjos Territoriais Ótimos (ATOS); ajustando o modelo logístico otimizado e das duas situações distintas que representam alternativas operacionais para os SLR de embalagens pós-consumo. Também foi realizada uma análise de sensibilidade do modelo logístico por meio de construção de cenários.

A fim de discutir outras possibilidades de alocações dos CT e das CV, o Modelo Otimizado foi modificado considerando outras duas situações distintas. A primeira situação é tratada como Modelo Alternativo, em que todos os CT candidatos são obrigatoriamente alocados e as CV alocadas são definidas pela modelagem. Desta forma todas as Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis (OCMR) candidatas são alocadas no sistema. Na segunda situação,

o modelo matemático é ajustado para que os materiais recicláveis sejam encaminhados diretamente dos CT para as Empresas Recicla-doras (ER), e nenhuma CV é alocada. Esta situação é tratada como Modelo Atual, pois até a data da realização da pesquisa não existiam CV no Espírito Santo .

Apesar de os modelos desenvolvidos serem determinísticos, verificou-se na etapa de levantamento de campo que alguns dados podem sofrer variações e estas podem impactar no resultado do problema de otimização considerado e, conseqüentemente, na configuração da rede logística. Desta forma, para analisar a sensibilidade do modelo às variações que podem ocorrer em função dos parâmetros foram construídos cenários.

Os cenários baseiam-se em condicionantes e em hipóteses em relação à taxa de retorno das embalagens por parte da população, à produtividade das OCMR, aos custos de transporte e aos preços de venda dos materiais para indústrias recicladoras. Portanto, os cenários construídos nortearão como alterações sofridas por estes dados e que podem trazer alterações nos resultados do modelo logístico.

1 Metodologia

Neste Capítulo é apresentada os a aplicação do modelo matemático desenvolvido no Capítulo 2, utilizando os dados de campo apresentados no Capítulo 3:

1.1 Implementação dos modelos matemáticos em “solver”

Na Fase 1 os modelos descritos no Capítulo 2, foram implementado no *solver* IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio* (IBM, 2015).

1.2 Desenvolvimento do modelo otimizado, alternativo e atual

Na Fase 2 foram desenvolvidos os Modelo Otimizado descritos no Capítulo 2, Seção 5.2. Para possibilitar as análises de outras duas situações, que também podem ocorrer na prática, foram analisados o Modelo Atual e Modelo Alternativo que e também foram descritos no Capítulo 2, nas Seções 5.3 e 5.4, respectivamente.

No Modelo Atual não existem CV e ele representa a situação atual, onde as OCMR realizam a triagem e prensagem dos materiais recicláveis e comercializam diretamente com as ER.

No Modelo Alternativo foi considerado que todos os CT candidatas são obrigatoriamente alocadas. Nesta situação, todas as cinquenta e quatro OCMR identificadas deverão fazer parte do SLR, permitindo que haja uma inter-relação entre o SLR de embalagens e os Sistemas Municipais de Coleta Seletiva (SMCS), tendo as OCMR como elo.

1.3 Construção de cenários e análise de sensibilidade

Na Fase 3 foi realizada uma análise de sensibilidade do modelo por meio da construção de cenários. Estes foram construídos para o Modelo Otimizado, o Modelo Alternativo, e o Modelo Atual.

Com a construção dos cenários foi possível avaliar como as alterações sofridas por alguns dados podem provocar alterações no resultado da Função Objetivo. Os cenários foram construídos com base na variação da taxa de retorno das embalagens por parte da população, em aspectos operacionais do sistema como a produtividade da associação de catadores, os custos de transporte e o preço de venda dos materiais para indústrias recicladoras.

Desta forma, os cenários foram denominados de Cenário Conservador, Cenário Pessimista e Cenário Otimista. Para a taxa de retorno foi considerado:

- Cenário Pessimista: taxa de retorno de 5 % do potencial de embalagens geradas pela população urbana do município.
- Cenário Conservador: taxa de retorno de 20 % do potencial de embalagens geradas pela população urbana do município.
- Cenário Otimista: taxa de retorno de 40 % e 60 % do potencial de embalagens geradas pela população urbana do município.

Para avaliação do modelo matemático quanto aos aspectos operacionais, foram testados seis cenários. O Cenário 1 é considerado Pessimista, os cenários 2 e 3 são Conservadores e os Cenários 4, 5 e 6 são Otimistas. O Quadro 4.1 apresenta as condicionantes e as hipóteses adotadas para a construção dos mesmos.

Quadro 4.1 - Condições operacionais considerados para a construção de Cenários¹

CENÁRIO	CONDICIONANTES			
	Transporte PG-CT	Transporte CT - VC e CV -ER	Produtividade CT e CV	Preço de Venda
1	Sem Compactação (Densidade do material de 65 kg/m ³ — CAC = 4,61)	Material prensado com densidade de 200 kg/m ³ - CAC = 1,5)	200 kg/catador/dia (CT) 2000 kg/catador/dia (CV)	Sem agregação de Valor, valor de venda igual valor atual.
2	Sem Compactação (Densidade do material de 65 kg/m ³ — CAC = 4,61)	Material prensado com densidade de 200 kg/m ³ - CAC = 1,5)	300 kg/catador/dia (CT) 3000 kg/catador/dia (CV)	Aumento de 40 % do valor atual devido à oportunidade de venda
3	Sem Compactação (Densidade do material de 65 kg/m ³ — CAC = 4,61)	Material prensado com aumento densidade de 300kg/m ³ — CAC = 1)	300 kg/catador/dia (CT) 3000 kg/catador/dia (CV)	Aumento de 40 % do valor atual devido à oportunidade de venda
4	Leve compactação (Densidade do material de 120 kg/m ³ — CAC = 2,5)	Material prensado com aumento densidade de 300 kg/m ³ — CAC = 1)	300 kg/catador/dia (CT) 3000 kg/catador/dia (CV)	Aumento de 40 % do valor atual devido à oportunidade de venda
5	Leve compactação (Densidade do material de 120 kg/m ³ — CAC = 2,5)	Material prensado com aumento densidade de 300 kg/m ³ — CAC = 1)	300 kg/catador/dia (CT) 3000 kg/catador/dia (CV)	Beneficiamento de papel e plástico na CV com preço de venda 3 x do valor atual
6	Leve compactação (Densidade do material de 120 kg/m ³ — CAC = 2,5)	Material prensado com aumento densidade de 300 kg/m ³ — CAC = 1)	300 kg/catador/dia (CT) 3000 kg/catador/dia (CV)	Beneficiamento de papel e plástico na CV com preço de venda 5 x do valor atual

Fonte: as autoras.

1 Coeficiente de Acréscimo de Cubagem (CAC).

O Cenário 1 (C1) é um cenário pessimista, pois são mantidos os custos atuais do sistema de coleta seletiva e os preços atuais de comercialização dos materiais recicláveis, obtidos no Capítulo 3. As CV são utilizadas apenas como pontos de transbordos, sem agregação de valor à carga. Este cenário é semelhante às premissas adotada no EVTE para embalagens pós-consumo (IBAM, 2012).

O Cenário 2 (C2) é um cenário conservador, pois são mantidos os custos atuais do sistema de coleta seletiva obtidos no Capítulo 3, e não são previstas melhorias em relação à produtividade dos CT e CV, bem como das condições de transporte. No entanto, é admitido que as CV servem como ponto de concentração de carga, e o valor de comercialização sofre um acréscimo de 40%, devido à possibilidade de melhores oportunidades de venda.

O Cenário 3 (C3) também é um cenário conservador, mas diferencia-se do C2 em relação às melhorias operacionais nos CT e nas CV, com um aumento na capacidade dos CT e CV, propiciando aumento no peso específico dos materiais prensados e conseqüente redução dos custos de transporte do CT para a CV e das CV para as ER.

O Cenário 4 (C4) é considerado Otimista, pois além das melhorias operacionais ocorridas a partir dos CT, estabelecidas no Cenário 3, também são acrescentadas melhorias no processo de transporte do PG até os CT, com leve compactação dos materiais, e conseqüente redução dos custos de transporte.

Os Cenários 5 e 6 (C5 e C6) também são cenários otimistas e diferem do Cenário 4, pois neste cenário as CV passam a realizar processos de beneficiamento primário com papel e plástico, elevando o valor médio de comercialização destes materiais de três e de cinco vezes em relação aos preços praticados na situação atual, respectivamente. Para tanto, é previsto um aumento nos custos de implantação e operação das CV da ordem de 50%. Para esta situação é considerado que 20% do papel e do plástico beneficiado tornam-se rejeito e, portanto, necessitam ser transportados e destinados para aterros sanitários.

Estas alterações exigem uma modificação na função objetivo, com o acréscimo de mais duas parcelas, além de novas restrições que modelem esta situação. O Modelo para C5 e C6 foi apresentado no Capítulo 2, Seção 5.2.8.

Na Quadro 4.2 são apresentadas as capacidades operacionais dos cenários, os respectivos Coeficientes de Acréscimo de Cubagem

(CAC) considerados nos cálculos dos custos de transporte, os custos de disposição dos rejeitos e os valores de comercialização dos materiais recicláveis.

Quadro 4.2 - Capacidades das instalações e CAC para os cenários analisados²

Cenários	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Capacidade das instalações (t/mês)						
CT - Faixa 1	50,5	50,5	75,8	75,8	75,8	75,8
CT - Faixa 2	168,4	168,4	252,6	252,6	252,6	252,6
CT - Faixa 3	421,1	421,1	631,6	631,6	631,6	631,6
CT - Faixa 4	842,2	842,2	1263,2	1263,2	1263,2	1263,2
CV - Faixa 1	260,0	260,0	390	390	390	390
CV - Faixa 2	520,0	520,0	780	780	780	780
CV - Faixa 3	1300,0	1300,0	1950	1950	1950	1950
CV - Faixa 4	2600,0	2600,0	3900	3900	3900	3900
CAC em função da densidade						
PG - CT	4,61	4,61	4,61	2,5	2,5	2,5
CT - CV	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0
CV - ER	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0
CT - AS	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Valor de venda (R\$/t)						
Papel	214,86	300,804	300,804	300,804	644,58	1074,3
Plástico	625,86	876,204	876,204	876,204	1877,58	3129,3
Metal	1471,61	2060,254	2060,254	2060,254	2060,3	2060,3
Vidro	61,67	86,338	86,338	86,338	86,3	86,3
Disposição de rejeito	91,36	91,36	91,36	91,36	91,36	91,36

Fonte: as autoras.

2 Coeficiente de Acréscimo de Cubagem (CAC). O CAC é calculado dividindo-se por 300 kg/m³, que é considerada uma densidade ideal de transporte, pela densidade do material transportado.

2 Modelo Otimizado

No Modelo Otimizado foram analisados seis cenários relaciona- dos às condições operacionais, sendo que para cada cenário foram analisadas as quatro taxas de retorno, totalizando 24 cenários para o Modelo Otimizado.

Com os resultados do modelo e a informação sobre quais CT e CV foram alocados e quais fluxos foram estabelecidos entre os nós da rede, foi possível avaliar o comportamento do modelo em função dos cenários propostos. A Tabela 4.1 apresenta os resultados obtidos para o Modelo Otimizado no que se refere aos custos do sistema, às receitas obtidas com a comercialização dos materiais recicláveis, ao lucro bruto do sistema e a taxa receita/custo.

Tabela 4.1 - Resultados dos cenários analisados — Modelo Otimizado³

Cenário	Taxa de retorno (%)	Total de embalagens (t/mês)	Custo unitário		Custo total	Receita total	Lucro total	R/C (%)
			(R\$/hab.)	(R\$/mês)				
C1	5	1320,53	0,08	557,39	736,05	508,85	-227,20	69
	20	5282,13	0,28	499,37	2.637,72	2.035,38	-602,34	77
	40	10564,26	0,53	469,42	4.959,06	4.070,77	-888,29	82
	60	15846,39	0,80	480,94	7.621,24	6.106,15	-1.515,09	80
C2	5	1320,53	0,08	557,47	736,16	712,38	-23,78	97
	20	5282,13	0,28	499,39	2.637,85	2.849,54	211,68	108
	40	10564,26	0,53	469,46	4.959,52	5.699,07	739,55	115
	60	15846,39	0,80	480,65	7.616,61	8.548,61	932,00	112
C3	5	1320,53	0,06	424,84	561,02	712,38	151,37	127
	20	5282,13	0,20	362,70	1.915,82	2.849,54	933,72	149
	40	10564,26	0,40	346,06	3.655,90	5.699,07	2.043,17	156
	60	15846,39	0,57	336,57	5.333,35	8.548,61	3.215,26	160
C4	5	1320,53	0,05	384,60	507,87	712,38	204,51	140
	20	5282,13	0,19	335,99	1.774,76	2.849,54	1.074,78	161
	40	10564,26	0,36	319,20	3.372,06	5.699,07	2.327,01	169
	60	15846,39	0,52	312,79	4.956,62	8.548,61	3.591,98	172

continua →

3 R/C – Receita Total/Custo total.

continuação

Cenário	Taxa de retorno (%)	Total de embalagens (t/mês)	Custo unitário		Custo total	Receita total	Lucro total	R/C (%)
			(R\$/hab.)	(R\$/mês)				
C5	5	1320,53	0,06	600,45	792,91	1.329,56	536,64	168
	20	5282,13	0,20	548,54	2.897,47	5.318,22	2.420,75	184
	40	10564,26	0,38	528,09	5.578,83	10.636,44	5.057,61	191
	60	15846,39	0,55	519,23	8.227,99	15.954,66	7.726,67	194
C6	5	1320,53	0,06	717,44	947,41	2.101,02	1.153,61	222
	20	5282,13	0,20	665,36	3.514,52	8.404,08	4.889,56	239
	40	10564,26	0,38	644,96	6.813,53	16.808,16	9.994,63	247
	60	15846,39	0,55	636,08	10.079,55	25.212,24	15.132,69	250

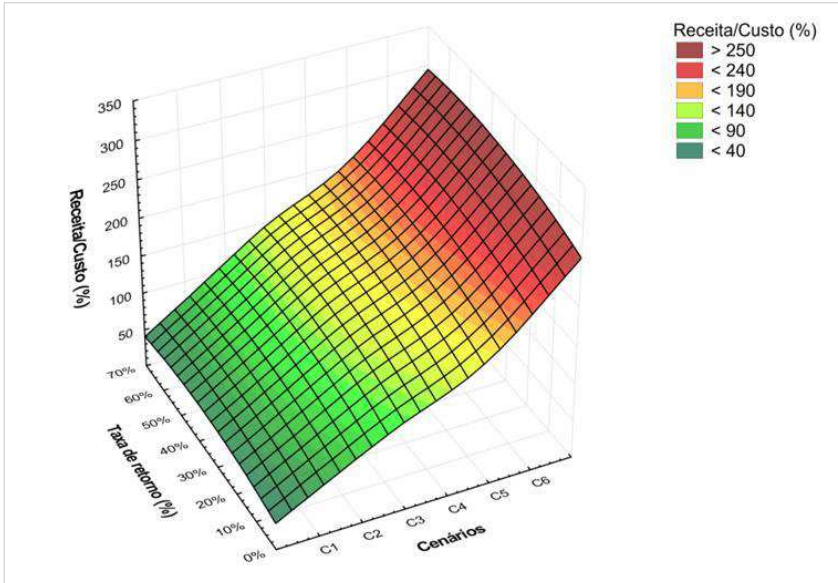
Fonte: as autoras.

A partir dos resultados, verifica-se que a taxa do total de receitas em relação ao total de custos (R/C) torna-se superior a 100 % com as melhorias propostas a partir de C2. Ou seja, com a implantação de um SLR em que as CV tenham apenas a função de transbordo, sem agregação de valor aos materiais, a receita não cobre os custos.

O C1 com taxa de retorno de 20 % (C1-20 %) apresenta hipótese semelhante ao Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE) para embalagens (IBAM, 2012). Neste cenário, apesar dos resultados ainda mostrarem uma taxa de Receita/Custo (R/C) de 77 %, o custo unitário de R\$ 499,37/t representa uma redução 41,2 % quando comparado aos resultados do EVTE, que apresenta um custo unitário médio de R\$ 849,01/t e com taxa R/C de 55,4 % para o Brasil. No EVTE a relação de R/C é ainda mais crítica, 40,1 %, para municípios com população inferior a trinta mil habitantes. (IBGE, 2012).

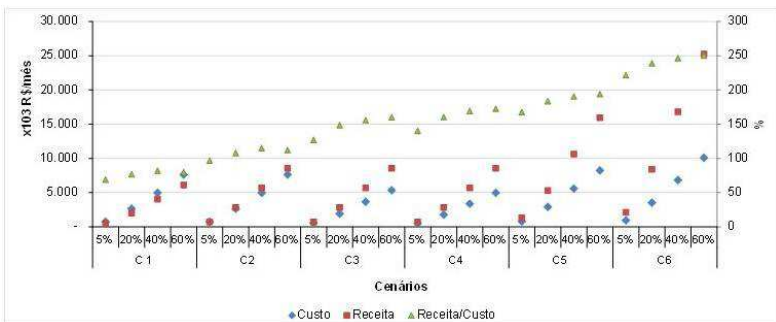
Mesmo no C2, quando as CV são consideradas como pontos de armazenamento temporário, e passam a agregar valor pela possibilidade de aguardar melhor oportunidade de comercialização, propiciando um aumento de 40 %. As receitas obtidas ainda estão muito próximas aos custos, com taxa R/C variando de 97 % a 112 %. A relação R/C alcança valores maiores quando são propostos avanços operacionais para o sistema, a partir do C3 e à medida que a taxa de retorno aumenta. A Figura 4.1 e Figura 4.2 mostram a relação entre os custos e as receitas para os cenários do Modelo Otimizado.

Figura 4.1 - Variação dos custos e receitas no Modelo Otimizado para o SLR de embalagens



Fonte: as autoras.

Figura 4.2 - Custos totais e receitas obtidas com a comercialização de materiais reciclados



Fonte: as autoras.

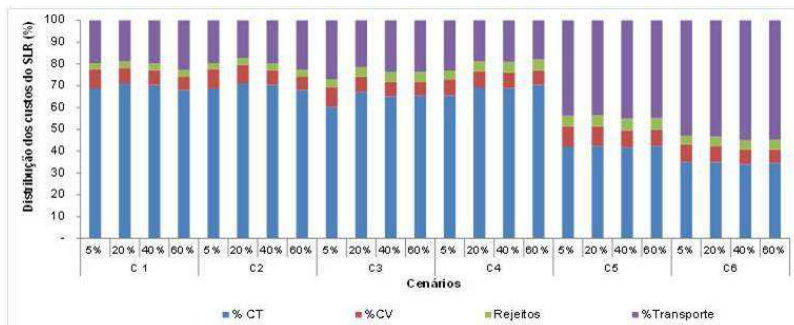
Observa-se que os melhores resultados ocorrem em C4, C5 e C6, devido às melhorias no transporte dos PG até os CT (C4) e alteração

da função da CV realizando o beneficiamento primário para Papéis e plásticos. Com agregação de valor a estes materiais, as taxas aumentaram de três (C5) a cinco (C6) vezes do preço atual, no qual, o resultado final é positivo com a taxa R/C superior a 168 % para todas as taxas de retorno. Ressalta-se que em C5 e C6 estimou-se que 20 % do papel e do plástico tornam-se rejeitos e estes são destinados para aterros sanitários, o que impõe mais custo para o sistema.

Portanto, para um SLR baseado apenas na triagem e prensagem dos materiais para comercialização direta, a preços atuais, exigirá gastos maiores ou muito próximos às receitas, os quais deverão ser arcados pelo setor empresarial para alcançar as metas do PLANARES (IPEA, 2012). Logo, melhorias operacionais devem ser implantadas para que esta relação entre Receitas e Custos tenha resultados mais positivos.

Os itens que mais contribuem para o custo do sistema são os CT, que correspondem em média a 58,1 % dos custos totais. Do valor gasto com os CT, 93,2 %, em média, representa custo operacional. Este alto custo deve-se principalmente à mão de obra, pois o processo utilizado pelas OCMR tem sido totalmente manual e o modelo considerou esta forma de trabalho. A Figura 4.3 apresenta a distribuição dos custos do SLR nos cenários analisados.

Figura 4.3 - Distribuição dos custos nos cenários – Modelo Otimizado



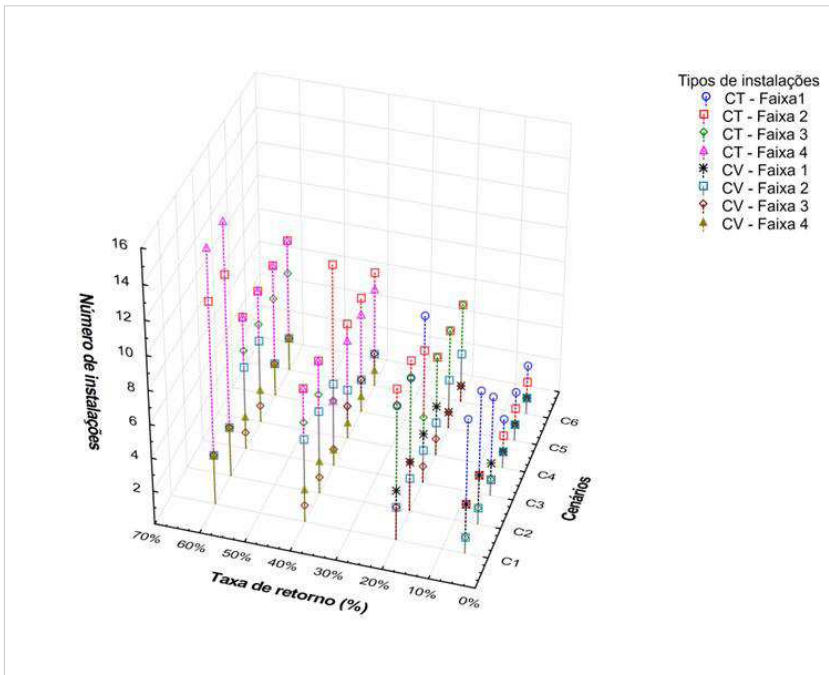
Fonte: as autoras.

Nos C5 e C6, que passam a ter função de beneficiamento de papel e plástico, o custo com instalação e operação das CV aumentam e são acrescidos de custos de transporte e disposição de rejeitos à

função objetivo. Isto faz com que a parcela de custos com CT reduzam em relação às demais parcelas.

A Figura 4.4 permite analisar o número de CT e CV alocados nos cenários considerados, em relação à taxa de retorno das embalagens pela população.

Figura 4.4 - Quantidade de CT e CV alocados nos cenários Modelo Otimizado.



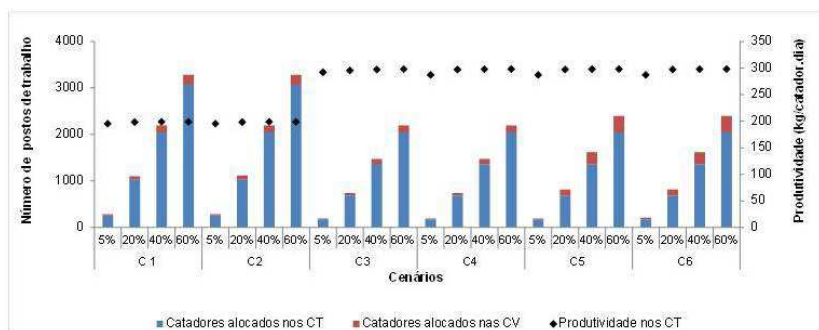
Fonte: as autoras.

Observa-se que, com o crescimento da taxa de retorno das embalagens, aumentam-se a quantidade e o porte dos CT e CV alocados. Observa-se também que, para a mesma taxa de retorno, existe uma semelhança no padrão de instalações alocadas. Foram alocadas em média 17,3 CT e 5,8 CV, o que representa 32 % dos CT candidatos e 24 % das CV candidatas, respectivamente.

O número de catadores necessários para o SLR atuando nos CT e CV apresentado na Figura 4.5, também é outra informação importante que o modelo proporciona, tendo em vista que um dos

principais objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é a inclusão social dos catadores nos Sistemas Municipais de Coleta Seletiva (SMCS) e nos SLR de embalagens (BRASIL, 2010). O número de catadores está relacionado com a faixa de capacidade dos CT e CV alocados, e varia em função dos cenários.

Figura 4.5 - Número de postos de trabalho nos CT e CV alocados – Modelo Otimizado



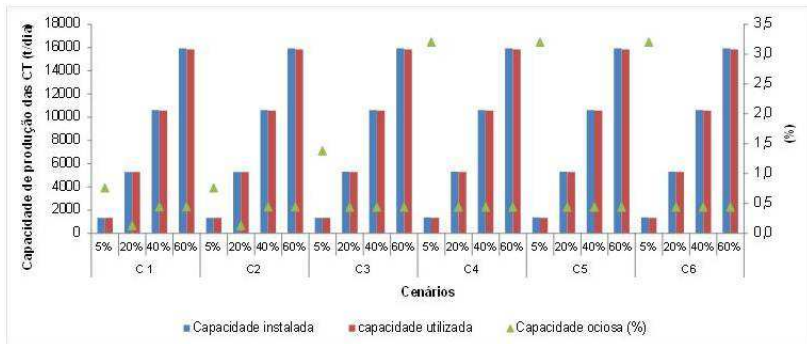
Fonte: as autoras.

Quanto mais intervenções de melhorias são inseridas, menor é o número de catadores requeridos para o sistema, pois os CT e CV passam a ter uma capacidade produtiva mais elevada. No EVTE de embalagens pós-consumo são previstos 2.370 postos de trabalho com trinta CT instalados no Espírito Santo (IBAM, 2012). Em C1-20%, que é o cenário mais semelhante a esse estudo, o modelo aponta 1.056 postos nos 25 CT alocados e setenta e cinco nas sete CV alocadas. Esta redução ocorre, pois o sistema como um todo é otimizado, e o número de postos de trabalho está relacionado ao número de instalações alocadas e a faixa de capacidade das instalações. Por outro lado, o aumento na taxa de retorno, tende a ampliar os números de postos de trabalhos ofertados pelo SLR.

Outro indicador importante é a produtividade alcançada pelo sistema. Nos Cenários 1 e 2, em que não ocorrem mudanças operacionais no sistema, a produtividade média é de 198,20 kg/dia, próximo aos 200 kg/dia indicados por Brasil (2008, 2010) e IBAM (2012). Quando são propostas melhorias operacionais com aumento da capacidade de produção (C3 a C6), a produtividade média passa para 295,1 kg/dia.

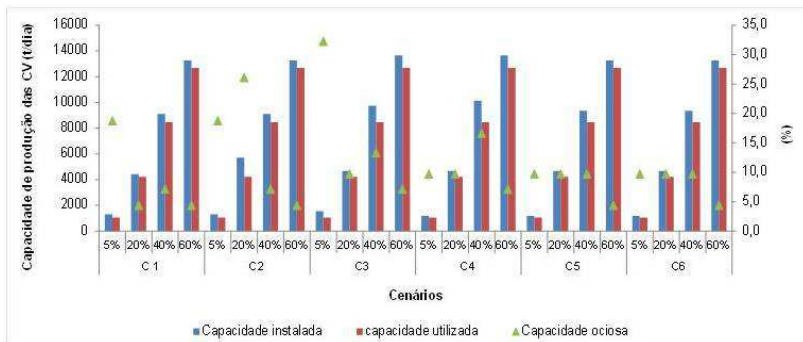
A otimização do sistema por meio da modelagem matemática permite organizar SLR bem ajustado, com pouca folga entre a capacidade alocada e a capacidade utilizada. Na Figura 4.6 e a Figura 4.7 é possível analisar o comportamento dos CT e CV em termos de capacidades requeridas e capacidades excedentes, considerando todas as instalações alocadas por cenário.

Figura 4.6 - Capacidade operacional dos CT alocados – Modelo Otimizado.



Fonte: as autoras.

Figura 4.7 - Capacidade operacional das CV alocadas – Modelo Otimizado.



Fonte: as autoras.

A taxa de ociosidade média dos CT é de 0,82 % e da CV é de 11 %. Desta forma, é possível avaliar a margem de folga que estas instalações possuem caso haja um aumento na taxa de retorno das

embalagens além do previsto. Portanto, a otimização realizada garantiu uma boa utilização dos CT e CV alocados com pouca ociosidade das instalações.

2.1 Detalhamento dos resultados do Modelo Otimizado no Cenário Conservador

Para uma análise mais detalhada do Modelo Otimizado, foi escolhido o Cenário Conservador C3, com taxa de retorno de 20 % (C3-20 %), como sendo o que tem mais possibilidade de ser alcançado em médio prazo para o Espírito Santo, pois nesse Cenário é previsto um ambiente onde os CT instalados sejam dotados de melhorias operacionais em relação ao que ocorre nas atuais OCMR na realização da triagem dos materiais advindos dos SMCS. Isto inclui aumento na capacidade dos equipamentos de prensagem, e conseqüente redução dos custos de transporte do CT para CV e das CV para ER devido ao aumento da densidade da carga. Nesse ambiente as CV servem como ponto de concentração de carga, e o valor de comercialização sofre um acréscimo de 40 %, devido à possibilidade de melhores oportunidades de venda.

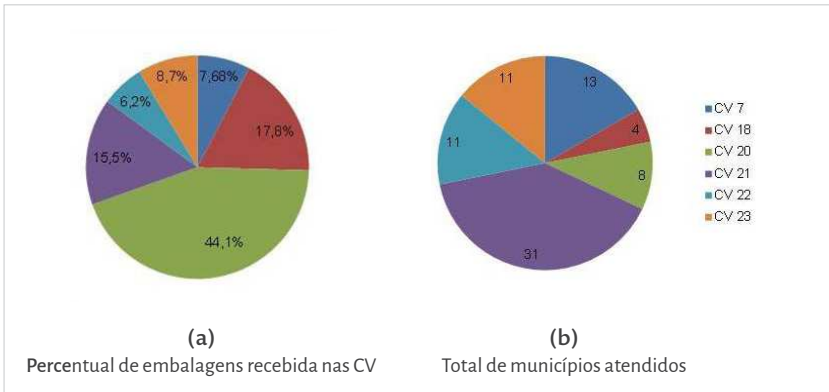
Como resultado da otimização do Cenário Conservador com taxa de retorno de 20 % (C3-20 %) obteve-se um custo unitário de R\$ 362,70/t.mês ou R\$ 0,65 hab./mês, resultando em uma relação de R/C de 148,7 %.

Em C3-20 % foram alocadas 22 CT candidatas, sendo que dez foram alocadas com Faixa de capacidade 1 (75t/mês), três com Faixa 2 (252,6 t/mês) e quatro com Faixa 3 (631,6 t/mês). A taxa de ociosidade dos CT é de 0,13 % o que mostra que a capacidade projetada foi quase totalmente utilizada com as alocações definidas pelo modelo.

Nesse cenário foram alocadas seis CV sendo três com Faixa de capacidade 1 (390t/mês), duas com Faixa 2 (750t/mês) e uma com Faixa 3 (1950t/mês). As CV alocadas foram: CV 7 em Boa Esperança; CV 18 em Vila Velha; CV 20 em Cariacica; CV 21 em Cachoeiro de Itapemirim; CV 22 em Colatina e CV 23 em Linhares.

As CV 18 e 20, localizadas nos municípios de Vila Velha e Cariacica, receberão materiais de oito municípios localizados na RMGV e redondezas, e juntos são responsáveis por 60,85 % das embalagens retornadas pela população. Sendo os 39,15 % restantes distribuídos nas demais CV no interior do Estado, como se observa na Figura 4.8a e b.

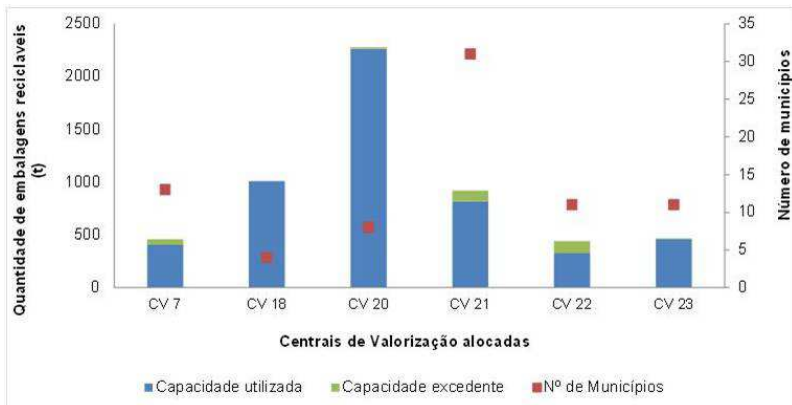
Figura 4.8 - Distribuição das embalagens recicláveis nas CV alocadas – Modelo Otimizado.



Fonte: as autoras.

A Figura 4.9 permite visualizar as capacidades operacionais das CV alocadas em C3-20 %. Para este Cenário a taxa de ociosidade das CV alocadas é de 4,4 %.

Figura 4.9 - Capacidades operacionais das CV alocadas no Cenário 3 - 20 % – Modelo Otimizado.



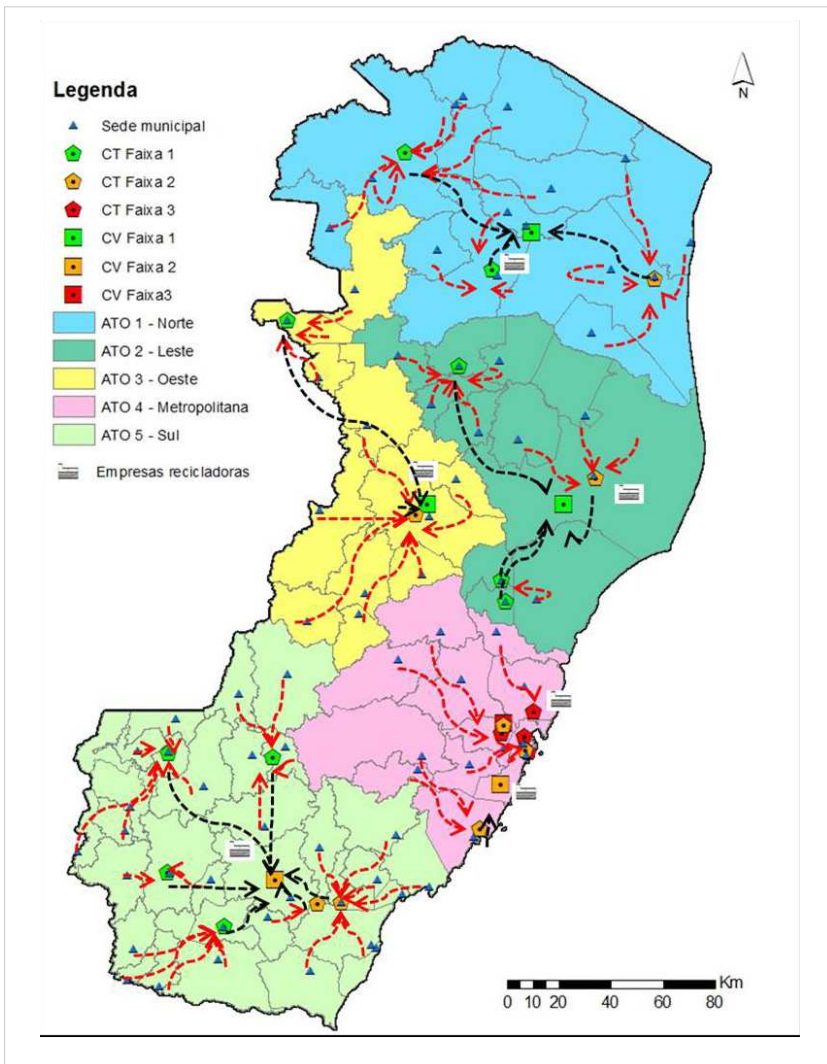
Fonte: as autoras.

A partir da espacialização dos CT e CV alocados, foram constituídos os ATOS para o SLR. São considerados ATOS os agrupamentos

de municípios, cuja quantidade de embalagens encaminhadas para o SLR justifique a alocação de CT e CV. Nos ATOS, ações regionalizadas podem ser desenvolvidas, atendendo de forma mais pontual as peculiaridades e as demandas regionais, sejam de aspectos econômicos, sociais ou culturais.

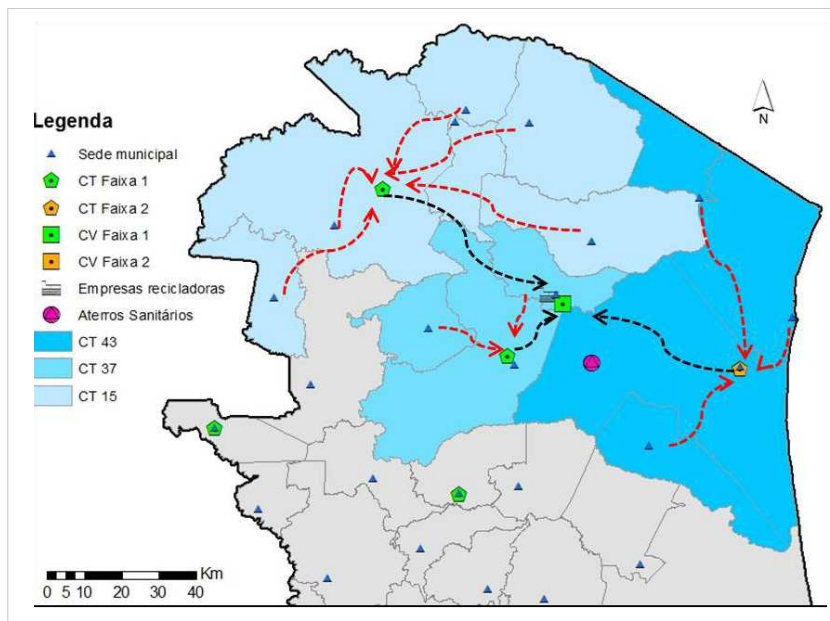
Nos ATOS coexistem municípios de pequeno, médio e grande porte, o que leva às situações distintas em relação ao número de instalações alocadas, ao número de municípios atendidos, e à capacidade requerida para estas instalações. Na Figura 4.10 é apresentado o mapa do Espírito Santo organizado em ATOS conforme a alocação de CT e CV resultante do C3-20 %.

Figura 4.10 - Arranjo territorial ótimo para SLR de embalagens no Espírito Santo – Modelo Otimizado



Fonte: as autoras.

A Figura 4.11 a Figura 4.12 apresentam os ATOS formados, com as informações relativas aos municípios que os compõem. Nos quadros 4.3 a 4.7 são apresentados os nomes dos municípios que compõem os ATOS.

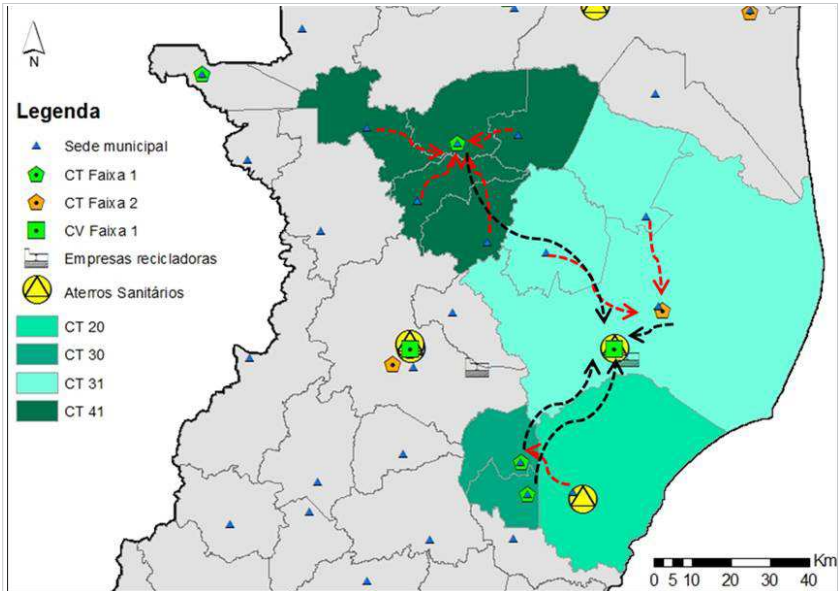
Figura 4.11 - ATO 1 – Região Norte do estado do Espírito Santo

Fonte: as autoras.

Quadro 4.3 - Dados sobre o ATO 1 – Região norte do estado do Espírito Santo

CT 15 – Ecoporanga Faixa 1	Municípios: Águia Doce do Norte, Ecoporanga, Montanha, Mucurici, Pinheiros e Ponto Belo.	
CT 37 – Nova Venécia Faixa 1	Municípios: Boa Esperança, Nova Venécia e Vila Pavão.	
CT 43 – São Mateus Faixa 2	Municípios: Conceição da Barra, Jaguaré, Pedro Canário e São Mateus.	
CV 7: Boa Esperança Faixa 1	ER 13: Boa Esperança	AS 8: São Mateus

Fonte: as autoras.

Figura 4.12 - ATO 2 – Região leste do estado do Espírito Santo

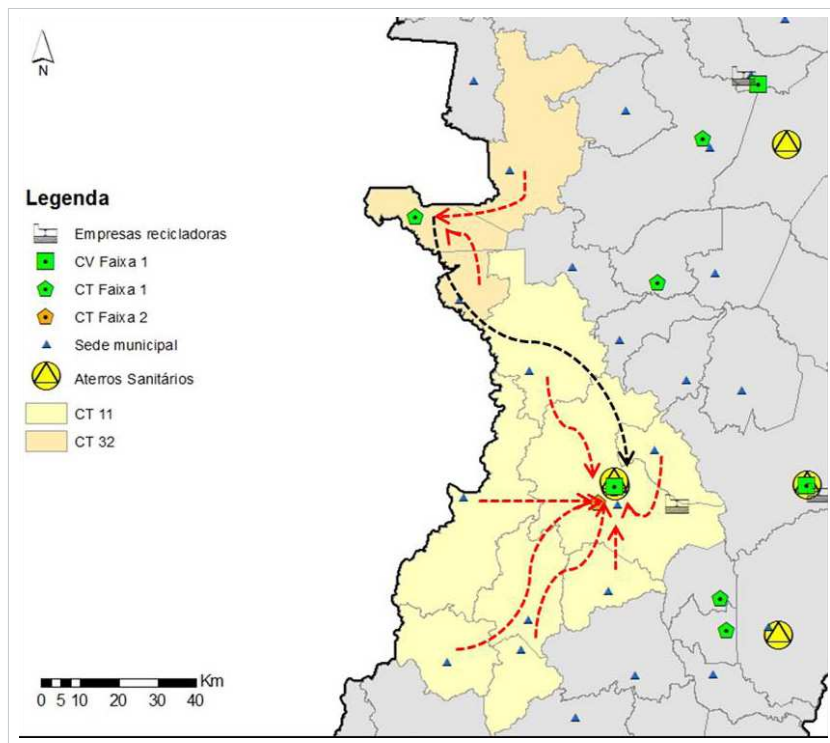
Fonte: as autoras.

Quadro 4.4- Dados sobre o ATO 2 – Região leste do estado do Espírito Santo

CT 20 – Ibirapu Faixa 1	Municípios: Aracruz e Ibirapu.	
CT 30 – João Neiva Faixa 1	Municípios: João Neiva.	
CT 31 – Linhares Faixa 2	Municípios: Linhares, Rio Bananal e Sooretama.	
CT 41 – São Gabriel da Palha Faixa 1	Municípios: Águia Branca, Governador Lindenberg, São Gabriel da Palha, São Domingos do Norte, Vila Valério.	
CV 23 – Linhares Faixa 1	ER 11 – Linhares	AS 2 – Aracruz AS 6 – Linhares AS 8 – São Mateus

Fonte: as autoras.

Figura 4.13 - ATO 3 – Região oeste do estado do Espírito Santo

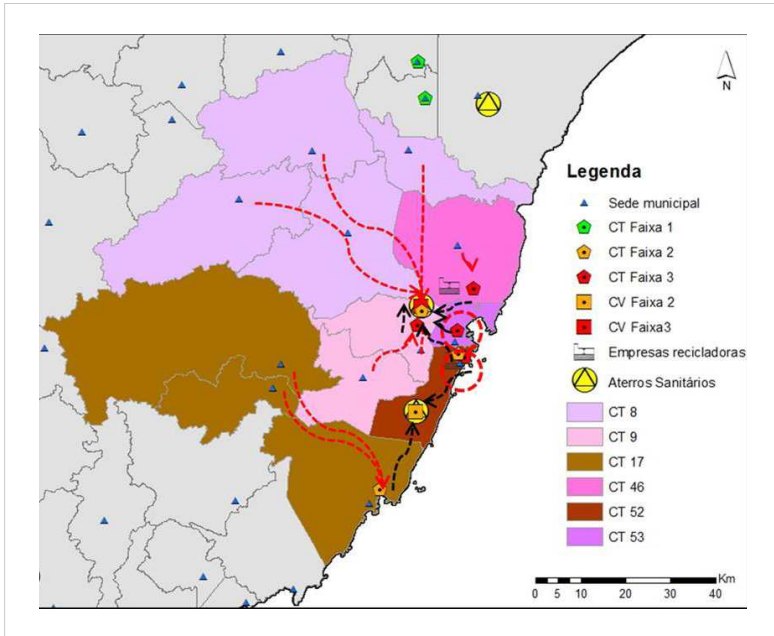


Fonte: as autoras.

Quadro 4.5 - Dados sobre o ATO 3 – Região oeste do estado do Espírito Santo

CT 11 – Colatina Faixa 2	Municípios: Baixo Guandu, Colatina, Itarana, Laranja da Terra, Marilândia, São Roque do Canaã, Itaguaçu e Pancas.	
CT 32 – Mantenópolis Faixa 1	Municípios: Alto Rio Novo, Mantenópolis e Barra de São Francisco.	
CV 22 – Colatina Faixa 1	ER 9 – Colatina	AS 7 – Colatina

Fonte: as autoras.

Figura 4.14 - ATO 4 – Região metropolitana do estado do Espírito Santo

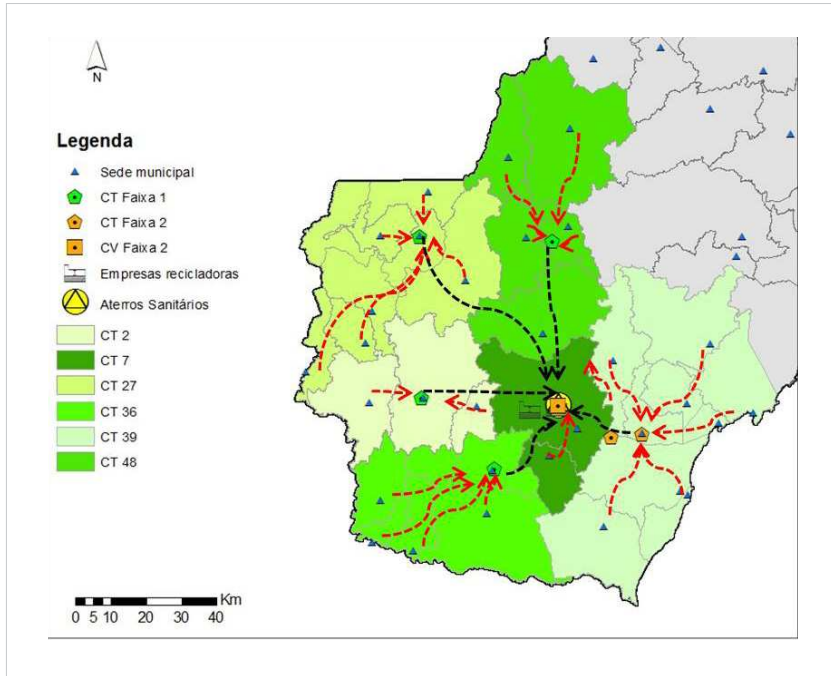
Fonte: as autoras.

Quadro 4.6 - Dados sobre o ATO 4 – Região metropolitana do estado do Espírito Santo

CT 17 – Guarapari Faixa 2	Municípios: Domingos Martins, Guarapari e Marechal Floriano.	
CT 52 – Vila Velha Faixa 2	Município: Vila Velha e Vitória	
CV 18 – Vila Velha	ER 4 – Vila Velha	AS 1 – Vila Velha / AS 3 – Cariacica
CT 8 – Cariacica Faixa 2	Municípios: Fundão, Santa Leopoldina, Santa Maria de Jetibá, Santa Teresa, Serra.	
CT 9 – Cariacica Faixa 3	Municípios: Cariacica e Viana	
CT 46 – Serra Faixa 3	Municípios: Serra	
CT 53 – Vitória Faixa 3	Municípios: Vitória	
CV 20 – Cariacica Faixa 3	ER 14 – Serra	AS 3 – Cariacica:

Fonte: as autoras.

Figura 4.15 - ATO 5 – Região sul do estado do Espírito Santo



Fonte: as autoras.

Quadro 4.7 - Dados sobre o ATO 5 – Região sul do estado do Espírito Santo

CT 2 – Alegre Faixa 1	Municípios: Alegre, Guaçuí e Jerônimo Monteiro.	
CT 7 – Cachoeiro de Itapemirim – Faixa 2	Municípios: Atílio Vivacqua e Cachoeiro de Itapemirim.	
CT 27 – Iúna Faixa 1	Municípios: Divino São Lourenço, Dolores do Rio Preto, Ibatiba, Ibitirama, Irupi, Iúna e Muniz Freire,	
CT 36 – Muqui Faixa 1	Municípios: Apicá, Bom Jesus do Norte, Mimoso do Sul, Muqui, São José do Calçado.	
CT 39 – Rio Novo do Sul – Faixa 2	Municípios: Alfredo Chaves, Anchieta, Castelo, Iconha, Itapemirim, Marataízes, Piúma, Presidente Kennedy, Rio Novo do Sul e Vargem Alta.	
CT 48 – Venda Nova do Imigrante – Faixa 1	Municípios: Afonso Claudio, Conceição do Castelo e Venda Nova do Imigrante.	
CV 21 – Cachoeiro de Itapemirim – Faixa 2	ER 2 – Cachoeiro de Itapemirim	AS 4 – Cachoeiro de Itapemirim

Fonte: as autoras.

Quanto à destinação dos materiais para as empresas recicladoras, o modelo também indica os polos industriais mais atrativos para a construção de empresas recicladoras e respectivas quantidades de materiais, por tipologia. A Figura 4.16 apresenta a oferta de materiais recicláveis para os polos industriais do estado do Espírito Santo para C3-20 %.

Figura 4.16 - Oferta de materiais recicláveis para os polos industriais do Espírito Santo – Modelo Otimizado



Fonte: as autoras.

Neste cenário foram criados fluxos para 6 dos 14 polos industriais inseridos no modelo: ER 2 em Cachoeiro de Itapemirim, ER 4 em Vila Velha, ER 9 em Colatina, ER 11 em Linhares, ER 13 em Boa Esperança e ER 14 na Serra.

3 Modelo Alternativo

Para o Modelo Alternativo são considerados os mesmos parâmetros de entrada do Modelo Otimizado. O que difere é a exigência de que todas os CT candidatos sejam alocados. Esta situação foi analisada, pois desta forma haveriam investimentos e fortalecimento das OCMR existentes, o que poderia gerar mais postos de trabalho e descentralizar os investimentos. No entanto, os custos tendem a ser maiores do que no Modelo Otimizado, já que novas restrições de contorno são impostas.

No Modelo Alternativo foram analisados os seis cenários relacionados às condições operacionais, sendo que para cada cenário foram analisadas as quatro taxas de retorno propostas, totalizando vinte e quatro cenários.

A Tabela 4.2 apresenta os resultados obtidos nos cenários no que se refere aos custos do sistema para o Modelo Alternativo quanto às receitas obtidas com a comercialização dos materiais recicláveis, ao lucro do sistema e à taxa de receita/custo.

A partir dos resultados, verifica-se que a taxa de R/C é superior a 100 % a partir do C3, considerando as melhorias propostas a partir deste cenário. Comparando o C1-20 % com os resultados do EVTE para embalagens (IBAM, 2012), verifica-se que a taxa de R/C passa de 55,44 % com custo unitário de R\$ 849,01/t no EVTE para 69,7 % com custo unitário de R\$ 552,50/t. Portanto, a redução do custo unitário é de 34,9 %. No Modelo Otimizado a taxa de R/C é de 77 % com custo unitário de R\$ 499,37/t para o mesmo cenário.

Tabela 4.2 - Resultados dos cenários analisados — Modelo Alternativo⁴

Cenário	Taxa de retorno (%)	Total de embalagens (t/mês)	Custo unitário		Custo total	Receita total	Lucro total	R/C (%)
			(R\$/hab.)	(R\$/mês)				
C1 - P	5	1320,53	0,50	1.115,20	1.472,66	508,85	-963,81	34,6
	20	5282,13	0,99	552,50	2.918,40	2.035,38	-883,02	69,7
	40	10564,26	2,08	582,24	6.150,96	4.070,77	-2.080,20	66,2
	60	15846,39	2,82	526,37	8.341,02	6.106,15	-2.234,87	73,2
C2 - P	5	1320,53	0,50	1.115,28	1.472,77	712,38	-760,38	48,4
	20	5282,13	0,99	552,53	2.918,53	2.849,54	-69,00	97,6
	40	10564,26	2,08	582,29	6.151,42	5.699,07	-452,35	92,6
	60	15846,39	2,82	526,29	8.339,83	8.548,61	208,77	102,5
C3 - C	5	1320,53	0,47	1.044,14	1.378,82	712,38	-666,43	51,7
	20	5282,13	0,79	444,41	2.347,45	2.849,54	502,09	121,4
	40	10564,26	1,76	493,61	5.214,57	5.699,07	484,50	109,3
	60	15846,39	2,21	411,33	6.518,07	8.548,61	2.030,54	131,2
C4 - C	5	1320,53	0,46	1.023,27	1.351,26	712,38	-638,87	52,7
	20	5282,13	0,75	420,31	2.220,11	2.849,54	629,42	128,4
	40	10564,26	1,68	469,66	4.961,65	5.699,07	737,42	114,9
	60	15846,39	2,08	387,86	6.146,12	8.548,61	2.402,49	139,1
C5 - O	5	1320,53	0,55	1.238,98	1.636,11	1.329,56	-306,55	81,3
	20	5282,13	1,13	632,96	3.343,36	5.318,22	1.974,87	159,1
	40	10564,26	2,43	678,57	7.168,55	10.636,44	3.467,89	148,4
	60	15846,39	3,19	595,15	9.431,00	15.954,66	6.523,66	169,2

continua →

4 R/C – Receita Total/Custo total.

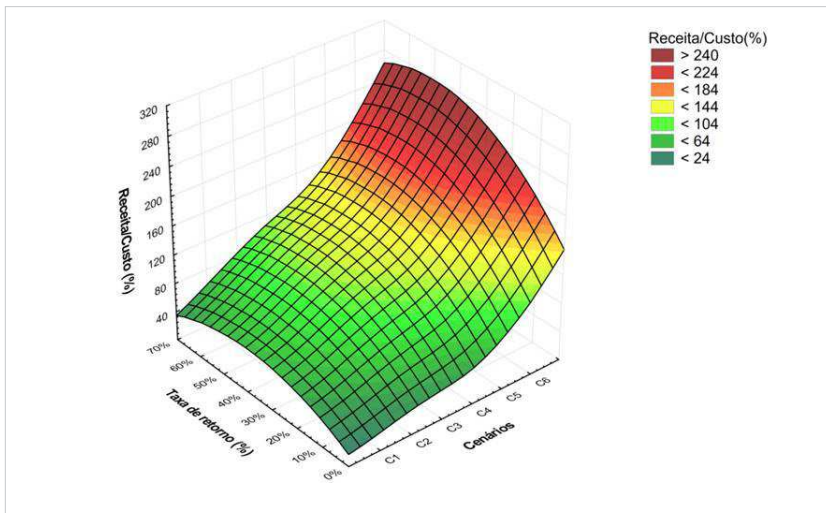
continuação

Cenário	Taxa de retorno (%)	Total de embalagens (t/mês)	Custo unitário		Custo total	Receita total	Lucro total	R/C (%)
			(R\$/hab.)	(R\$/mês)				
C6 - O	5	1320,53	0,61	1.355,97	1.790,60	2.101,02	310,42	117,3
	20	5282,13	1,34	749,77	3.960,40	8.404,08	4.443,68	212,2
	40	10564,26	2,84	795,44	8.403,25	16.808,16	8.404,91	200,0
	60	15846,39	3,82	712,00	11.282,56	25.212,24	13.929,67	223,5

Fonte: as autoras.

Os resultados são mostrados graficamente na Figura 4.17 e Figura 4.18 para todos os cenários.

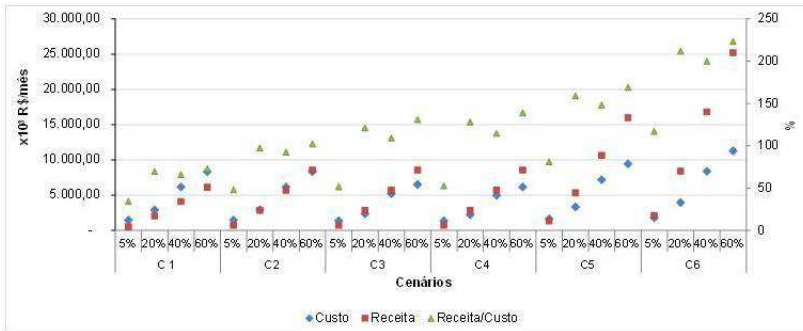
Figura 4.17 - Variação dos custos e receitas no Modelo Alternativo para o SLR de embalagens



Fonte: as autoras.

A Figura 4.18 possibilita concluir que, no Modelo Alternativo, somente a implantação de CV, mesmo com a função de armazenamento temporário para aumentar a oportunidade de venda a preços melhores do que os inicialmente considerados na modelagem, não fará o sistema com receitas superiores aos custos. Logo, para que o sistema tenha taxa de R/C superior a 100 %, serão necessárias melhorias operacionais nos CT e CV, bem como na coleta a partir dos PG (C3 e C4).

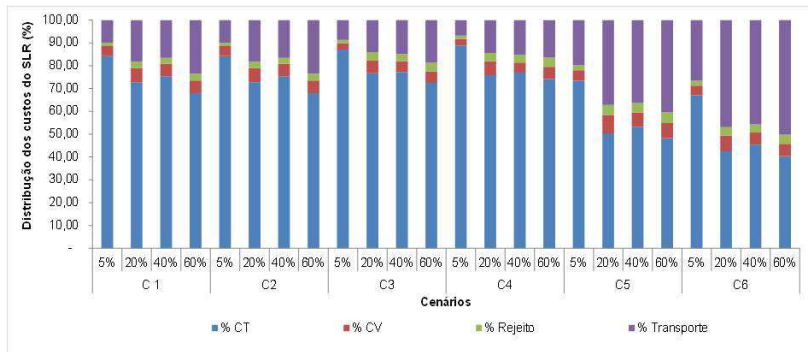
Figura 4.18 - Custos totais e receitas obtidas com a comercialização de materiais reciclados



Fonte: as autoras.

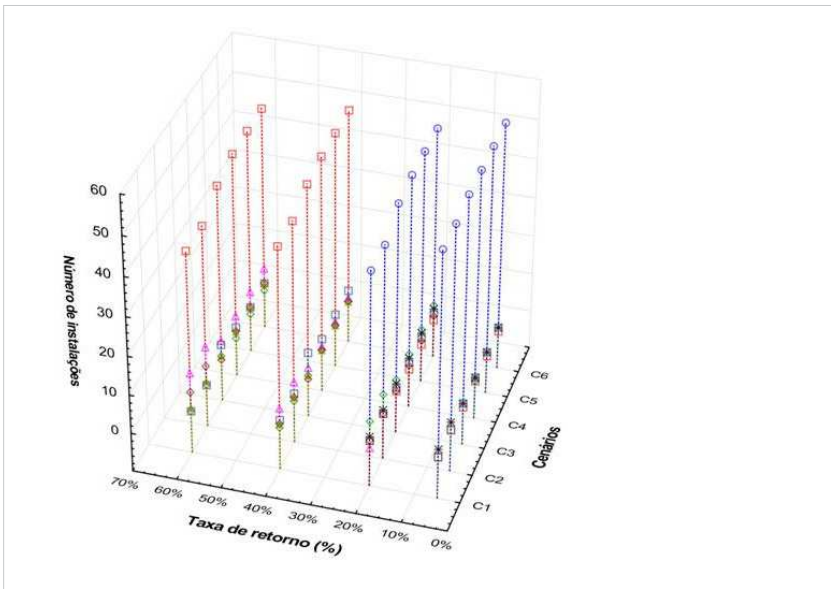
Observa-se também que, para este Modelo Alternativo, a relação R/C é inferior a 100 % quando a taxa de retorno é de 5 % para todos os cenários, exceto para o C6, que é uma situação extremamente otimista. Portanto, para essa situação, onde todos os CT são alocados, é necessário que a taxa de retorno por parte da população atinja níveis mais elevados que os alcançados pelos SMCS para que o SLR obtenha receitas superiores aos custos.

A Figura 4.19 apresenta a distribuição dos custos do SLR nos cenários analisados. Os itens que mais contribuem para o custo do sistema são os CT, da mesma forma que no Cenário Otimizado. No entanto, os CT passam a corresponder em média por 68,78 % dos custos totais, sendo que ela atinge valores superiores a 80 % quando a taxa de retorno é de 5 %. Isto ocorre porque as faixas de capacidade são fixadas e, mesmo não tendo materiais para serem submetidos à triagem, o CT permanece com seus custos de implantação e operação. Em contrapartida, os custos com transportes são proporcionais à quantidade transportada. Esta situação se assemelha a realidade das OCMR, que são formadas por catadores associados/cooperados, que mantêm o quantitativo de pessoal e seus gastos fixos independentes da quantidade de resíduos submetidos à triagem.

Figura 4.19 - Distribuição dos custos nos cenários – Modelo Alternativo

Fonte: as autoras.

A Figura 4.20 permite analisar o número de CT e CV alocados nos cenários considerados, em relação à taxa de retorno das embalagens pela população.

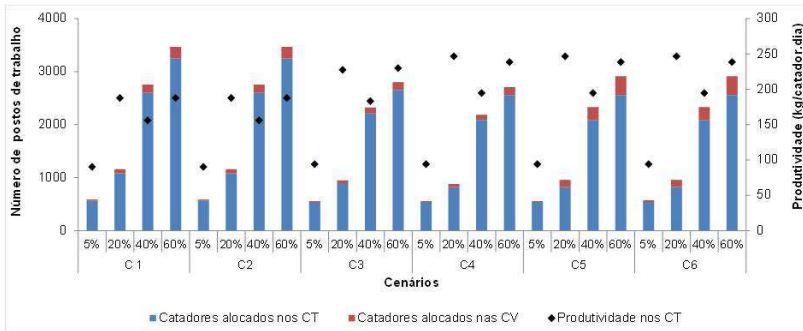
Figura 4.20 - Quantidade de CT e CV alocados nos cenários – Modelo Alternativo

Fonte: as autoras.

Observa-se que, com o aumento da quantidade de resíduos, aumenta-se o porte dos CT e CV alocados. Para as mesmas taxas de retorno, existe uma semelhança no padrão de instalações alocadas. Neste modelo, 100 % dos CT são alocados, com variação em relação à faixa de capacidade. Em média são alocadas 5,8 CV, o que corresponde a 24,1 % das CV candidatas.

Quanto ao número de catadores necessários para o SLR atuando nos CT e CV, observa-se, na Figura 4.21, que não varia muito de um cenário para outro, considerando a mesma taxa de retorno. Isto, porque existe a obrigatoriedade de que todos os CT serem alocados. Este fator acaba por refletir na produtividade do sistema.

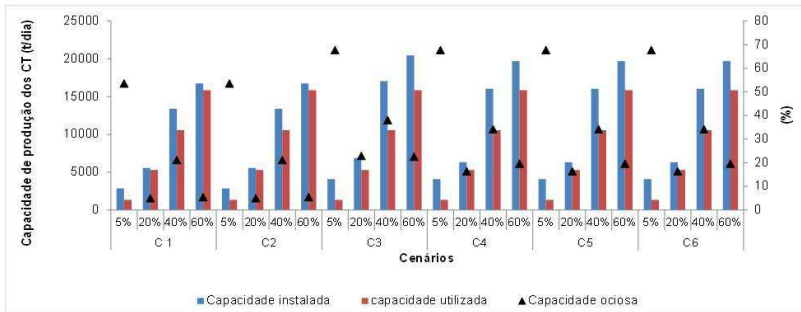
Figura 4.21 - Número total de catadores alocados nos CT e CV



Fonte: as autoras.

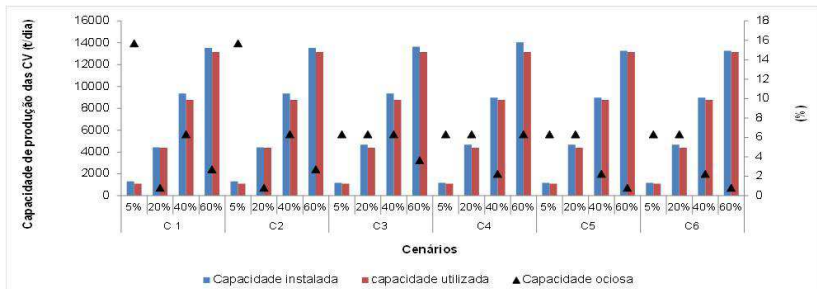
Comparando os dados do EVTE (IBAM, 2012) e o C1-20 %, temos que no EVTE são previstos 2.370 postos de trabalho com 30 CT instalados no Espírito Santo e no C1-20 %, o modelo aponta 1083 postos nos 54 CT previamente alocados e 75 postos nas 6 CV, totalizando 1158 postos de trabalho. Este valor não difere muito dos 1100 postos alocados para o mesmo Cenário no Modelo Otimizado. Esta diferença continua ocorrendo, pois o objetivo da modelagem também é definir as faixas de capacidade mais adequadas. A Figura 4.22 e Figura 4.23 permitem analisar as capacidades requeridas e capacidades excedentes dos CT e CV.

Figura 4.22 - Capacidade operacional dos CT alocados – Modelo Alternativo.



Fonte: as autoras.

Figura 4.23 - Capacidade operacional das CV alocadas – Modelo Alternativo.



Fonte: as autoras.

A taxa de ociosidade média dos CT é de 30,62 % e da CV é de 5,26 %. Quando a taxa de retorno é 5 % taxa de ociosidade média é para 60,03 % e 9,44 %, respectivamente para CT e CV. Desta forma, é possível avaliar a margem de folga que estas instalações possuem caso haja um aumento na taxa de retorno das embalagens além do previsto. Portanto, neste Modelo Alternativo, a otimização realizada não garantiu tão boa utilização dos CT e CV alocadas como no Modelo Otimizado, alocando instalações com maiores taxas de ociosidade.

3.1 Detalhamento dos resultados do Modelo Alternativo no cenário conservador

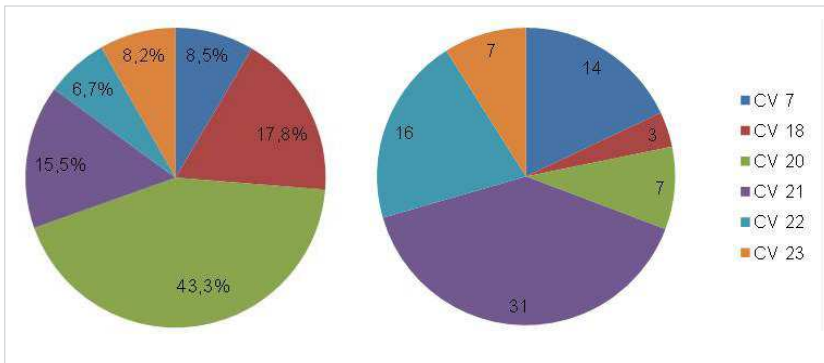
Como resultado do Modelo Alternativo no Cenário Conservador para a taxa de retorno de 20 % (C3-20 %) obteve-se um custo unitário de R\$ 0,79 hab./mês ou R\$ 444,41/t.mês, perfazendo uma relação de Receita/Despesa de 121,4 %.

Neste Cenário (C3-20 %) foram alocados todos os 54 CT candidatos, sendo que 47 foram alocadas com faixa de capacidade 1 (75t/mês), três com Faixa 2 (252,6 t/mês) e quatro com Faixa 3 (631,6t/mês). Foram alocadas 6 CV, sendo três com Faixa 1 (390t/mês), dois com Faixa 2 (750t/mês) e um com Faixa 3 (1950t/mês) de capacidade. A taxa de ociosidade dos CT foi de 22,85 %, o que mostra que a capacidade projetada está superior à utilizada. O valor superior aos 0,13 % obtido no Modelo Otimizado ocorre devido à restrição imposta de obrigatoriedade de alocação de todos os 54 CT candidatos.

As mesmas CV alocadas no Modelo Otimizado foram alocadas para este cenário: a CV 7 em Boa Esperança; CV 18 em Vila Velha; CV 20 em Cariacica; CV 21 em Cachoeiro de Itapemirim; CV 22 em Colatina e CV 23 em Linhares. O que variou foram os CT que destinam seus materiais para elas.

As CV 18 e 20 localizadas nos municípios de Vila Velha e Cariacica recebem materiais de dez municípios localizados na RMGV e seu entorno, e juntos são responsáveis por 61,1 % das embalagens retornadas pela população. Sendo os 38,9 % restantes distribuídos nas demais CV no interior do Estado, como se observa na Figura 4.24 a e b.

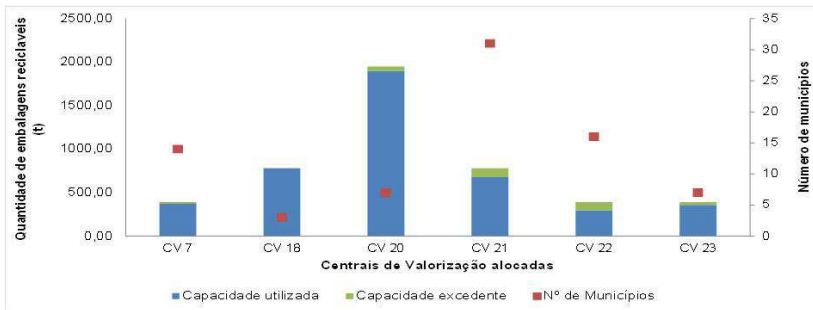
Figura 4.24 - Distribuição das embalagens recicláveis nas CV – Modelo Alternativo



Fonte: as autoras.

A Figura 4.25 permite visualizar as capacidades operacionais das CV alocadas em C3-20 %. Para este cenário a taxa de ociosidade das CV alocadas é de 6,32 %.

Figura 4.25 - Capacidades operacionais dos CT alocados no Cenário 3 - 20 % – Modelo Alternativo



Fonte: as autoras.

Quanto à destinação dos materiais para as empresas recicladoras, tanto no Modelo Alternativo quanto no Modelo Otimizado são indicados os mesmos polos industriais. Isto mostra que os dois modelos divergiram apenas em relação ao fluxo do PG para CT, pois no Modelo Alternativo todos os CT foram alocadas. Na escolha das CV e ER, os dois modelos convergiram para o mesmo resultado em termos de localização dos CT e suas faixas de capacidade e fluxos da CV para as ER.

4 Modelo Atual

O terceiro modelo estudado foi denominado Modelo Atual, pois reflete a realidade do Espírito Santo em que as OCMR que comercializam os materiais submetidos à triagem e prensados diretamente com as empresas recicladoras, sem a existência de CV.

Para o Modelo Atual foram analisados apenas três Cenários, C1, C3 e C4, como condicionantes de hipóteses, semelhantes aos cenários analisados para os dois tipos anteriores, com quatro taxas de retorno cada, totalizando 12 cenários. Os demais, consideram hipóteses

de melhorias nos preços de venda dos materiais, decorrentes da abertura de CV, o que não ocorrem no Modelo Atual.

A Tabela 4.3 apresenta os resultados obtidos nos cenários no que se refere aos custos do sistema para o Modelo Atual quanto às receitas obtidas com a comercialização dos materiais recicláveis e ao lucro.

Tabela 4.3 - Resultados dos cenários analisados – Modelo Atual⁵

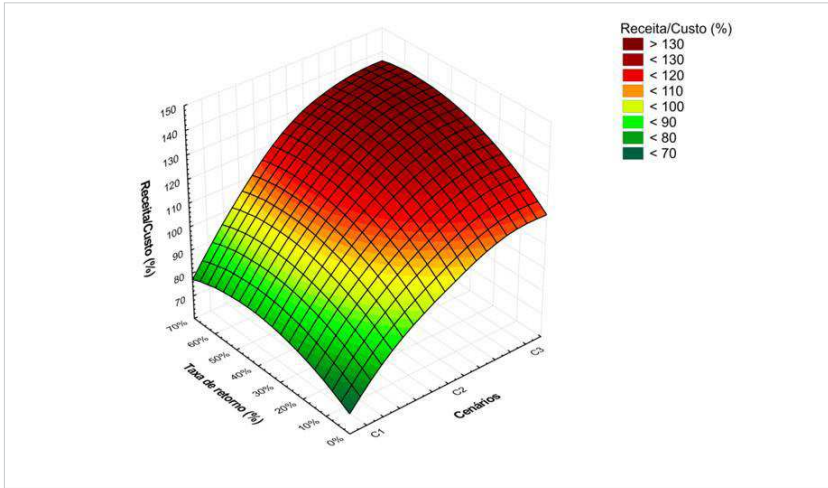
Cenário	Taxa de retorno (%)	Total de embalagens (t/mês)	Custo unitário		Custo total	Receita total	Lucro total	R/C (%)
			(R\$/hab.)	(R\$/mês)				
C1 - P	5	1320,53	0,22	482,18	636,74	508,85	-127,89	80
	20	5282,13	0,80	445,80	2.354,76	2.035,38	-319,38	86
	40	10564,26	1,50	420,44	4.441,62	4.070,77	-370,86	92
	60	15846,39	2,30	429,02	6.798,46	6.106,15	-692,31	90
C3 - C	5	1320,53	0,16	367,81	485,71	508,85	23,14	105
	20	5282,13	0,58	325,83	1.721,09	2.035,38	314,29	118
	40	10564,26	1,12	312,57	3.302,09	4.070,77	768,68	123
	60	15846,39	1,63	303,55	4.810,24	6.106,15	1.295,91	127
C4 - O	5	1320,53	0,15	329,28	434,83	508,85	74,02	117
	20	5282,13	0,53	299,21	1.580,45	2.035,38	454,94	129
	40	10564,26	1,02	285,32	3.014,17	4.070,77	1.056,59	135
	60	15846,39	1,50	280,10	4.438,53	6.106,15	1.667,62	138

Fonte: as autoras.

Os resultados são mostrados graficamente na Figura 4.26 e Figura 4.27 para todos os cenários. A partir destes, verifica-se que a taxa R/C se torna superior a 100 % com as melhorias propostas no C2, mesmo sem as CV instaladas, mas as taxas de R/C não ultrapassam 138 % mesmo para taxas de retornos de 60 % para o C4.

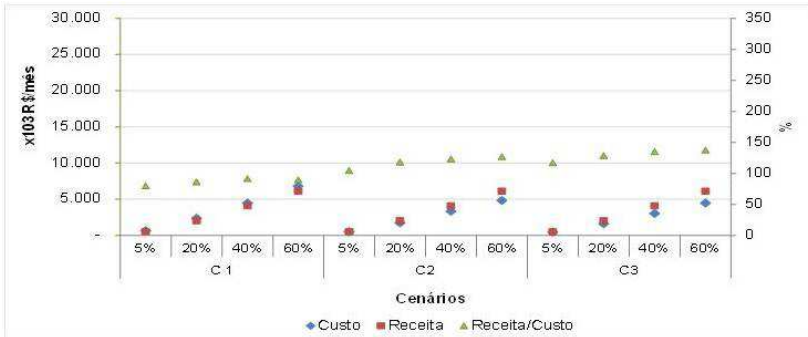
5 R/C – Receita Total/Custo total.

Figura 4.26 - Variação dos custos e receitas no Modelo Atual para o SLR de embalagens



Fonte: as autoras.

Figura 4.27 - Custos e receitas obtidas com a comercialização de materiais reciclados



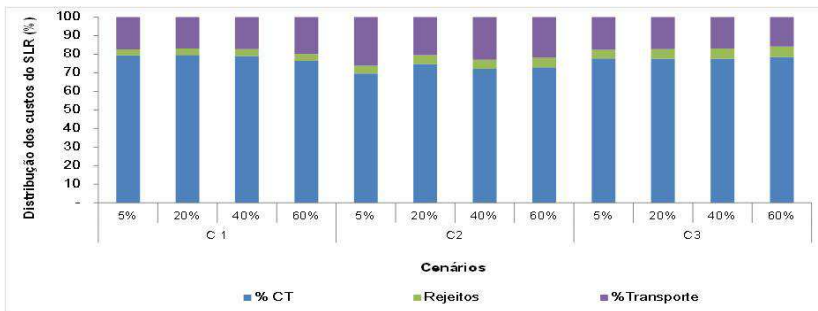
Fonte: as autoras.

O C1-20 % apresenta hipóteses semelhantes ao EVTE para embalagens (IBAM, 2012). Este cenário, apesar dos resultados ainda mostrarem uma taxa de R/C de 80 % e custo unitário de R\$ 445,80/t, apresenta uma redução 47,9 % quando comparado aos resultados do EVTE com custo unitário R\$ 849,01/t e com taxa de R/C de 55,44

% Observa-se que, comparando o custo unitário e a taxa de R/C do Modelo Atual com o Modelo Otimizado (R\$ 499,37 e R/C de 77 %), para o mesmo Cenário, o Modelo Atual é mais vantajoso. Isto confirma que a existência de CV apenas como função de transbordo, sem agregação de valor aos materiais, cria apenas mais uma estrutura que tem custos, mas não agrega valor ao processo. Ou seja, caso mantidas as mesmas condições atuais de operação, a instalação de CV não demonstra agregar valor ao processo, gerando mais custo do que se não existissem.

A Figura 4.28 apresenta a distribuição dos custos do SLR nos cenários analisados. Os itens que mais contribuem são os CT, correspondendo a 76,3 % dos custos totais.

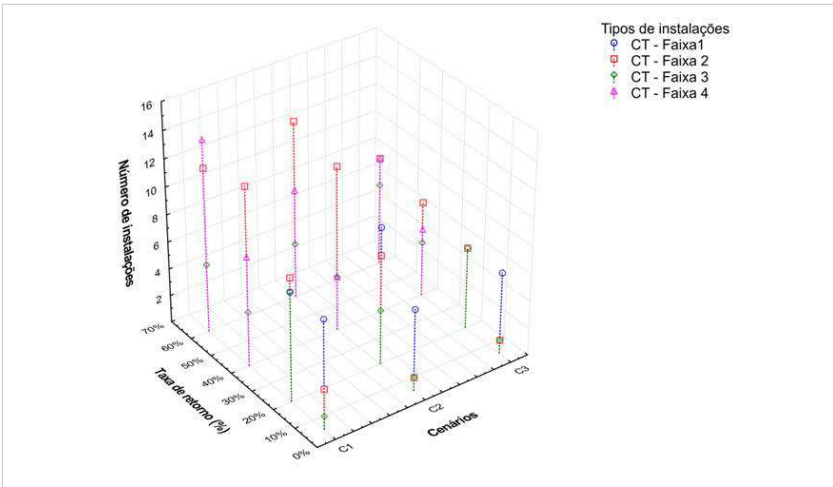
Figura 4.28 - Distribuição dos custos nos cenários analisados



Fonte: as autoras.

A Figura 4.29 permite analisar o número de CT e CV alocados nos cenários considerados em relação à taxa de retorno das embalagens pela população. Neste Modelo foram alocados em média 34,9 % dos CT candidatos.

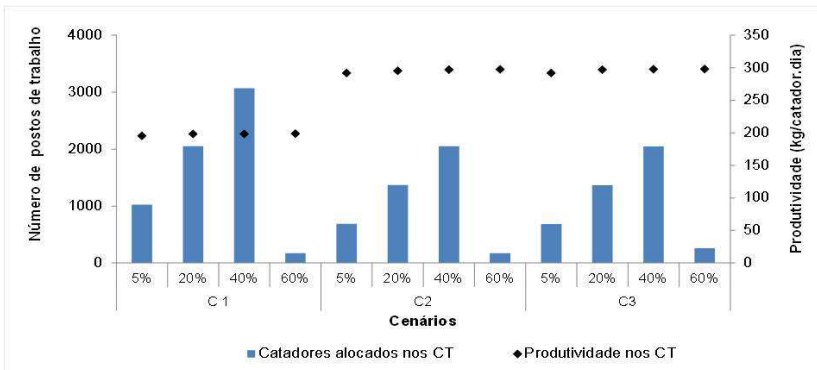
Figura 4.29 - Quantidade de CT e CV alocados nos cenários – Modelo Atual



Fonte: as autoras.

A Figura 4.30 apresenta o número de postos de trabalho necessários para o SLR. Quanto mais intervenções de melhorias são inseridas, menor é o número de catadores requeridos para o sistema. Em média são necessários 1246 postos de trabalho, com uma produtividade média de 263 kg/catador/dia.

Figura 4.30 - Número total de catadores alocados nos CT e CV.



Fonte: as autoras.

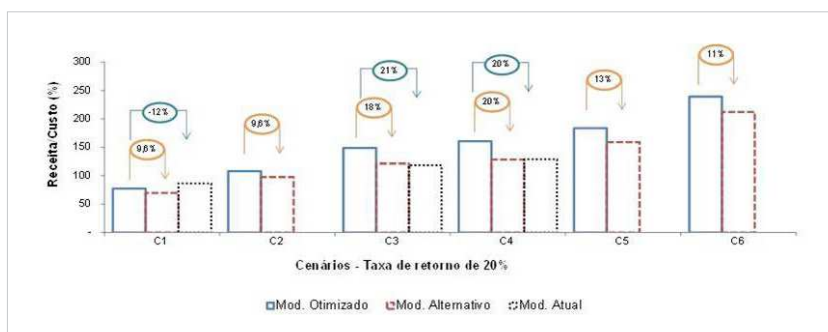
A taxa de ociosidade dos CT alocados é de 0,6 %, o que mostra uma boa otimização da capacidade produtiva instalada, frente à demanda, considerando cada cenário.

5 Resumo da comparação entre os modelos

Os três modelos analisados apresentaram resultados satisfatórios em termos de taxa R/C, mostrando que as receitas obtidas com a comercialização dos materiais recicláveis podem justificar os investimentos. A otimização realizada proporcionou identificar os locais mais adequados para alocação dos CT e CV e os melhores fluxos considerando os modelos propostos. Os resultados mostraram uma tendência que se repetiu nos cenários e nos modelos analisados.

A fim de comparar todos os três modelos, é apresentada a Figura 4.31 que mostra a variação das taxa R/C por cenário. Para este finalidade foi definida a taxa de retorno de 20 %.

Figura 4.31- Variação da taxa Receita/Custo para os modelos e cenários analisados – Taxa de retorno de 20 %



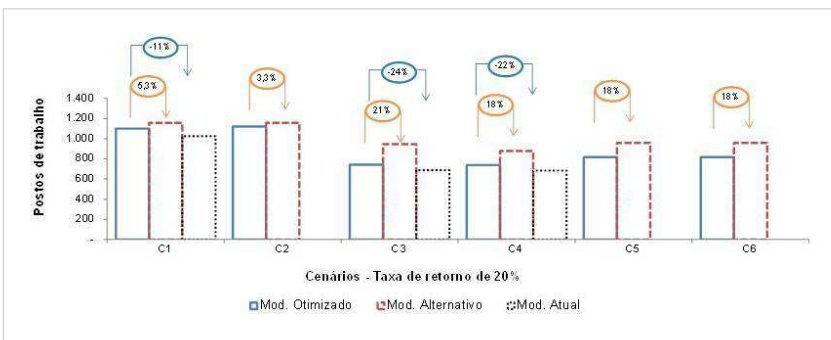
Fonte: as autoras.

O que se percebe analisando a Figura 4.31 é que o Modelo Otimizado apresenta valores superiores na taxa R/C em relação aos outros dois, para todos os cenários com exceção de C1. No C1, o Modelo Otimizado apresenta a taxa de R/C 12 % menor que o Modelo Atual. Isto indica que se mantendo todas as características operacionais vigentes, a implantação de CV trará mais custos para o SLR.

A partir do C3, os três modelos discutidos neste trabalho apresentam resultados positivos, com taxa R/C superior a 100 %. O Modelo Otimizado sempre se sobressai, pois ele tem a possibilidade de alocar os melhores CT e CV além de fluxos mais otimizados, o que é limitado nos demais modelos. Mas pode-se concluir que independente do modelo adotado, com ou sem CV, alocando apenas os CT mais estratégicos ou tendo à participação de todos os CT candidatos, a utilização de um modelo logístico, que defina as capacidades e os fluxos, pode levar a um resultado mais satisfatório do que a definição de um sistema, apenas considerando a quantidade de resíduos. Esta melhoria pode ser percebida quando se compara os resultados dos modelos deste estudo com os resultados do EVTE de embalagens (IBAM, 2012).

O número de postos de trabalho é outra informação importante a ser analisada. A Figura 4.32 apresenta os resultados comparativos dos três modelos em função do número de postos de trabalho alocados.

Figura 4.32 - Variação do número de postos de trabalho para os modelos e cenários analisados – Taxa de retorno de 20 %



Fonte: as autoras.

O número de postos de trabalho não se altera muito nos primeiros cenários, porque se mantido os mesmos procedimentos operacionais atuais, a produtividade é praticamente a mesma. Mas para o Modelo Atual seriam necessários menos trabalhadores porque não estão incluídos os que estão alocados nas CV, as quais não existem nesta situação. À medida que melhorias no processo produtivo e de transporte são inseridas, ocorre uma redução no número de postos

de trabalho nos CT e CV em todos os três modelos, o que pode ser percebido de C2 para C3. Para as demais alterações dos cenários, não há redução dos postos de trabalho, pois a capacidade produtiva se mantém.

Comparando o Modelo Otimizado com o Modelo Alternativo, o primeiro requer um número menor de postos de trabalho, mas a taxa de R/C é maior. E comparando-o com o Modelo Atual, o primeiro requer um número maior de postos de trabalho, e a taxa de R/C é também maior, portanto, para estes dois indicadores, o Modelo Otimizado se destaca. Quando comparado o Modelo Alternativo com o Modelo Atual, o primeiro requer mais posto de trabalho. Os dois modelos apresentam taxas de R/C muito próximas, portanto o modelo Alternativo se destaca.

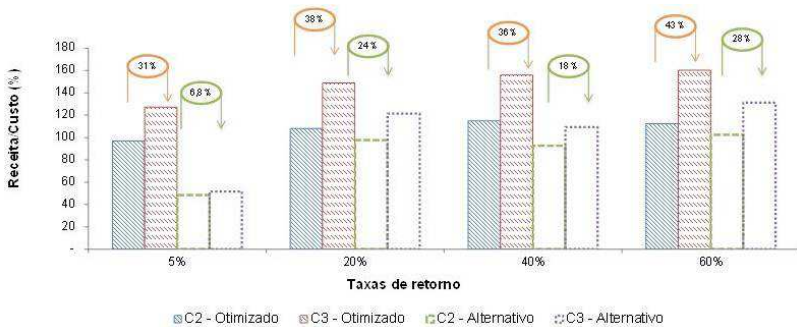
6 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade do modelo foi realizada por comparação entre os cenários e as respostas dos modelos frente às intervenções propostas.

6.1 Melhorias no processo produtivo

As condicionantes que tratam da produtividade dos CT e CV foram analisadas nos modelos considerando duas hipóteses. A primeira considera a produtividade máxima de 200 kg/catador/dia, baseado em Brasil (2008, 2011) e IBAM (2012). A segunda hipótese é de que a produtividade pode aumentar em 50 %, chegando a 300 kg/catador/dia. Este aumento de produtividade pode ser alcançado com melhoria no processo de produção e melhorias nos equipamentos, principalmente, prensas mais potente. Esta melhoria no processo de prensagem garantiria fardos com densidade maiores, o que reduz os custos com o transporte a partir do CT. Os dois cenários onde é possível verificar como esta intervenção influencia no processo são C2 e C3. A Figura 4.33 mostra como a variação de 50 % na produtividade e a redução do custo de CT para CV e de CV para ER influenciam no resultado do modelo. No Modelo Otimizado, a taxa R/C cresce em média 37 % quando a produtividade aumenta. No Modelo Alternativo esta melhoria é de 19,2 %.

Figura 4.33 - Comparação entre cenários quanto às melhorias no processo produtivo.

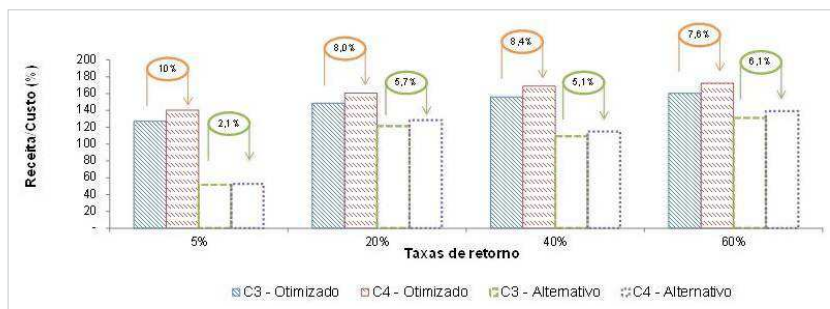


Fonte: as autoras.

6.2 Melhorias no transporte dos PG até os CT

Outra variável que pode sofrer alteração e modificar o resultado do modelo é o custo do transporte dos PG até os CT. Devido à baixa densidade das embalagens, em torno de 65 kg/m^3 (BASSANI, 2011), o custo de transporte torna-se elevado. Como hipótese na construção dos cenários, foi previsto inicialmente que o transporte seria sem compactação, com a densidade do material de 65 kg/m^3 (BASSANI, 2011), o que leva a uma CAC de correção no custo de frete de 4,61. Como segunda hipótese, foi considerado que o material receberia uma leve compactação, chegando a uma densidade de 120 kg/m^3 , e um CAC de 2,5. A Figura 4.34 mostra os resultados dos Cenários 3 e 4 que possibilitam analisar como esta alteração interfere no resultado do modelo. No Modelo Otimizado, a redução em 50 % do custo de transporte de PG até CT gera um aumento médio na taxa de R/C de 8,5 %. No Modelo Alternativo esta melhoria foi de apenas 4,75 %.

Figura 4.34 - Comparação entre cenários quanto às melhorias no transporte de PG até CT



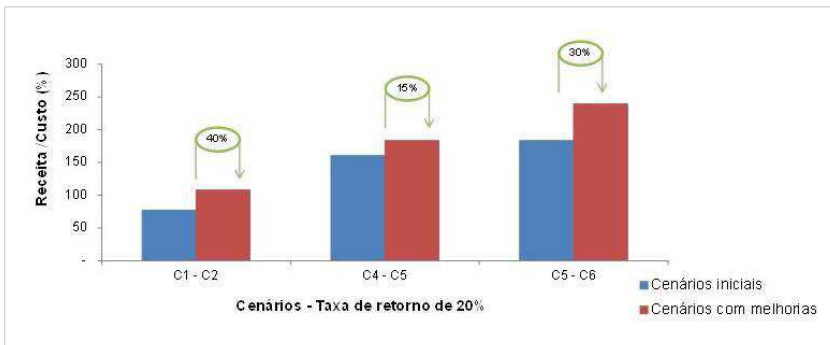
Fonte: as autoras.

6.3 Variação nos preços de comercialização

O preço de venda dos materiais recicláveis para as indústrias recicladoras é outra condicionante importante dos Modelos. O objetivo de instalar CV é a possibilidade de agregação de valor aos materiais, seja apenas como local de armazenamento temporário, aguardando oportunidade de venda ou como local de beneficiamento primário, o que também propicia uma elevação no valor de venda. Nesta segunda alternativa, as CV requerem um aumento tanto nos custos de implantação de operação, quanto nos de transporte e disposição final de rejeitos gerados no processo de beneficiamento. Nos modelos, foi considerado apenas o beneficiamento primário do plástico e do papel, por serem processos mais simples e representarem 69,4 % das embalagens consideradas neste estudo.

Nas Figuras 4.35 e 4.36 são apresentadas as comparações entre cenários onde ocorreram as variações no preço de venda. Na primeira hipótese (aplicada ao C1), não há agregação de valor e o valor de venda é igual ao valor praticado entre as OCMR no Espírito Santo levantado em estudo de campo. O C1 é comparado com o C2, cuja diferença é apenas um aumento de 40 % do valor atual devido à oportunidade de venda criada pela existência de CV. O C4 também foi construído com esta hipótese e é comparado com o C5, onde papel e plástico sofrem beneficiamento primário e são comercializados a um valor três vezes maior que o valor atual. Metal e Vidro mantêm o valor de 40 %. Do cenário 5 para o 6 o valor de comercialização passa para cinco vezes o valor atual.

Figura 4.35 - Comparação entre os cenários quanto às melhorias no preço de comercialização – Modelo Otimizado



Fonte: as autoras. .

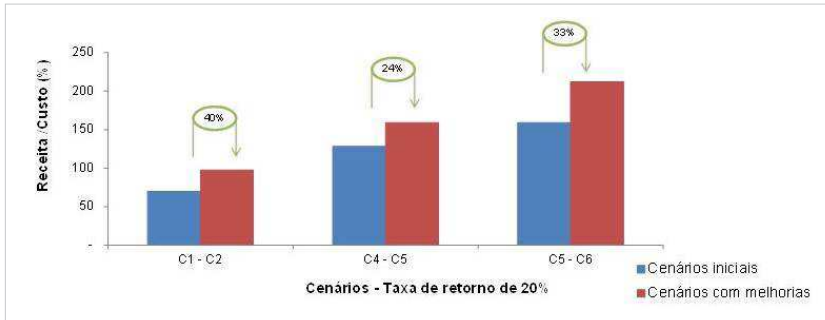
Observa-se que a variação no preço de comercialização provoca um crescimento proporcional na taxa de R/C do C1 para o C2. Ou melhor, um aumento de 40% no preço de venda, levou a um aumento de 40% na taxa de R/C. Mesmo assim, em C2-20% para o Modelo Alternativo a taxa de R/C ainda fica em 97,6% e no Modelo Otimizado em 108,1%. Ou seja, a receita obtida com a comercialização não cobre ou quase não cobre os custos. Portanto, a implantação de CV somente visando o aumento no valor de comercialização dos materiais, sem que haja melhoria no processo, reduz a parcela que deverá ser subsidiada pelos responsáveis pelo SLR, mas as receitas não cobrem totalmente os custos.

Comparando o C4 com C5 o que ocorre é que a CV passa da função de armazenamento temporário para a função de realizar também o beneficiamento primário do papel e do plástico. Estas atividades exigem aumento nos custos de implantação, pois são necessários mais equipamentos e nos de operação, com pessoal e insumos como água e energia, além de despender custos com transporte e disposição final de rejeitos, decorrente do processo de beneficiamento, todos estes estão previstos no modelo. Desta forma, o aumento em três vezes do valor de comercialização do papel e plástico beneficiado em relação ao valor do material apenas triado e prensado, representa um aumento de 15% na taxa de R/C.

Quando se compara o C5 com o C6 a taxa tem um aumento de 33%, porque todos os demais parâmetros continuam os mesmos, só

tendo aumento no valor de venda para cinco vezes do valor do material triado e prensado. E se comparado o C4 com o C6 este aumento é de 65 %. Conseqüentemente, é justificado o investimento na agregação de valor ao material reciclável através de beneficiamento.

Figura 4.36 - Comparação entre os cenários quanto às melhorias no preço de comercialização – Modelo Alternativo



Fonte: as autoras.

No Modelo Alternativo, as relações são semelhantes. O que ocorre do C4 para o C5 é que o aumento na taxa de R/C é de 24 %, que pode ter ocorrido porque os custos neste modelo são mais elevados com todos os CT alocados, a melhoria no preço de venda provoca mais impacto do que no Modelo Otimizado.

7 Limitações da modelagem matemática

A modelagem matemática tem por objetivo representar uma determinada realidade. As definições das restrições dos modelos apresentados têm a função de representar os contornos do estudo, que foram propostos em função das hipóteses adotadas. No entanto, a modelagem realizada apresenta as seguintes limitações que devem ser consideradas em caso de aplicação prática do estudo:

- Foi considerado que as embalagens são representadas pela parcela de recicláveis dos Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD), o que superestima a quantidade de embalagens no sistema. No caso de aplicação prática, o estudo de otimização deve ser precedido de um estudo de composição gravimétrica específico para a modelagem.

- Não foi considerada a etapa de coleta das embalagens, apenas foi analisada a possibilidade de compactação ou não do material coletado;
- As faixas de capacidades dos CT e das CV foram pré-estabelecidas, o que engessa a modelagem na otimização das faixas de capacidades das instalações alocadas;
- Foram considerados que todos os custos de operação são fixos, no entanto uma parcela é composta por custos variáveis;
- Foram consideradas distâncias lineares entre os nós da rede, majorados em 10 %, o que na prática ocorre, mas nem sempre são estes valores;
- As capacidades das empresas recicladoras foram consideradas ilimitadas para todos os tipos de materiais, o que na prática não ocorre, pois cada empresa recicla um tipo de material;
- A capacidade operacional dos Centros de Triagem considerada nos cenários está superior ao encontrado em pesquisa de campo;
- Os valores de venda dos materiais oscilam em função do mercado, o que não foi considerado no modelo.

Conclusões

Este capítulo apresentou aplicações do modelo logístico desenvolvido na realidade de um estado brasileiro, o Espírito Santo, onde foi realizada uma pesquisa de campo. No estudo de campo verificou-se que o estado dispõe de 54 OCMR que foram consideradas como candidatas a CT para o SLR, atendendo à Lei n. 12.30/2010 (BRASIL, 2010).

Como parâmetros de entrada foram considerados os 78 sede de municípios do estado como PG, as 54 OCMR como candidatas os CT, 24 locais candidatos as CV, quatorze polos industriais para comercialização dos materiais recicláveis e 8 aterros sanitários para disposição final dos rejeitos do sistema. Estes locais formaram os nós da rede que formou o SLR de embalagens pós-consumo. Para cada nó foram estabelecidos os seus respectivos parâmetros, bem como os parâmetros relacionados aos fluxos entre eles.

Aqui foram apresentados três modelos. No Modelo Otimizado, os CT e as CV mais estratégicas foram alocados para otimizar a função objetivo do modelo matemático. O Modelo Alternativo foi

desenvolvido para avaliar uma situação possível onde todos os CT candidatos fossem obrigatoriamente alocados. O terceiro modelo é o Modelo Atual que reflete a situação atual onde não existem CV no Espírito Santo.

Para avaliação da sensibilidade dos modelos às variações de parâmetros foram criados e testados os cenários Pessimista, Conservador e Otimista, construídos com base nas condicionantes principais do modelo. Estas são relacionadas à participação da população medida pela taxa de retorno das embalagens para o SLR e às questões operacionais como capacidade produtiva, custos de transporte e valor de comercialização.

Nos modelos, o item que mais contribui para o custo do sistema são os CT, correspondendo a 58,1 % no Modelo Otimizado, 68,78 % no Modelo Alternativo e 76,3 % no Modelo Atual. Em média 93 %, destes gastos são relativos aos custos operacionais, visto que o processo atual, e considerado nos cenários, é totalmente manual, o que requer o uso de muita mão de obra. Sendo assim, para melhorias no sistema este é um fator importante a ser considerado.

O número de CT e CV alocados variam com o cenário e com a taxa de retorno. No Modelo Otimizado foram alocados em média 32,01 % dos CT candidatos e 24,1 % das CV candidatas. No Modelo Alternativo, 100 % dos CT são posteriormente alocadas e a mesma taxa de 24,1 % das CV candidatas se mantém. No Modelo Atual onde não existem CV, a taxa de alocação de CT aumenta para 34,9 %. Percebe-se que, no modelo otimizado, com o aumento da taxa de retorno a maior parte dos CT e das CV alocadas são mantidas, ocorrendo aumento nas faixas de capacidade. Isto permite que o SLR seja projetado para que ele tenha um crescimento gradual à medida que a taxa de retorno aumente. Como a entrada da quantidade de embalagens no modelo é por município, o modelo permite uma reavaliação contínua, com modificações nos parâmetros de entrada de taxa de participação de acordo com a evolução populacional e da coleta seletiva de cada município.

O número de postos de trabalho necessários para o SLR pode ser obtido a partir da alocação dos CT e CV e suas faixas de capacidade. O número de catadores varia em função dos cenários e chega a 3283 postos no C2-60 % e 2401 no C6-60 %, no Modelo Otimizado.

O estudo mostrou que a alocação de CV e CT em locais estratégicos reduzem os custos totais do sistema, o que é evidenciado quando se compara os resultados do C1-20 %, para todos os três modelos, com o EVTE de embalagens (IBAM, 2012). No C1-20 % o Modelo Otimizado apresenta um custo unitário de R\$ 499,37/t e taxa de R/C de 77 %, enquanto o EVTE chega a um custo unitário médio de R\$ 849,01/t e a uma taxa de R/C de 55,4 % para o Brasil, sendo que para municípios de pequeno porte, esta relação é de 40,1 %.

Portanto, o modelo logístico de SLR apresentado mostrou ter uma aplicabilidade real, pois os resultados utilizando dados reais apontou valores otimizados e que refletem para uma organização territorial em ATOS compatível com a realidade do estado, onde a regionalização resultante do modelo se aproxima de outras regionalizações já existentes no Estado (ESPÍRITO SANTO, 2011; SEDURB, 2014).

Foi possível constatar que um SLR de embalagens pode obter receitas que justifiquem os investimentos, não somente nos grandes centros urbanos, mas também em ATOS onde municípios de pequeno e médio porte, desde que estejam organizados de forma a garantir uma quantidade de materiais suficientes que justifiquem a abertura de CT e CV.

A proposição de cenários baseados em condicionantes e hipóteses, que refletem melhorias operacionais nos CT e nas CV e também no transporte de materiais e de rejeitos, permite analisar onde intervenções tendem a ser mais efetivas na minimização da função objetivo proposta.

Referências

BASSANI, P. D. **Caracterização de resíduos sólidos de coleta seletiva em condomínios residenciais**: estudo de caso em Vitória (ES). 2011, 187 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília – DF, n. 147, p. 3, 03 ago. 2010.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Elementos para a organização da coleta seletiva e projeto de galpões de triagem**. Brasília, 2008. 53 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Melhoria da Gestão Ambiental Urbana no Brasil – BRA/OEA/08/001. **Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios Públicos**. Brasília, 2011. 75 p.

ESPÍRITO SANTO. Secretaria de Estado de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano (SEDURB). Espírito Santo sem Lixão. 2014. Disponível em: <http://www.sedurb.es.gov.br/default.asp>. Acesso em: 13 de ago. 2015.

ESPÍRITO SANTO. Lei Ordinária n. 9.768 de 28/12/2011. Dispõe sobre a definição das Microrregiões e Macrorregiões de Planejamento no estado do Espírito Santo. [S.l.: s.n.]: 2011. **Diário Oficial do Espírito Santo**: seção ,Vitória, 2011, n.0 , p.9, 28 dez. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação da logística reversa por cadeia produtiva** - Componente: Produtos e embalagens pós-consumo. 2012. Disponível em: http://www.sinir.gov.br/documents/10180/13560/EVTE_PRODUTOS_EMBALAGENS_POS_CONSUMO/. Acesso em: 13 set. 2014.

Capítulo 5

Discussões gerais e conclusões finais

Introdução

Este estudo tem como objetivo geral o desenvolvimento de um modelo logístico para a localização de Centros de Triagem (CT) e Centrais de Valorização (CV) como parte integrante de Sistemas de Logística Reversa (SLR) de embalagens pós-consumo em Arranjos Territoriais Ótimos (ATOS).

O trabalho foi desenvolvido em quatro etapas metodológicas principais. Estas etapas foram individualmente apresentadas em quatro capítulos estruturados de forma independente, visando garantir um melhor detalhamento da revisão de literatura, metodologia, resultados e conclusões.

Neste Capítulo final são apresentados os principais itens discutidos nos quatro capítulos anteriores. A integração entre os conteúdos abordados individualmente nos quatro capítulos é realizada, de forma a sintetizar as principais contribuições de cada um.

São apresentadas também as conclusões finais deste estudo, destacando as constatações obtidas em cada etapa do trabalho, que permitiram um avanço gradativo e encadeado, resultando em um modelo logístico para SLR de embalagens pós-consumo, desenhado matematicamente por meio de uma função objetivo e restrições de contorno que representassem a realidade brasileira e verificada por meio de um estudo de campo no estado do Espírito Santo.

Por fim são apresentadas recomendações para estudos futuros que possam contribuir para uma evolução no estudo da logística reversa obrigatória de embalagens e produtos pós-consumo no Brasil, atendendo ao que determina a Lei n. 12.305/2010 que define a

Logística Reversa (LR) como um instrumento de econômico e social. Por outro lado, outros SLR não obrigatórios, organizados de forma associativa ou individualizados também podem se valer da metodologia e contribuições deste estudo para que sejam implementadas e gerem ganhos econômicos, sociais e ambientais para as empresas e seus clientes.

Discussões Gerais

A logística reversa ainda é, de maneira geral, uma área pouco explorada pelo setor produtivo, que, na maioria das vezes, não consegue visualizar os ganhos decorrentes de sua implantação, seja no campo econômico, ambiental ou social. Este fato é evidenciado pela pouca adesão por parte das empresas, mesmo quando obrigatório. Caso contrário, já teríamos muitos casos de sucesso para comentar.

Porém, fatores externos às empresas, como a maior exigência por parte do consumidor, a necessidade de reduzir custos e a força de novas leis ambientais, têm impulsionado este processo no Brasil e no mundo. Esses fatores fazem com que cresça a necessidade de se conhecer melhor a logística reversa, seus fluxos, gargalos e os indicadores de desempenho, os quais irão mensurar o sucesso ou insucesso das estratégias aplicadas.

Vários estudos têm sido realizados com direcionamento a produtos específicos, sendo na maioria das vezes, estudos de caso ou utilizam-se dados reais para validação de modelos propostos. Estes estudos trazem grande contribuição, pois desenvolvem uma revisão de literatura específica e permite o aprofundamento das discussões relativas ao produto, entretanto dificulta a generalização de sua aplicação. Quanto aos estudos de otimização de redes de logística reversa, têm-se uma produção em estudo sobre roteiros de coleta e transporte, sejam elas realizada pelo próprio fabricante ou por empresas terceirizadas.

A logística reversa pós-consumo geralmente não é realizada de forma espontânea, salvos os casos em que há um estudo de viabilidade financeira que justifique os gastos, mas são casos isolados. A LR pós-consumo surgiu na década de 1990 na Europa e nos EUA simultaneamente, impulsionada pela consciência ambiental e mais

fortemente por restrições das regulamentações. No cenário internacional são reconhecidas algumas iniciativas de políticas públicas voltadas para a LR de produtos pós-consumo. No entanto, ainda são poucas as avaliações sobre seus resultados e os dados disponíveis não possibilitam a uma síntese razoavelmente comparativa sobre o alcance dessas iniciativas.

A LR de produtos pós-consumo, exige a consolidação de um novo mercado formado um SLR com novos papéis e responsabilidades para os vários atores envolvidos.

No Capítulo 1 é apresentado um panorama sobre os SLR brasileiros e é analisado o desempenho dos sistemas em operação no Brasil e os Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE) dos sistemas que estão em fase de implantação, considerando o novo marco regulatório, Lei n. 12.305/2010.

Também são analisados no Capítulo 1 os dados sobre os SLR em operação no Brasil. Observa-se que as taxas de retorno apresentadas nos relatórios institucionais dos gestores dos programas de LR são elevadas. No entanto, o percentual de municípios atendidos é relativamente baixo. Esses números refletem a política adotada pelo Governo Federal, estabelecidos nos instrumentos de regulação, de priorização de atendimento da LR em municípios de maior porte.

Os dados dos EVTE elaborados para subsidiar os novos SLR mostram que, em termos de população atendida, a tendência é de um percentual elevado, que poderá refletir em percentuais elevados de materiais recolhidos pelos sistemas. Esse fato se contrapõe com o percentual de municípios atendidos, repetindo o mesmo cenário observado nos sistemas já em operação, com atendimento prioritário nos municípios de maior porte com população superior a cem mil habitantes.

Na análise dos EVTE, observou-se a falta de padronização dos estudos, em que alguns deles apresentaram apenas os investimentos fixos iniciais, e outros fizeram a projeção ao longo do tempo, considerando metas progressivas e adesão da população. Esta falta de padronização dos dados dificulta uma análise comparativa mais detalhada.

O EVTE de embalagens pós-consumo foi considerada uma cobertura de 100 % de em relação à população atendida sem que haja pontos de coleta em todos os municípios, e sem que haja

previsão de como seria o atendimento onde não se tem ponto de coleta. Por outro lado, ele prevê que 100 % dos municípios serão atendidos com serviço de coleta seletiva porta-a-porta ofertada pelos Sistemas Municipais de Coleta Seletiva (SMCS). No entanto, as hipóteses assumidas são extremamente distantes da realidade brasileira atual.

Quando se analisa a infraestrutura existente no Brasil para recebimento de produtos que deverão ser recolhidos pelos SLR observa-se um parque instalado concentrado nas regiões Sul e Sudeste, tanto para indústrias recicladoras como para empresas de tratamento de resíduos e de disposição final de rejeitos. Essa diferença regional irá refletir nos custos logísticos entre as regiões do país e poderá impactar no alcance das metas dos sistemas.

Portanto, após analisar o panorama atual do Brasil em termos de propostas para implantação dos SLR de embalagens e produtos pós-consumo, a expectativa é que os SLR, quando implantados, não sejam geograficamente distribuídos de forma igualitária, e haverá uma concentração de pontos fixos de recebimento em municípios com população mais representativa e com maior adensamento populacional. Isto fará com que a taxa de retorno e eficiência do sistema seja elevada, sem condições de atender uma boa parcela dos municípios brasileiros, como ocorrem nos demais sistemas implantados. Repete-se, portanto, o cenário do saneamento básico brasileiro de água e esgoto em que se têm sistemas implantados apenas onde existe possibilidade de remuneração do serviço. Lembra-se aqui que, como as embalagens são parte dos RSU, trata-se também de saneamento básico.

No Brasil os SLR de embalagens pós-consumo já trazem um enraizamento nos quais estão inseridas as Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis (OCMR) e empresas que realizam triagem e beneficiamento primários destes materiais, muitas vezes similares ao que é realizado pelas OCMR, e empresas recicladoras. Também há de se considerar que paralelamente ao SLR de embalagens existem os SMCS que coletam as mesmas embalagens previstas para serem recolhidas pelos SLR de embalagens pós-consumo. Em vista disto, estes dois sistemas terão que coexistir, seja de forma paralela ou integrada. Fato é que as OCMR são o elo entre os dois sistemas, e por obrigação legal deverão ser prioritariamente inseridos nestes dois sistemas.

Por outro lado, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) traz um importante conceito que visa a ampliar a economia de escala no gerenciamento dos resíduos sólidos por meio de consórcios públicos (BRASIL, 2010). Esta forma de organização territorial permite agrupar municípios, principalmente de pequeno e médio porte, visando garantir uma quantidade maior de resíduos e, portanto, diluindo os custos fixos dos sistemas de coleta, transporte, tratamento/valorização de resíduos e disposição final dos rejeito. Estes consórcios por sua vez podem ser denominados Arranjos Territoriais Ótimos (ATOS).

O conceito de ATOS pode ser expandido para outras áreas relacionadas a Resíduos Sólidos, mesmo que a gestão e operação estejam a cargo do setor empresarial, como os SLR, com o objetivo de ganho de escala.

Os ATOS relativos à SLR poderá ser uma parte da área de um município grande, ou a área formada por vários municípios pequenos e médios, que produza resíduos sólidos com potencial de reciclagem, em boa escala, que viabilize econômica e financeiramente as instalações de unidades de triagem, de tratamento primário e de indústrias recicladoras.

Diante deste cenário, a contribuição deste livro é o desenvolvimento um modelo logístico para localização de CT e CV necessárias à implantação de SLR de embalagens em ATOS, que necessariamente incorpore os municípios de pequeno porte e otimizem os custos dos SLR e a receita auferida com a comercialização dos materiais recicláveis.

Localizar ou alocar instalações é uma importante decisão estratégica a ser tomada por organizações, sejam privadas ou públicas. Em uma situação ideal, antes de uma facilidade ser instalada fisicamente, deveria ser realizado um estudo de localização para definir o melhor local das instalações e suas respectivas capacidades e fluxos.

Para a construção deste modelo logístico foi desenvolvida uma metodologia que inclui a construção de um modelo conceitual, o desenvolvimento de uma modelagem matemática que represente o modelo conceitual e todos os seus contornos, e o desenvolvimento computacional desde modelo matemático em um *solver*.

O modelo logístico proposto e apresentado no Capítulo 2 visa à localização de instalações destinadas à logística reversa de embalagem pós-consumo com objetivo de minimizar os custos de instalação

e operacionais das instalações e seus fluxos, bem como maximizar a receita com a comercialização dos materiais reaproveitáveis.

As questões relacionadas à logística reversa de embalagens pós-consumo estão em uma categoria de problemas de cunho ambiental em que a modelagem matemática e computacional pode subsidiar decisões estratégicas. Além de possibilitar a abordagem de questões relacionadas à localização de instalações, roteirização, produção e estoques, a modelagem matemática é uma ferramenta que pode ser utilizada como critério técnico com bases científicas para a proposição de metas em instrumentos de regulação da LR.

A logística reversa pode e deve se apoderar de ferramentas já consolidadas na logística de suprimento tradicional, incorporando as questões de cunho ambiental e social que norteiam a PNRS. Quando se trata dos SLR obrigatórios, previstos em instrumentos legais, têm-se diversos interessados, como setores industriais, responsáveis por implantar os SLR, as empresas recicladoras, os consumidores e os catadores de materiais reaproveitáveis, além do poder público. Muitas vezes as demandas que necessitam ser equacionadas são conflitantes, e as decisões tomadas são pautadas em critérios subjetivos. Desta forma, ter um critério técnico pode ser estratégico para o tomador de decisões.

A partir da concepção de um modelo conceitual, seis perguntas foram elaboradas a fim de nortear a construção do modelo matemático:

- Quais CT e CV deverão ser abertos?
- Para qual CT aberto às embalagens geradas em um município deverão ser destinadas para triagem?
- Para qual CV deverão ser enviados os resíduos submetidos à triagem no CT para agregação de valor?
- Para quais empresas recicladoras deverão seguir os materiais das CV?
- Para quais empresas de disposição final deverão seguir os rejeitos dos CT?

Para responder estas perguntas, um modelo matemático foi desenvolvido por meio de Programação Linear Inteira Mista (PLIM), cujo objetivo é minimizar os custos do SLR e maximizar as receitas auferidas com a comercialização dos materiais reaproveitáveis. A função-objetivo do problema é composta por cinco parcelas, divididas em dez sub-parcelas, que representam: o custo de instalação

e operação dos CT e CV, de disposição final dos rejeitos, de transporte entre os nós da rede e receita obtida com a venda dos materiais para indústrias recicladoras.

No modelo são apresentadas seis variáveis de decisão, incluindo a localização dos CT e CV e os quantitativos de fluxos entre PG até CT, CT até CV, CV até ER e o rejeito dos CT até AS.

Para que o modelo se adequasse mais precisamente à realidade foram desenvolvidas vinte restrições que deram os contornos do problema, de forma a reproduzir matematicamente as situações relacionadas à coleta, transporte e tratamento de materiais recicláveis e disposição final de rejeitos. Para a construção do modelo também foram elencados vinte parâmetros que foram dimensionados de forma a representar o mais próximo possível à realidade.

Para obter estes parâmetros foi realizado um levantamento de dados secundários e uma pesquisa de campo no Espírito Santo. A pesquisa de campo foi realizada no período de 15 de março de 2015 a 15 de dezembro de 2015. Para alguns parâmetros, quando não foi possível obter os dados reais em campo, ou quando os dados se mostraram muito frágeis, foram utilizados dados da literatura.

Toda metodologia desenvolvida para a obtenção dos dados na pesquisa de campo, bem como os secundários, são apresentados no Capítulo 3. Os dados foram organizados e estruturados de modo a atender os pré-requisito do modelo conceitual e os parâmetros elencados. Neste estudo, foram considerados seis conjuntos de dados, sendo cinco de nós da rede logística estabelecida e um de tipos de materiais das embalagens.

Os conjuntos de nós foram formados por setenta e oito Pontos de Geração (PG) que representam todos os municípios do estado do Espírito Santo ; cinquenta e quatro locais candidatos a CT, correspondente às OCMR existentes no estado em 2015. Para os CT foram definidas quatro faixas de capacidade possíveis de serem escolhidas. Foram definidas também vinte e quatro locais candidatos a CV, também com quatro faixas de capacidade, representando as áreas do projeto “ Espírito Santo sem Lixão” e centrais de tratamento de resíduos existentes. Devido às inconsistências encontradas no levantamento de dados sobre as empresas recicladoras existentes no Espírito Santo, estes nós relacionados às ER foram

representados por 14 polos industriais instalados no Espírito Santo. O conjunto de AS foi formado por 8 aterros sanitários existente no estado. No sexto conjunto, formado pelos materiais recicláveis, considerou-se 4 tipos de materiais das embalagens (papel, plástico, metal e vidro), além do rejeito.

Para obtenção de informações ao processo de triagem foi realizada uma pesquisa junto às OCMR. Esta etapa foi realizada juntamente com o LAGESA (UFES) e Instituto Sindimicro. Como dado relevante, destaca-se a identificação das fontes de obtenção dos materiais submetidos à triagem pelas OAMCR, sendo estes originários de empresas, prefeitura, catação na rua e doações de moradores, bem como são advindos de outros municípios diferentes de onde está instalado, o que indica que o que está sendo proposto no modelo, com fluxo de materiais entre municípios já ocorre na prática.

A produtividade e a renda das associações também foram informações importantes. A análise da produtividade aponta para um valor médio de 85,2 kg/catador/dia ou 1.745,23 kg/catador/mês, considerando todas as associações pesquisadas. Este valor difere do valor de 200 kg/catador/dia, apresentado por Brasil (2008), utilizado também por IBAM (2012). Quanto à renda, a pesquisa aponta para um valor médio mensal de R\$ 767,30/catador/mês, com valores máximos e mínimo de R\$ 1.625,00 e R\$ 80,00, respectivamente. Na composição de custos do modelo foi considerado a remuneração de um salário mínimo, férias, décimo terceiro e todos os encargos sociais e produtividade base inicial de 200 kg/catador/dia para fins de comparação com o EVTE (IBAM, 2012).

Para a definição de áreas candidatas a CV foram analisadas ao todo vinte e quatro áreas sendo dezenove áreas do projeto do Governo do Estado “Espírito Santo sem Lixão” e cinco áreas onde estão localizadas centrais de tratamento de resíduos licenciados no Espírito Santo.

Para o cálculo dos custos de instalação e de operação dos CT e CV foram elaboradas planilhas de composição de custo para as quatro faixas de capacidade propostas. Para a composição dos custos de instalação e operação de CT e CV foram considerados os custos fixos e os custos variáveis. Os custos fixos representam os gastos com licenciamento ambiental, compra de maquinário e equipamentos, construção do prédio administrativo e galpão, material de limpeza, salários, depreciação, entre outros. Os custos variáveis se referem

ao gasto com insumos utilizados para o beneficiamento dos materiais como, água, energia, telefone, combustível, equipamentos de proteção individual, e outros.

Para mapeamento das empresas recicladoras de embalagens foi realizado inicialmente uma pesquisa com aplicação de um *survey*, mas com a baixa adesão de respondentes e inconsistências dos dados. Decidiu-se por utilizar como nó os polos industriais existentes no Espírito Santo. Esta mudança também favoreceu o modelo, pois foi possível avaliar quais os polos industriais existentes são mais atrativos para a instalação de empresas recicladoras e o quantitativo de material esperado para cada polo, visto que o SLR ainda não existe no estado, um novo mercado que poderá ser iniciado.

Com os resultados do *survey* foi possível concluir que existe uma fragilidade dos bancos de dados sobre empresas recicladoras e até mesmo nos órgãos ambientais, pois muitas que se declaram como recicladora exercem, na verdade, atividades de ferro velho, aparistas, triagem, prensagem, armazenamento e transporte de resíduos. Aponta também para a necessidade de construção de normas que ofereçam definições e conceitos sobre as diferentes atividades da cadeia de valor da reciclagem.

Para o cálculo de distâncias e os custos de transporte entre os nós da rede, foram mapeados a localização de todos os nós da rede em coordenadas UTM e calculada a distância entre as coordenadas, acrescido de 10 %. Para o cálculo do custo foram considerados os custos de transporte obtidos conforme o Índice Nacional de Custos de Transporte de Carga Lotação (INCT-L) de dezembro de 2015 (NTC, 2015). A densidade considerada para os materiais transportados de PG e CT foi de 65 kg/m^3 (BASSANI, 2011), entre CT e CV e entre CV e ER foi de 200 kg/m^3 (BRASIL, 2011) e para o rejeito foi de 230 kg/m^3 (IBAM, 2009). Desta forma, os Coeficientes de Acréscimo de Cubagem (CAC) adotados foram 4,61, 1,5 e 1,3 respectivamente.

Para calcular as estimativas das receitas auferidas com a venda dos materiais recicláveis, foram considerados os valores médios obtidos em pesquisa com as OCMR. Quanto aos valores de venda, observa-se que há uma diferença entre os valores médios praticados pelas associações do estado e valores médios nacionais (CEMPRE, 2015). Chegando a uma diferença de 50,5 % para a embalagem do tipo “tetrapack”, 16,8 % para o Plástico tipo PET e 49,9 % para o vidro. Para este estudo são considerados como valores de comercialização,

os valores médios de venda praticados pelas OCMR do Espírito Santo, a saber, papel: R\$ 214,9/t; plástico: R\$ 625,9/t; metal: R\$ 1471,6/t; e vidro: R\$ 61,7/t.

Todos estes resultados foram organizados em forma de vetores e matrizes na linguagem utilizada pelo *solver* IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio* (IBM, 2015).

No Capítulo 4 foi apresentada a aplicação do modelo matemático descrito no Capítulo 2, utilizando os parâmetros de entrada obtidos a partir do estudo de campo, apresentados no Capítulo 3.

Neste capítulo são discutidos três modelos, sendo o primeiro o Modelo Otimizado, baseado em todas as premissas discutidas no Capítulo 2, cujo objetivo é alocar CT e CV em locais estratégicos, bem como os melhores fluxos entre os nós da rede que se estabelece. O segundo foi o Modelo Alternativo, onde todos os CT candidatos são obrigatoriamente alocados. Desta forma, todas as OCMR são inseridas no sistema. O terceiro foi o Modelo Atual, onde os materiais recicláveis sejam encaminhados diretamente dos CT para as ER e desta forma as CV não são alocadas. Esta situação é tratada como Modelo Atual, pois não considera a existência de CV no Espírito Santo.

De forma a analisar a sensibilidade do modelo às variações que podem ocorrer em função dos parâmetros de entrada foram construídos cenários. Estes, construídos com base na variação da taxa de retorno das embalagens por parte da população, em aspectos operacionais do sistema como a produtividade da associação de catadores, os custos de transporte e preço de venda dos materiais para indústrias recicladoras. Assim, os cenários foram denominados de Cenário Conservador, Cenário Pessimista e Cenário Otimista.

Para avaliação do modelo matemático quanto aos aspectos operacionais foram testados seis cenários. O C1 é considerado Pessimista, o C2 e o C3 são Conservadores e o C4, o C5 e o C6 são Otimistas. Todos os cenários foram analisados para taxas de retorno do potencial de embalagens geradas pela população urbana do município de 5 %, 20 %, 40 % e 60 %.

Nos modelos o item que mais contribui para o custo do sistema são os CT, correspondendo a 58,1 % no Modelo Otimizado, 68,78 % no Modelo Alternativo e 76,3 % no Modelo Atual. Em média, 93 % destes gastos são relativos aos custos operacionais, visto que o

processo atual, e considerado nos cenários, é totalmente manual, o que requer o uso de muita mão de obra. Portanto, para melhorias no sistema este é um fator importante a ser considerado.

O número de CT e CV alocados variam com o cenário e com a taxa de retorno. No Modelo Otimizado foram alocados em média 32,01 % dos CT candidatos e 24,1 % das CV candidatas. No Modelo Alternativo, 100 % dos CT são alocadas e a mesma taxa de 24,1 % das CV candidatas se mantém. No Modelo Atual onde não existem CV, a taxa de alocação de CT aumenta para 34,9 %.

O estudo mostrou que a alocação de CV e CT em locais estratégicos reduzem os custos totais do sistema, o que é evidenciado quando se compara os resultados do C1-20 %, para todos os três modelos, com o EVTE de embalagens (IBAM, 2012). No C1-20 % o Modelo Otimizado apresenta um custo unitário de R\$ 499,37/t e taxa de R/C de 77 %, enquanto o EVTE chega a um custo unitário médio de R\$ 849,01/t e a uma taxa de R/C de 55,4 % para o Brasil, sendo que para municípios de pequeno porte, esta relação é de 40,1 %.

Portanto, o modelo logístico apresentado mostrou ter uma aplicabilidade real, pois os resultados utilizando dados reais apontou valores otimizados e que refletem para uma organização territorial em ATOS compatíveis com a realidade do estado, em que a regionalização resultante do modelo se aproxima de outras regionalizações já existentes no Estado (ESPÍRITO SANTO, 2011; SEDURB, 2014).

A partir do C3, os três modelos discutidos neste trabalho apresentam resultados positivos, com taxa R/C superior a 100 %. O Modelo Otimizado sempre se sobressai, pois ele tem a possibilidade alocar os melhores CT e CV além dos melhores fluxos, o que é limitado nos demais modelos. Mas pode-se concluir que independente do modelo adotado, a utilização de um modelo logístico que defina as capacidades e os fluxos, pode levar a um resultado mais satisfatório do que um planejamento baseado apenas na quantidade de resíduos.

Quanto ao número de postos de trabalho, o Modelo Otimizado requer um número menor de postos de trabalho que o Modelo Alternativo, mas a taxa de R/C é maior. Comparando o Modelo Otimizado com o Atual, o primeiro requer um número maior de postos de trabalho, e da taxa de R/C. Portanto, para estes dois indicadores, o Modelo Otimizado se destaca. Quando comparado o Modelo

Alternativo com o Modelo Atual, o primeiro requer mais posto de trabalho. Os dois modelos apresentam taxas de R/C muito próximas, destacando-se o modelo Alternativo.

Conclusões Finais

Este estudo aponta uma série de desafios para o desenvolvimento e operacionalização dos SLR de embalagens e produtos pós-consumo no Brasil. Questões como adequação de legislação e normatização, aspectos tributários, instrumentos financeiros e falta de critérios no licenciamento ambiental das atividades relacionadas à cadeia de valor da reciclagem são gargalos que necessitam ser superados para seu avanço. Além disto, as diferenças regionais, em termos de infraestruturas instaladas para tratamento de resíduos e destinação final de rejeitos, podem fazer com que os SLR obrigatórios no Brasil não sejam implementados de forma igualitária em todo o território nacional.

Avaliando os SLR já em operação, conclui-se que os indicadores de desempenho de SLR devem medir não apenas as taxas de retorno dos materiais, mas também a sua cobertura e abrangência. Os resultados de relatórios institucionais e governamentais sobre os SLR já implantados no Brasil apontam para boas taxas de retorno de produtos, porém com poucos municípios atendidos, visto que o atendimento é prioritário para os grandes centros urbanos.

Objetivando apresentar uma metodologia que dê suporte à tomada de decisões quanto à escolha de melhores locais para localização de instalações destinadas à logística reversa, um modelo logístico conceitual e matemático foi proposto.

O modelo tem como objetivo principal a localização de instalações destinadas à logística reversa de embalagens, com alocação de CT e CV, permitindo que diferentes tipos de materiais entrem no sistema seguindo fluxos diferentes, em função das restrições das Empresas Recicladoras (ER). A utilização de parâmetros de entrada no modelo a partir de dados reais coletados no Espírito Santo possibilitou uma representação de forma mais fidedigna da realidade e demonstrou a aplicabilidade do Modelo Otimizado proposto.

A comparação do Modelo Otimizado com outras duas situações possíveis de ocorrerem em relação à alocação dos CT e das CV, o

Modelo Alternativo e o Modelo Atual, possibilitou ampliar a discussão em termos de sua aplicabilidade, mostrando que a organização de ATOS para SLR de embalagens pode possibilitar a universalização deste serviço à população, com atendimento aos municípios de pequeno e médio porte.

A construção dos Cenários Pessimista, Conservador e Otimista, construídos com base nas principais condicionantes do modelo, possibilitou avaliar a sua sensibilidade quanto à participação da população, à capacidade produtiva dos CT e CV, aos custos de transporte e aos valores de comercialização alcançados.

Nos cenários analisados o item que mais contribui para o custo do sistema foram os CT, correspondendo a 58,1 % no Modelo Otimizado, 68,78 % no modelo Alternativo e 76,3 % no modelo Atual. Em média 93 %, destes gastos são relativos aos custos operacionais, visto que o processo atual é totalmente manual, o que requer o uso de muita mão de obra. Portanto, para melhorias no sistema este é um fator importante a ser considerado. O estudo mostrou que a otimização do SLR com a alocação de CV e CT em locais estratégicos reduz os custos totais dos sistemas, o que é evidenciado quando se compara os resultados do C-20 %, para todos os três Modelos, com o EVTE de embalagens.

O número de CT e CV alocados variam com o aumento da taxa de retorno e com o cenário. Dessa forma o modelo pode ser organizado iniciando com instalações de menor porte e aumentando sua capacidade à medida que a quantidade de embalagens aumente. Como a entrada da informação, quanto à quantidade de embalagens é por município, isto permite que o modelo seja reavaliado continuamente, com modificações nos parâmetros de acordo com o crescimento da participação em cada município individualmente.

O que deve ser observado é que, com a implementação de melhorias no sistema, principalmente as que refletem na produtividade, a demanda por CT e CV é reduzida, bem como é reduzido o número de postos de trabalho. De forma análoga, havendo um aumento na taxa de retorno, o número de CT e CV podem ser mantidos, desde que haja melhorias na taxa de produtividade nessas instalações.

É importante destacar que esta pesquisa, apesar de aplicada às embalagens pós-consumo e de ter como local de estudo de campo o estado do Espírito Santo, pode ser aplicada em locais com

características territoriais semelhantes, bem como a outros produtos pós-consumo, como eletroeletrônicos, medicamentos vencidos, pilhas e baterias, pneus, embalagens de produtos perigosos, dentre outros, desde que definidos os parâmetros de entrada e da verificação das restrições de contorno do modelo.

Trabalhos futuros

Durante a construção deste trabalho foi possível verificar pontos que necessitam de um melhor aprofundamento em termos de estudos científicos sobre SLR e que poderiam fortalecer e incrementar os resultados aqui alcançados. Dentre os pontos observados destacam-se:

- A definição de critérios técnicos e conceitos para as atividades da cadeia de valor da reciclagem, a fim de padronizar e facilitar a organização de dados sobre a infraestrutura existente para atender aos SLR;
- O mapeamento e formação de base de dados confiável sobre as instalações existentes para reciclagem e tratamento de resíduos e disposição final de rejeitos de forma a reduzir o tempo de coleta de dados de campo para estudos logísticos para outros SLR;
- O estudo de indicadores de sustentabilidade para sistemas de logística reversa a fim de se ter uma ferramenta de monitoramento e avaliação da efetividade dos SLR existentes;
- A definição de critérios para localização de Pontos de Entrega Voluntária de produtos pós-consumo de forma a se ter uma metodologia que facilite a tomada de decisão sobre locais mais adequados para que a taxa de retorno de materiais seja otimizada;
- O estudo de roteirização incluindo a etapa anterior à coleta seletiva em PEV de forma a melhorar a otimização dos SLR a partir da definição de rotas mais adequadas;
- A ampliação do estudo de localização de infraestruturas para SLR, incluindo mais uma camada tendo os PEV como uma variável de decisão do modelo.
- A realização de um estudo mais aprofundado sobre os métodos computacionais de solução dos modelos propostos, a fim de obter um desempenho mais eficaz, no que diz respeito ao tempo gasto para obter as soluções encontradas e para aplicações do modelo a cenários que requerem um maior processamento de dados;

- A necessidade de avaliar o modelo desenvolvido para outros materiais cuja logística reversa é obrigatória como medicamentos inservíveis, eletroeletrônicos, pilha e baterias, embalagens de agrotóxicos e de óleos lubrificantes contaminados, dentre outros.

Referências

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE DE CARGAS E LOGÍSTICA (NTC). Departamento de Custos Operacionais e Pesquisas Técnicas e Econômicas (DECOPE). **Relatório mensal do INCTF e o INCTL**: dezembro. 2015. Disponível em: http://www.setcarfs.com.br/inct/inct_dezembro2015.pdf. Acesso em: 20 jun. 2016.

BASSANI, P. D. **Caracterização de resíduos sólidos de coleta seletiva em condomínios residenciais**: Estudo de caso em Vitória (ES). Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília – DF, n. 147, p. 3, 03 ago. 2010.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Elementos para a organização da coleta seletiva e projeto de galpões de triagem**. Brasília, 2008. 53 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Melhoria da Gestão Ambiental Urbana no Brasil – BRA/OEA/08/001. **Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios Públicos**. Brasília, 2011. 75 p.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Base de dados das empresas cadastradas como recicladoras**. 2015 Disponível em: <http://cempre.org.br/servico/mercado2015>. Acesso em: 15 dez. 2015.

ESPÍRITO SANTO. Secretaria de Estado de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano (SEDURB). **Espírito Santo sem Lixão**. 2014. Disponível em: <http://www.sedurb.es.gov.br/default.asp>. Acesso em: 13 de ago. 2015.

ESPÍRITO SANTO. Lei Ordinária n. 9.768 de 28/12/2011. Dispõe sobre a definição das Microrregiões e Macrorregiões de Planejamento no estado do Espírito Santo. [S.l.: s.n.]: 2011. **Diário Oficial do Espírito Santo**: seção 1, Vitória, 2011, n.0 , p.9 , 28 dez. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação da logística reversa por cadeia produtiva** - Componente: produtos e embalagens pós-consumo. 2012. Disponível em: http://www.sinir.gov.br/documents/10180/13560/EVTE_PRODUTOS_EMBALAGENS_POS_CONSUMO/. Acesso em: 13 set. 2014.

MONTEIRO, José Henrique Penido (Coord.). **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2009.

Sobre as autoras

Maria Claudia Lima Couto

Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recurso Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais. Engenheira Civil e Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Professora do Instituto Federal do Espírito Santo — *Campus Vitória*. Vice-diretora da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental — Seção Espírito Santo (2021-2023). Coordenadora da Câmara técnica de resíduos sólidos da Abes (ES) desde 2019. Coordena vários projetos multidisciplinares de pesquisa e extensão. Parecerista de periódicos nacionais e internacionais indexados na área de ciências ambientais - Engenharias I.

Liséte Celina Lange

Doutora em Tecnologia Ambiental pelo Queen Mary and Westfield College, e Mestre em Tecnologia Ambiental, Imperial College, London University, Inglaterra. Professora Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais. Líder do Grupo de Pesquisa em Resíduos sólidos (SIGERS) da UFMG/CNPq desde 2001. Coordena vários projetos multidisciplinares financiados pelo CNPq, Finep e Funasa. Parecerista de periódicos nacionais e internacionais indexados na área de ciências ambientais - Engenharias I. Editora da Seção de Resíduos Sólidos da Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Consultora ad hoc do CNPq, CAPES, FUNASA, FINEP, FAPEMIG, FAPERJ, FAPESB. Professora Visitante Senior no Instituto Politecnico de Viana do Castelo - Portugal 2021-2022.



Edifes

