

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS DE CURITIBA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA E MATERIAIS
PPGEM

OSVALDO VERUSSA JUNIOR

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA LOGÍSTICA REVERSA DE PRODUTOS
ELETROELETRÔNICOS: ESTUDO DE CASO**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2012

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS DE CURITIBA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA E MATERIAIS
PPGEM

OSVALDO VERUSSA JUNIOR

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA LOGÍSTICA REVERSA DE PRODUTOS
ELETROELETRÔNICOS: ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Materiais do Departamento de Ensino e Pesquisa em Pós-Graduação, do Campus Curitiba, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de Concentração: Engenharia de Manufatura.

Orientadora: Profa. Dra. Cássia Maria Lie Ugaya

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Abreu Rodrigues

CURITIBA

2012



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Gerência de Pesquisa e Pós-Graduação
Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA LOGÍSTICA REVERSA DE PRODUTOS ELETROELETRÔNICOS: ESTUDO DE CASO

por

OSVALDO VERUSSA JUNIOR

Esta Dissertação foi apresentada em 29 de agosto de 2012 como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Cássia Maria Lie Ugaya

Profa. Orientadora

Luiz Carlos Abreu Rodrigues

Prof. Coorientador

Prof. Alexandre Magno de Paula Dias

Membro titular

Prof. Leandro Magatão

Membro titular

Profa. Carla Cristina Amodio Estorilio

Membro titular

AGRADECIMENTOS

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR de modo geral e especificamente ao Programa de Pós - Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais – PPGEM, bem como ao Laboratório de Metrologia Mecânica – LAMEC pela estrutura disponibilizada e pelas oportunidades de se obter conhecimentos diversos durante o tempo de convivência com os professores, estudantes e funcionários.

À minha família pela compreensão dos limites e ausências ocasionados durante meu estudo, que apesar disso, apoiaram o meu aprendizado visualizando o contínuo crescimento pessoal e profissional.

Aos colegas do mestrado pela amizade e contribuição por meio da vivência diária e o intercâmbio de informações técnicas e opiniões durante as etapas de desenvolvimento deste trabalho.

À Prof.^a Dra. Cássia pela orientação do trabalho desenvolvido e pelas sugestões e oportunidades de obtenção de conhecimentos durante a realização do mesmo.

Ao Prof. Dr. Luiz Carlos pela coorientação, sugestões e oportunidade de acesso a novos conhecimentos, bem como pelo incentivo ao longo da jornada.

Finalmente, gostaria também de fazer meus sinceros agradecimentos aos professores do programa de pós-graduação e aos Profs. Drs. Milton Borsato e Paulo Reais pelas sugestões, tão úteis e importantes, a mim apresentadas durante a qualificação do projeto.

RESUMO

VERUSSA, Osvaldo Jr. **Avaliação Ambiental da Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos: Estudo de Caso.** 2012. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Dentre os desafios da sociedade moderna, questões ambientais, destacam-se entre as mais significativas. Contemporaneamente, na onda da globalização, nunca se evoluiu tão rápido na competitividade de mercado, e, as inovações tecnológicas, não deixam de ser um dos fatores, que sustentam a liderança de produtos e serviços. Essa disputa acaba, de certa forma, requisitando mais recursos ambientais, gerando então, um aumento no descarte dos defasados produtos de consumo. A questão dada é, que se incrementa a quantidade de resíduos tecnológicos descartados, muitos dos quais, ainda fabricados com alguns componentes tóxicos, enquanto, inexistem planos efetivos e incentivos para o pós-consumo e uso das tecnologias de reaproveitamento de materiais e componentes. Propõe-se então, nesse estudo, uma ampla análise da logística reversa dos resíduos eletroeletrônicos, o desenvolvimento de um modelo otimizado, para a rede logística reversa dos eletroeletrônicos descartados, bem como, a respectiva avaliação dos impactos ambientais resultantes. Ao mesmo tempo, disponibilizam-se informações estratégicas da rede logística, contribuindo assim, na incorporação de conceitos sustentáveis para projetos de produtos, entre os quais se pode citar o uso de tecnologias, processos e materiais de reduzido impacto ambiental, minimizando, conseqüentemente, os problemas de contaminação futuros, observados atualmente na pós-vida útil e, favorecendo, a redução dos impactos gerados na extração contínua de materiais. Este trabalho apresenta os dados coletados na região metropolitana de Curitiba, utilizados nos estudos de otimização de rotas e de forma simplificada, na avaliação do ciclo de vida. Como decorrência desta modelagem logística, idealizaram-se cenários, onde se aplicou, técnicas de otimização de rotas e avaliação ambiental das soluções propostas, visando à melhoria das perspectivas de avanço no processo reverso de resíduos tecnológicos e na redução dos impactos ambientais, da rede logística reversa.

Palavras-chave: Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos. Logística Reversa. Avaliação do Ciclo de Vida. Pesquisa Operacional.

ABSTRACT

VERUSSA, Osvaldo Jr. *Environmental Assessment of Electric and Electronic Products Reverse Logistics: Case Study*. 2012. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Among the challenges of modern society, environmental issues stand out among the most significant. Contemporaneously, the wave of globalization, never evolved so fast in market competitiveness, and technological innovations do not stop being one of the factors that support the leadership of products and services. This contest ends in a way requiring more environmental resources, then generating an increase in the disposal of outdated consumer products. The question is which increases the amount of waste of electric and electronic equipment, many of whom also made with some toxic components, while there are no effective plans and incentives for post-consumption and use of technologies for reuse of materials and components. It is proposed then this study a comprehensive analysis of the reverse logistics of consumer electronics waste, the development of an optimized model for reverse logistics network of discarded electronics as well as the assessment of environmental impacts. At the same time, provide strategic information to the logistics network, thus contributing to the incorporation of sustainable concepts for product designs, among which we can mention the use of technologies, processes and materials of low environmental impact, thus minimizing contamination problems future, currently observed in the post-life, and promoting the reduction of impacts on the continuous extraction of materials. This study presents data collected in the metropolitan region of Curitiba, used in studies of route optimization and simplified form, in assessment the life cycle. As a result of logistic modeling, idealized scenarios with application route optimization techniques and evaluation of proposed solutions aimed at improving the prospects for advancement in the reverse process of technological waste and reduce environmental impacts of the reverse logistics network.

Keywords: Waste electrical and electronic equipment. Reverse Logistic. Life Cycle Assessment. Operation Research.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Conjunto de dados para atividades e categorias de trocas.....	31
Figura 2 - <i>Layout</i> esquemático do fluxo logístico dos RT na RMC.....	53
Figura 3 - Desmontagem manual e triagem de componentes de REEE	57
Figura 4 - Fluxograma da rede logística reversa para RT na RMC	60
Figura 5 - Mapa da distribuição dos terminais de ônibus urbanos na RMC	62
Figura 6 - Mapa da distribuição espacial das associações e CVMR na RMC.....	64
Figura 7 - Mapa da distribuição dos Beneficiadores de RT e materiais recicláveis na RMC	67
Figura 8 - Lotes de RT coletados e <i>Outputs</i>	69
Figura 9 - Comparação de Impacto (1X2) Veículos para o Transporte LR RT RMC...	85
Figura 10 - Impactos ambientais na fabricação de Aço e do Alumínio com fonte de materiais Primários e Secundários.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição Gravimétrica dos REEE - 2012	20
Tabela 2 - Distância e Massa transportada de LQNL coletados nos containers das vias públicas da RMC para a CAVO Fazendinha.....	62
Tabela 3 - Distância e Massa anual estimada de Resíduos Especiais, coletados nos Terminais da RMC e transportada até a central da CAVO Fazendinha.	63
Tabela 4 - Distância e Massa mensal de RT, coletados e pré-triados em associações e cooperativas de catadores de resíduos recicláveis, transportados até a CVMR.....	65
Tabela 5 - Fases logísticas, resultados esperados e particularidades.	70
Tabela 6 - Peso bruto médio dos REEE estudados.	72
Tabela 7 - Peso médio do DESKTOP	72
Tabela 8 - Peso médio LAPTOP.	73
Tabela 9 - Peso médio do monitor CRT 17”	73
Tabela 10 - Peso médio do monitor LCD 17”	73
Tabela 11 - Peso médio da IMPRESSORA.....	74
Tabela 12 – Peso médio do TECLADO.....	74
Tabela 13 - Peso médio do MOUSE	74
Tabela 14 - Peso médio de uma FONTE ADAPTADORA.....	75
Tabela 15 - Valores associados às variáveis $num_{v,c}$	78
Tabela 16 - Relação dos trajetos executados nas três simulações distintas.....	79
Tabela 17- Valores associados às variáveis $num_{v,c}$	81
Tabela 18 - Valores associados às variáveis $num_{v,c}$	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dez Categorias Características da diretiva WEEE - 2002/96/EC	18
Quadro 2 - Cinco Categorias de Tratamento da diretiva WEEE - 2002/96/EC	19
Quadro 3 - Modelos de otimização para sistema de LR.....	28
Quadro 4 - Beneficiadores de RT, Características, Massa Processada, Saídas de materiais e componentes e as distâncias entre as fontes.	68

LISTA DE ABREVIATURAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ACV - Avaliação do Ciclo de Vida
- AICV - Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
- CVMR – Central de Valorização de Materiais Recicláveis
- CPU – Unidade Central de Processamento
- EE - Equipamento Eletrônico
- EEE - Equipamento Eletroeletrônico
- ICV - Inventário do Ciclo de Vida
- LQNL - Lixo que Não é Lixo
- LR - Logística Reversa
- MMA - Ministério do Meio Ambiente
- MIP - *Mixed Integer Programming* (Programação Inteira Mista – PIM)
- MILP - *Mixed Integer Linear Programming* (Programação Linear Inteira Mista - PLIM)
- ONG - Organização Não Governamental
- PGIRS - Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
- PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos
- PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
- PDPC – Produto Descartado Pós Consumo
- REEE - Resíduo de Equipamento Eletroeletrônico
- RMC - Região Metropolitana de Curitiba
- RoHS – *Restriction of Hazardous Substances* (Restrição ao uso de substâncias perigosas)
- RT - Resíduo Tecnológico
- UVR - Usina de Valorização de Resíduos
- WEEE - *Waste Electrical and Electronic Equipment* (Resíduo de Equipamento Eletroeletrônico)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DE PRODUTOS E A VIDA ÚTIL	11
1.2	OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	14
1.2.1	Objetivo geral	14
1.2.2	Objetivos específicos	15
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	15
2	ABORDAGEM TEÓRICA DO TRATAMENTO DE REEE E dos SEUS SISTEMAS FACILITADORES	17
2.1	RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS	17
2.2	LOGÍSTICA REVERSA	21
2.2.1	Sistemas de LR para recuperação de Produtos Descartados Pós-Consumo	22
2.2.2	Característica e classificação dos sistemas de LR	23
2.2.3	Desafios da Logística Reversa	24
2.2.4	Logística Reversa para os REEE	26
2.3	TÉCNICA DE OTIMIZAÇÃO PARA ROTAS LOGÍSTICAS	28
2.4	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)	30
3	ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA DIAGNÓSTICO DA REDE LR DE REEE	34
3.1	OTIMIZAÇÃO DE ROTAS LOGÍSTICAS E A QUANTIFICAÇÃO DE IMPACTOS	35
3.2	TÉCNICA DE OTIMIZAÇÃO DA ROTA LOGÍSTICA	38
3.3	APLICAÇÃO DA ACV NA REDE LR DOS REEE	43
3.4	FONTES PARA COLETA DOS DADOS	45
3.5	TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS METADADOS COLETADOS	46
3.6	ANÁLISE CRÍTICA E TRATAMENTO DOS DADOS PARA CONSOLIDAÇÃO	47
3.7	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	47
3.8	CONCLUSÕES E EXPECTATIVAS	48
4	ESTUDO DE CASO: A REDE LOGÍSTICA REVERSA DOS REEE NA RMC ...	50
4.1	REDE LOGÍSTICA REVERSA REEE NA RMC	50
4.2	DIMENSIONAMENTO DA REDE LR DOS REEE NA RMC	51
4.3	COLETA DE DADOS DA REDE LOGÍSTICA REVERSA DE REEE DA RMC	55
4.4	DELINEAMENTO DA REDE LOGÍSTICA REVERSA DOS RT NA RMC	58
4.5	DADOS ESTIMADOS DE LOGÍSTICA REVERSA DOS RT PARA SEREM AVALIADOS... 71	
4.6	OTIMIZAÇÃO DA ROTA LR PARA REEE NA RMC	75
4.7	AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS COM USO DA FERRAMENTA ACV	83
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
6	CONCLUSÕES	90
7	REFERÊNCIAS	92
	APÊNDICE A – DISTÂNCIAS ENTRE CVMR E ASSOCIAÇÕES DE COLETORES DE LQNL	98
	APÊNDICE B – DISTÂNCIAS ENTRE TERMINAIS PARA A DISPOSIÇÃO DE LQNL E UVR CAMPO MAGRO	99

1 INTRODUÇÃO

1.1 INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DE PRODUTOS E A VIDA ÚTIL

A constante busca pela inovação dos produtos e serviços, iniciada na década de 80 com a globalização, entre outros fatores, resultaram na aplicação de novas tecnologias para viabilizar a competitividade mercadológica, gerando assim um ambiente de relativa volatilidade ao se referir à vida útil dos produtos, processos e serviços, motivada em partes pela obsolescência técnica.

Por outro lado, se produtos e serviços têm a sua vida útil abreviada pela evolução do incremento das inovações tecnológicas, sejam no produto proprietário ou concorrente, estas impactam também no chamado *time-to-marketing*, ou seja, reduzem o tempo do ciclo de lançamento para novos produtos. Decorrente disto, um significativo aumento nos índices de venda e descarte são observados.

Sendo assim, pode-se apresentar os equipamentos eletroeletrônicos como exemplo de síntese desta problemática, inovação constante versus redução do ciclo de vida útil, que refletem no crescente aumento dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) ou Resíduos Tecnológicos (RT), como também são conhecidos.

De acordo com Rodrigues (2007), a redução da vida útil dos produtos contribui para a “insustentabilidade ambiental”, quando o uso dos recursos naturais não renováveis, bem como da energia empregada na manufatura dos produtos, tornam-se subutilizados em decorrência do descarte prematuro.

Abordagem necessária, também se faz em virtude do paradigma “reciclar não é lucrativo”, o qual vincula aspectos financeiros, por si só, como constituintes do suporte, ou não, às ações de âmbito ambiental ou sustentáveis.

Na prática, percebe-se, no que tange à remuneração resultante pelos serviços e processos da atividade da logística reversa, de maneira geral, ou seja, para quaisquer materiais descartados, tem-se como obrigação mínima à contrapartida financeira.

Releva-se então, deste ponto de vista, os benefícios e a redução dos impactos ambientais, gerados pelas atividades, que ficam marginalizados no processo.

Portanto, trata-se neste trabalho de destacar a importância e o comprometimento da engenharia ao suportar a evolução tecnológica, e ser capaz de também, tornar possível a quebra deste paradigma, redefinindo estratégias a praticamente cada inovação ou melhoria aplicada aos produtos e processos.

No âmbito dos REEE, num estudo denominado *Recycling - from E-Waste to Resources* (Reciclando - do Lixo Eletrônico aos Recursos), da organização *Solving the E-Waste Problem* publicado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), cita que no Brasil não existem dados disponíveis das vendas de eletroeletrônicos (UNEP-StEP, 2009a), que normalmente são usadas como referência na quantificação dos RT.

Apesar disso, pela significância do país, neste estudo estimou-se com base nos dados do Índice de Desenvolvimento Mundial que a produção de RT (e.g. computadores pessoais, impressoras, televisores e telefones celulares) no Brasil em 2009 era de 253 mil toneladas por ano, próximo de 1,6 kg *per capita* ano.

No mesmo estudo, ampliando a base da pesquisa incluindo telefones fixos, rádios e itens da linha branca (*i.e.* máquinas de lavar roupa, geladeiras e freezers, entre outros), estima-se um descarte de 680 mil toneladas por ano. Tais resíduos devem acumular até 2030 uma quantidade próxima de 22 milhões de toneladas para descarte, significando que cada brasileiro deverá gerar aproximadamente 3,4 kg de RT *per capita* ano.

Considerou-se a vida útil média de eletroeletrônicos nessa estimativa, ou seja, se um equipamento tem a vida útil de cinco anos, adotou-se que o mesmo será descartado dentro de cinco anos depois de efetuada a venda (UNEP - StEP, 2009a).

Tratando do relacionamento entre o REEE e a questão ambiental, percebe-se que as tendências ambientalmente sustentáveis, oriundas das preocupações emergentes em todos os segmentos representados pelo poder público, setor empresarial e sociedade, ressaltam a preocupação com a falta de soluções capazes de equacionar o problema do aumento do descarte dos resíduos tecnológicos, no curto prazo.

Conforme Hischier (2007), os REEE tratam de uma questão controversa, discutida em escala global com várias características, riscos e oportunidades.

No plano governamental, surge o estabelecimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei 12.305/2010, aprovada em agosto de 2010, dos

quais, entre outros tantos requisitos (*i.e.* praticar a Logística Reversa e Avaliação do Ciclo de Vida), tem como meta a recuperação e eliminação de todos os aterros (*e.g.* lixões) até o ano de 2014, permanecendo apenas aterros controlados para resíduos não recicláveis.

Sendo assim, apresentam-se novos requisitos, de cunho ambiental, relacionados com o prolongamento da vida útil dos produtos pós-consumo e o desenvolvimento de métodos eficientes para o reaproveitamento de seus componentes ou materiais, sem onerar os custos ou causar impactos ao meio ambiente.

Percebe-se, portanto a urgência de se tornarem efetivos os esforços de engenharia que atendam plenamente a presente realidade (*i.e.* projeto, manufatura, materiais recicláveis, modularidade, entre outros), para reduzir a geração dos RT.

Do ponto de vista ambiental, valorizam-se soluções que tenham como contra partida a redução da exploração dos recursos naturais de fontes não renováveis (*e.g.* matérias primas primárias), economia de energia, bem como a redução na quantidade dos RT gerados, naturalmente com menor necessidade de aterros para disposição final.

Finalizando, destaca-se como possível solução à adoção do conceito de reinserção dos produtos pós-consumo, seus componentes ou materiais, novamente no ciclo produtivo, fechando a cadeia, conhecida como a prática da Logística Reversa (LR).

Como exemplo, pode-se citar o trabalho de Mar-Ortiz, et al. (2011), no qual se desenvolve um reprojeto de uma rede LR, especificamente de REEE, na região da Galícia, Espanha. A abordagem neste estudo de caso foi encaminhada por meio da experimentação hierárquica, envolvendo técnicas de Programação Linear Inteira Mista (PLIM), heurística e posteriormente simulação. O objetivo era encontrar soluções para a localização das instalações, definição da frota de veículos e das rotas de coleta dos REEE.

Face às considerações desta introdução, vislumbrou-se a oportunidade desta pesquisa, ou seja, identificar quais abordagens estão sendo praticadas quando se refere à LR para tratamento dos REEE, às tecnologias e programas atualmente em processo.

Para tal utilizar-se-á o apoio de um estudo de caso, levado a cabo na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), referencialmente vanguarda na aplicação de conceitos ambientais na gestão urbana.

De acordo com o Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC (2011), atualmente a RMC é composta por 26 municípios, possuindo uma densidade demográfica aproximada de 3.300.000 habitantes, conforme a adaptação do estudo censitário feito pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010.

Observa-se que o ciclo logístico reverso para REEE na RMC ainda não se encontra totalmente estabelecido, motivando assim as iniciativas desta pesquisa.

1.2 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Este estudo tem como objetivo avaliar a rede LR instalada, modelar e submeter os dados experimentalmente à uma análise crítica por meio de *software* de Pesquisa Operacional (PO), tratando o problema de Otimização de Rotas. Com os dados coletados e resultados experimentais, estudar os impactos ambientais com auxílio das técnicas da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

Abrangerá também, o conhecimento dos dados tecnológicos e de engenharia (*i.e.* processos, aplicações, índices, entre outros), empregados e usuais das práticas da cadeia LR dos RT na RMC.

1.2.1 Objetivo geral

Contempla a coleta de dados e o inventário de informações que caracterizam o fluxo Logístico Reverso de REEE, na RMC, considerando as principais técnicas e procedimentos, do ponto de vista quantitativo e qualitativo.

Diagnosticar a situação atual, avaliar e comparar com resultados experimentais, gerados a partir das propostas visualizadas no sentido de apoiar ações e a tomada de decisão que estejam alinhadas às necessidades ambientais, da sociedade, governos e setores produtivos de forma equilibrada.

Obviamente, em virtude da grande gama de variantes, acredita-se não ser possível o atendimento simultâneo de todas as necessidades (*trade-offs*), mas sim, o conhecimento de soluções possíveis para o tratamento pós-consumo dos RT, entre as quais se apresente a melhor opção, especificamente, para uma dada questão, a qual se deve refletir nos menores impactos ambientais, em seguida sociais e, finalmente, os econômicos.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Inventariar qualitativamente e quantitativamente os Equipamentos Eletroeletrônicos (EEE) descartados na RMC;
- b) Estudar, construir um modelo e avaliar o desempenho rede logística reversa dos REEE na RMC;
- c) Estudar os impactos ambientais do transporte na coleta e tratamento dos REEE na RMC;
- d) Fornecer subsídios para incorporação de conceitos tecnológicos sustentáveis de âmbitos econômicos e socioambientais nos projetos de novos produtos.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho iniciou com uma ampla pesquisa em periódicos, jornais, literatura, entre outros, para identificação e posteriormente levantamento de campo, nos centros de coleta identificados, onde os diversos processos pós-coleta são efetuados (*e.g.* a triagem, separação, consolidação dos volumes, entre outros) para permitirem o beneficiamento e a eventual destinação final, dos RT descartados na RMC, sem condições de reaproveitamento ou agregação de valor.

Inicialmente, realizou-se visitas aos diversos gestores da rede logística reversa, oficiais e não oficiais (*i.e.* órgãos da prefeitura, empresas privadas, ONGs, depósitos de resíduos, entre outros), prestadores de serviço, como forma de se obterem informações estruturais, da rede, bem como efetuar os contatos prévios para as autorizações de acesso aos locais de interesse e eventuais apoios ao trabalho.

A coleta de dados, inicialmente planejadas por meio de formulários estruturados, e por meio de entrevistas informais, com os operadores da rede, *in loco*, nos centros de tratamento e prestadores de serviço. Também se utilizaram consulta aos relatórios gerenciais e operacionais, disponibilizados na web.

Reunidas às informações, verificou-se que os formulários estruturados não seriam aplicáveis, por indisponibilidade de tempo dos entrevistados, pela baixa confiabilidade das informações, na maioria das vezes informais. Optou-se então pela imediata organização e consolidação, dos dados confiáveis, em planilhas preparadas para possibilitar cálculos quantitativos e análises qualitativas.

Uma vez identificados os diversos centros de interesse, os mesmos tiveram a localização geográfica definida, num mapa virtual da RMC, auxiliado por um *software*, de maneira que as distâncias de transporte entre os atores da rede pudessem ser determinadas, e que juntamente com os RT movimentados, tivessem estes dados experimentados, por meio de *softwares* para Otimizar Rotas, bem como nos estudos de impactos ambientais baseados na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

Ao final, o diagnóstico atual da rede logística reversa, proporciona o conhecimento das atividades envolvidas e o dimensionamento das vantagens e desvantagens, abrindo assim possibilidades para que a rede logística reversa seja aperfeiçoada e melhorada.

Não se pretenderam considerar nesse trabalho as influências mercadológicas típicas (e.g. rentabilidade, custos de fabricação, participação de mercado, concorrência, entre outros), normalmente presente na tomada de decisão para se definirem os projetos e processos aplicáveis aos novos produtos e serviços.

Por outro lado, de acordo com o autor, do ponto de vista financeiro, suporta este trabalho a hipótese genérica, mesmo que apresentando resultados indesejados para alguns sistemas, o que se questiona, observada a crescente importância do tema, de que os benefícios ambientais ou sustentáveis, gerados pela Logística Reversa (LR) justificam os recursos aplicados neste trabalho.

Cabe ainda citar, que na notada contínua evolução, e emergente, deste tema, a onda de novidades ou descobertas resultam constantes, podendo em alguns casos distorcer ou contrapor alguns dos resultados alcançados ao longo do desenvolvimento deste trabalho, o que se pede antecipadas considerações pelo inconveniente aos leitores.

2 ABORDAGEM TEÓRICA DO TRATAMENTO DE REEE E DOS SEUS SISTEMAS FACILITADORES

Apresenta-se em seguida uma breve introdução dos temas básicos desta dissertação, tratando de explicar as diversas nuances que compõem a definição do problema e o caminho orientado para a solução. A consulta pautou-se pela profundidade adequada à aplicação do tema neste trabalho.

2.1 RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS

Os Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), podem também ser conhecidos como e-lixo (*e-waste*), lixo tecnológico, sucata de informática, lixo eletrônico, entre outros.

São definidos por Silva (2010), como todos aqueles equipamentos eletroeletrônicos (EE) que utilizam energia elétrica ou campos magnéticos para funcionarem, e que chegaram ao final da sua vida útil, portanto devem ser descartados.

De acordo com o Plano de Gestão para Resíduos Sólidos: manual de orientação, feito pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2012), os equipamentos eletroeletrônicos são de pequeno e grande porte e incluem todos os dispositivos de informática, som, vídeo, telefonia, brinquedos e outros, os equipamentos da linha branca, como geladeiras, lavadoras e fogões, pequenos dispositivos como ferros de passar, secadores, ventiladores, exaustores e outros equipamentos dotados, em geral, de controle eletrônico ou acionamento elétrico.

No Brasil, após aprovação da PNRS, estão sendo estabelecidos comitês para transformar em padrões técnicos os requisitos da legislação, especificamente para a LR e ACV dos resíduos sólidos em geral, nos quais se incluem os REEE.

Alguns países, de acordo com Moguel (2007) já se encontram em fases mais avançadas quanto ao tratamento dos REEE, entre os quais citam-se como exemplos, o Japão que possui regulamentos estendendo a responsabilidade ao produtor, desde 2001, bem como os EUA, no qual tem a legislação criada pelos

estados, sendo que no estado da Califórnia criou-se a lei SB20/20, que encontra-se em vigor desde 2007, a qual usa como referência as normas diretivas Europeias.

Conforme Bigum e Brogaard (2010), Moguel (2007) e Day (2006), consideraram que entre as iniciativas da União Europeia relacionadas aos REEE, duas, destacadas a seguir, são particularmente importantes:

- Diretiva 2002/95/EC, *Restriction of the Use of certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment* – RoHS (Restrição ao uso de substâncias nocivas em EE) que orienta a especificação no projeto do uso de materiais não prejudiciais a saúde e meio ambiente.
- Diretiva 2002/96/EC, *Waste Electrical and Electronic Equipment - WEEE* (Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos) recomenda os procedimentos para os tratamentos posteriores ao ciclo de vida útil dos produtos.

O RT constitui uma classe de resíduos bastante heterogênea, visto que a sua classificação pode variar, por exemplo, entre até 15 categorias, de acordo com as diretivas europeias WEEE e RoHS, que separam os equipamentos descartados em dois escalões, que podem ser visualizados nos Quadros 1 e 2 a seguir:

Categorias Características		Exemplo de equipamentos
1	Grandes eletrodomésticos	Geladeiras, máquinas de lavar roupa e louça, fogões, microondas
2	Pequenos eletrodomésticos	Aspiradores, torradeiras, facas elétricas, secadores de
3	Equipamentos de informática e telecomunicações	Computadores, laptops, impressoras, telefones, celulares
4	Equipamentos de consumo	Televisores, aparelhos de DVD e vídeos
5	Equipamentos de iluminação	Lâmpadas fluorescentes
6	Ferramentas elétricas e eletrônicas	Furadeiras, serras, lixadeiras, máquinas de costura, cortadores de grama
7	Brinquedos, lazer e equipamentos desportivos	Jogos de vídeo, caça-níqueis, esteiras, massageadores
8	Dispositivos médicos	Equipamentos de medicina nuclear, radioterapia, cardiologia, diálise
9	Instrumentos de monitoramento e controle	Termostatos, detectores de fumaça, cronômetros
10	Dispensadores automáticos	Distribuidores automáticos de dinheiro, bebidas e produtos sólidos

Quadro 1 – Dez Categorias Características da diretiva WEEE - 2002/96/EC

Fonte: Adaptado de Bigum e Brogaard (2010).

Por meio da primeira coluna, do Quadro 1, Categorias Características, os equipamentos foram ordenados em dez grupos de acordo com o tamanho, quantidades, materiais, uso, entre outros.

Categorias de Tratamento	Tipo de resíduo
1, 10	Bens de refrigeração da linha branca
1, 10	Bens de aquecimento da linha branca
2, 6, 7, 8, 9	Classe de baixa fração
3, 4	Classe de alta fração
4	TV e monitores
5	Equipamentos de iluminação

Quadro 2 - Cinco Categorias de Tratamento da diretiva WEEE - 2002/96/EC
Fonte: Adaptado de Bigum e Brogaard (2010).

Por meio do segundo grupo do Quadro 2, os equipamentos foram organizados e reunidos de acordo com a semelhança entre os processos de tratamento.

Nos Quadros 1 e 2, visualizam-se a separação e classificação das 15 categorias dos RT, para que ao final da vida útil, cada grupo seja corretamente destinado de acordo com os tratamentos e processos típicos (e.g. remanufaturar, triturar, desmontar, reciclar, incinerar, aterrar, entre outros) adequados ao grupo de produtos, previamente estudado e menos impactante ao meio ambiente e saúde.

Interessante observar os reflexos globais (*i.e.* barreiras técnicas), que estas normas propagam entre os fabricantes de produtos eletroeletrônicos, nos países exportadores e importadores. Por exemplo, pode-se citar a exigência da substituição das substâncias proibidas (*i.e.* presente nos materiais e componentes), relativamente a todos os equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE) abrangidos pela diretiva. Esta exigência tem impactos nos projetos, processos de fabricação e custos, entre outros.

Destaca-se também, que entre as motivações para a criação e implementação das diretivas encontra-se a presença no REEE de mais de 100 tipos de substâncias tóxicas, entre as quais inclui o berílio em placas-mãe de computador, cádmio em semicondutores, cromo em disquetes, chumbo das baterias e monitores de computador e de mercúrio nas pilhas alcalinas e lâmpadas fluorescentes, entre outros (VISVANTHAN; YIN; KARTHIKEYAN, 2010).

Os aspectos citados com relação à saúde humana podem por si só justificar a necessidade de esforços para a estruturação eficiente da logística reversa dos REEE que é abordada no próximo tópico.

Os REEE têm o seu fluxo de resíduos entre as maiores taxas de crescimento no mundo contemporâneo. Na União Europeia, compõem aproximadamente 4% da estimativa de composição dos resíduos municipais, sendo que a sua composição gravimétrica em ordem decrescente pode ser verificada na Tabela 1, mostrada a seguir.

Tabela 1- Composição Gravimétrica dos REEE - 2012

Material componente	Composição (%)
Metais Ferrosos (ferro e aço)	47,9
Plásticos sem retardadores de chama	15,3
Cobre	7,0
Vidro	5,4
Plásticos com retardadores de chama	5,3
Alumínio	4,7
Outros (papel e papelão)	4,6
Placas de circuitos impressos	3,1
Madeira	2,6
Concreto e cerâmicas	2,0
Outros Metais (não ferrosos)	1,0
Borracha	0,9
TOTAL	99,8

Fonte: Adaptado de Eionet - European Topic Center (2012).

Como pode ser visto na Tabela 1, ferro e aço são os materiais mais comuns encontrados em equipamentos elétricos e eletrônicos e são responsáveis por quase metade do peso total dos REEE. Os plásticos são o segundo maior grupo componente em peso, representando aproximadamente 21% dos REEE. Os metais não ferrosos, incluindo metais preciosos (*i.e.* ouro, prata, paládio, platina) representam aproximadamente 13% do peso total dos REEE e o vidro cerca de 5%. Os restantes 12% são representados por PCIs, concreto, cerâmica, madeira e outros materiais não classificados.

Neste trabalho o foco será concentrado nos RT, relacionados principalmente com os equipamentos de informática, pela importância atual e incipiente existência dos trabalhos voltados ao tema.

2.2 LOGÍSTICA REVERSA

A logística reversa é um tema recente, considerando que a origem do termo logística foi reconhecida e passou a ser formalmente estudada como ciência após a Segunda Guerra Mundial, em virtude das dificuldades para movimentação das tropas e suprimentos entre a América do Norte e Europa, enfrentada nesta época.

Christopher (1997) define a logística como o processo de gestão estratégica da aquisição, movimentação e armazenagem de materiais, peças e produtos acabados (e os fluxos de informações correlatas) por meio da organização e de canais de marketing, maximizando as lucratividades presente e futura através do atendimento dos pedidos a baixo custo.

De acordo com Lacerda (2010) usualmente pensa-se em logística como o gerenciamento do fluxo de materiais do ponto de aquisição até o ponto de consumo.

A Logística Reversa (LR), porém, embute um conceito mais amplo que é o do ciclo de vida do produto. A vida de um produto, do ponto de vista logístico, não termina com a entrega ao cliente. Produtos tornam-se obsoletos, danificam-se e devem retornar a algum local para serem adequadamente reparados, reaproveitados ou descartados.

Bowersox (2001), por sua vez, amplia ainda mais o conceito da LR ao considerar que esta também deva ser pensada nas fases iniciais da concepção e desenvolvimento de um produto, estrategicamente, incluindo no planejamento os aspectos operacionais e financeiros para a sua prática.

De outra forma, para Wang et al. (2010), a cadeia de suprimentos ou rede logística reversa trata-se de um conjunto de atividades envolvendo o retorno de produtos, materiais alternativos, reutilização de componentes, eliminação de resíduos, processamento adicional, manutenção e remanufatura.

Segundo este entendimento, a PNRS (2010), define a LR como um instrumento de desenvolvimento econômico e social, caracterizada por um conjunto de ações, procedimentos e meios, destinados a facilitar a coleta e a restituição dos

resíduos sólidos aos seus geradores para que sejam tratados ou reaproveitados em novos produtos, na forma de novos insumos, no próprio ciclo ou em outros ciclos produtivos, visando a não geração de rejeitos.

Conforme Leite (2003) o objetivo principal da LR é o de atender aos princípios de sustentabilidade ambiental como o da produção limpa e o da responsabilidade pelo produto do "berço ao túmulo". O produtor responsabiliza-se pelo destino final dos produtos gerados, reduzindo o impacto ambiental, obviamente pelo descarte adequado destes materiais, componentes destes bens, no período pós-vida útil.

Algumas empresas organizam canais reversos de retorno para reparo ou final de vida, obtendo assim melhor equacionamento na destinação, optando de acordo com sua estratégia e políticas, entre Reduzir, Reutilizar ou Reciclar (3R).

Concluindo este item, pode se afirmar que é função logística da empresa, analisar, planejar e definir o fluxo reverso, que permite a recuperação dos equipamentos pós-consumo e materiais descartados obtendo um retorno econômico ou, na maioria das vezes, ambiental, essencial em nossos dias. Segue-se agora, alguns esclarecimentos relativos aos sistemas logísticos.

2.2.1 Sistemas de LR para recuperação de Produtos Descartados Pós-Consumo

De acordo com Leite (2003), o aumento da velocidade de descarte dos produtos, sem os canais de distribuição reversos de pós-consumo estruturados e organizados, provoca o desequilíbrio entre as quantidades descartadas e as reaproveitadas.

Com o esgotamento de recursos naturais e o aumento gradual da poluição ambiental, a LR ganha cada vez mais atenção das empresas, não só pelos benefícios econômicos que pode trazer, mas também pela influência exercida nas melhorias ambientais (WANG et al., 2010).

A LR almeja a obtenção de vantagem competitiva sustentável recuperando o Produto Descartado Pós-Consumo (PDPC), no fim do ciclo de vida. Exige-se, *a priori*, uma análise de como esses produtos serão novamente aproveitados e inseridos na cadeia de distribuição industrial, se na forma de materiais reciclados ou como componentes manufaturados, que apresentam ainda potencial de vida útil para reuso.

Um eficiente projeto de LR justifica-se normalmente apoiado nos resultados quantitativos da operação, em termos logísticos (e.g. pontos de recuperação, centros de triagem, distribuição de fluxos) e também pelas considerações econômicas (e.g. rentabilidade, custos e benefícios).

Toda empresa, no curto ou médio prazo, haverá de projetar um sistema de recuperação econômica para o fim da vida útil dos seus produtos, padronizando procedimentos sintonizados com as estratégias e política de lançamento dos novos produtos no mercado consumidor.

Todavia, a valorização econômica dos PDPC nem sempre é possível, dependendo para isso da consideração das opções para a realização da LR, previamente definidas durante a fase de Desenvolvimento do Produto (DP).

Os dimensionamentos das capacidades instaladas nos sistemas de LR, que atualmente não se destacam pela rentabilidade, dependem ainda, por isso, dos subsídios e incentivos de variadas fontes (*i.e.* privadas ou estatais) para manterem-se ativas.

Naturalmente, este autor acredita que do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, embora de difícil quantificação, credita-se facilmente ganhos e vantagens diversas (e.g. consumidores verdes, marketing, incentivos fiscais, entre outros) pelo uso de um sistema de LR.

2.2.2 Característica e classificação dos sistemas de LR

O potencial de recuperação ou opções para a gestão dos produtos recuperados tem inúmeras possibilidades (*i.e.* dependem do produto, mercados-alvo, canais de distribuição, entre outros).

De acordo com Lacoba (2003) essa complexidade é tão diversa que se pode pensar num sistema de LR diferente para cada empresa ou tipo de produto.

Entre as características da LR existentes nas empresas, vale enfatizar a importância dos coletores intermediários (fluxo consumidor - produtor) e a homogeneidade dos lotes produzidos, em oposição à flexibilidade demandada pelo mercado consumidor, bem como da disposição dos PDPC.

Outro aspecto interessante, diz respeito à devolução de produtos (e.g. descontentamento, arrependimento pela compra, falha de planejamento, entre outros). De acordo com Rogers e Tibben-Lembke (1998), os volumes totais de mercadorias devolvidos pelos consumidores norte-americanos foram estimados em 6% da demanda total, embora os índices variem nos segmentos industriais.

Lacoba (2003, *apud* Fleischmann et al., 2000, p.64), estabelecem para a prática da LR, com foco na gestão, a consideração dos seguintes aspectos:

- a) Reciclagem: estrutura simples, com poucos níveis hierárquicos, gestão centralizada, necessárias para eficiência de alto volume de insumos de baixo valor agregado. Altos custos de transformação determinam a necessidade de altas taxas de utilização, com ganhos obtidos em economia de escala;
- b) Remanufatura: objetivo da recuperação de peças e componentes de produtos de alto valor agregado. Aqui os fabricantes originais têm forte influência sendo, às vezes, o responsável pela concepção e gestão da LR. Este sistema se adapta melhor com multiníveis hierárquicos e gestão descentralizada, dando flexibilidade e sinergias com o fluxo direto;
- c) Reutilização: os produtos recuperados são reintroduzidos na cadeia de abastecimento, depois da limpeza, testes e manutenção. São estruturas descentralizadas, onde circulam simultaneamente produtos originais (*i.e.* devoluções sem uso) e reutilizáveis. Aqui o custo do transporte é o mais significativo.

2.2.3 Desafios da Logística Reversa

No estabelecimento das definições e projeto de um sistema de LR, alguns obstáculos traduzem-se numa série de incertezas, dadas pela ignorância total ou parcial dos produtos pós-consumo recuperáveis que podem ser reincorporados à cadeia. Os principais desafios podem ser classificados em quatro grupos, descritos a seguir.

a) Incerteza Quantitativa na LR

As quantidades de PDPC recuperáveis sempre terão um limite superior pré-estabelecido pelo total de itens que o fabricante disponibilizou no mercado. Caso o produto permaneça com o fabricante, por exemplo, nas operações de *leasing*, a incerteza quantitativa se reduzirá significativamente. Sistemas de bônus para os clientes que retornam os PDPC (*buy-back*) representam aumento no volume de entrada e permitem economias de escala.

b) Incerteza Qualitativa na LR

Ignora-se a qualidade dos PDPC devolvidos. Enquanto não se efetue uma triagem (limpeza e testes) não se conhece a opção mais adequada (*i.e.* reutilizar, remanufaturar, reciclar ou aterrar). O *feedback* do cliente permite acesso prévio aos níveis de qualidade do PDPC.

c) Incerteza Temporal na LR

Tenta-se aqui estabelecer um planejamento prévio das demandas. Pode ser a definição de períodos, sazonalidade, vida útil estimada, por exemplo, para recuperar os PDPC, compensando o cliente e usando estrategicamente as informações do pós-venda.

d) Incerteza Espacial na LR

Considerar a definição dos locais onde se instalarão os centros de recuperação dos PDPC. Nesse aspecto, cita-se como abordagens realizadas para minimizar esta incerteza, o uso do *software* SIRUS, utilizado num projeto de coleta de resíduos urbanos no município de Sant Boi de Llobregat, região de Barcelona na Espanha (DÍAZ; ÁLVAREZ; GONZÁLEZ, 2004, p.297).

No item seguinte, abordar-se-á, alguns dos desafios da LR aplicáveis aos resíduos tecnológicos.

2.2.4 Logística Reversa para os REEE

De acordo com o relatório StPE (UNEP, 2009a, p.65), o estabelecimento da rede LR para REEE necessita da transferência de tecnologias sustentáveis, que ainda devem vencer algumas barreiras. Entre estas, citam-se como as principais, no que toca ao Brasil, a inexistência ou ainda falta de maturidade quando referir-se aos seguintes itens:

- a) Legislação específica e vontade política;
- b) Tecnologias e habilidades pessoais;
- c) Mercado e financiamento.

Ocasionalmente, pode-se lembrar de que durante o trabalho de campo e nos contatos efetuados pelo autor junto aos atores envolvidos no processo de coleta e tratamento de resíduos, evidencia-se a abrangência dessas dificuldades de âmbito político, entre os quadros oficiais e autônomos deste processo. Esta comprovação fortalece a hipótese da existência de barreiras que precisam ser vencidas.

Por outro lado, se pode caracterizar que o conhecimento ou posse de informações da rede ou do sistema de gestão em questão, transfere a quem as possui ou gerencia certo “poder” ou *status* similar ao de um portador de informações classificadas como confidenciais e restritas. Sugere este processo falta de transparência ou excesso de rigor para assegurar o *know-how* obtido ou retenção das estratégias praticadas nesta área, injustificáveis do ponto de vista de um bem ambiental.

Numa outra abordagem, Schluep (2012) do Laboratório Federal para Ciência e Tecnologia de Materiais da Suíça (Empa), registrou junto aos principais centros de reciclagem informal de lixo eletrônico no mundo, concentrado na África, China e Índia, maiores destinos de RT, um esforço para chamar a atenção sobre os perigos

da contaminação causados pela falta de planejamento e cuidados no processamento dos RT.

Conforme Visvanthan, Yin e Karthikeyan (2010), problemas similares de falta de estrutura para o processamento dos RT são observados nos países asiáticos em desenvolvimento, que estão recebendo mais de 80% dos resíduos eletroeletrônicos gerados a partir de todo o mundo, e que são principalmente reciclados pelos setores informais. Estes centros de reciclagem informais não estão usando a tecnologia de reciclagem nem gerindo os resíduos eletroeletrônicos adequadamente.

Outro aspecto a destacar é a fase de Coleta do RT, como já mencionado, também com características de informalidade generalizada, apesar da já destacada importância na base do sistema logístico reverso.

Como alternativas, ao considerar-se o estudo UNEP (2009a, p.21), o qual posiciona a cadeia de reciclagem como parte integrante da rede logística reversa (*i.e.* centros de processamento ou consolidação), entende-se que esta pode ser estabelecida simplificada considerando apenas três fases principais, como seguem:

1. Coleta;
2. Triagem (desmontagem, avaliação e pré-processamento);
3. Processamento final para recuperação e/ou destinação do material.

O controle bem estruturado na etapa de coleta significará ganhos de eficiência na cadeia logística, que é influenciada pelas incertezas quantitativas e qualitativas, bem como pelos fatores sociais. Estas condições devem ser consideradas ao se planejarem as tecnologias e sistemas de tratamento que serão utilizados.

Os pesquisadores da UNEP (2009a, p.28-40-68), avaliam que a fase de controle dos pontos de coleta, dos resíduos coletados, do tratamento e dos resultados alcançados é fundamental para se definirem formas mais eficientes de ação. Este é um fator normalmente negligenciado neste tipo de processo.

Outro limitador do desenvolvimento da LR dos RT são os custos embutidos no sistema. Conforme Yimsiri (2009, p.2), os custos existentes na rede logística

reversa são superiores aos custos incorridos pela logística direta ou na distribuição normal, devido às pequenas quantidades de movimentação e incertezas na demanda.

2.3 TÉCNICA DE OTIMIZAÇÃO PARA ROTAS LOGÍSTICAS

A otimização (heurística) tem como objetivo determinar, matematicamente, uma solução válida para um problema, sem precisar verificar todas as soluções possíveis.

De acordo com Rodrigues (2011), estes problemas são àqueles onde se deseja melhorar o resultado de uma função numérica, na presença de restrições. As funções e as restrições dependem dos valores assumidos pelas variáveis do modelo ao longo do procedimento de otimização.

De acordo com Yimsiri (2009, p.18), que realizou um estudo de caso baseado em logística reversa de produtos defeituosos para conserto (*recall*), ou pós-consumo, trata de um problema semelhante à definição da melhor rota para o Caixeiro Viajante, onde as soluções iniciais foram obtidas com a aplicação do algoritmo de Greedy. O objetivo seria minimizar o custo total, diminuindo a distância total do transporte que eventualmente leva à minimização da emissão de dióxido de carbono, representando um foco com preocupações ambientais.

Recomendou-se, portanto a abordagem heurística devido à complexidade do problema e do grande número de variáveis e restrições. No mesmo trabalho, Yimsiri (2009) pesquisou e citou alguns experimentos realizados por diversos autores, aplicáveis aos modelos quantitativos de sistemas de logística reversa, dos quais, fez-se uma síntese, parcialmente reproduzida no Quadro 3 a seguir.

Modelos de otimização quantitativos para sistemas de LR			
Autor	Modelo	Solução	Aplicação
Spengler et al. (1997)	Capacitado determinístico MIP	GAMS padrão	Reciclagem de subprodutos na produção do aço
Jayaraman (1999)	Capacitado determinístico MIP	GAMS padrão	Remanufatura de produtos eletrônicos
Fleischmann (2000)	Não capacitado determinístico MIP	CPLEX padrão	Remanufatura e reciclagem de papéis de impressão

Quadro 3 - Modelos de otimização quantitativos para sistema de LR

Fonte: Adaptado de Yimsiri (2009).

No Quadro 3, podem-se ver, de acordo com alguns autores, quais os modelos matemáticos, as soluções, os *softwares* e as aplicações direcionadas, que foram utilizados na simulação dos estudos de LR para serem aplicados nos sistemas de reciclagem e remanufatura para tipos variados de materiais e processos. Também se verifica, nesta amostragem, que o programa GAMS rodando o CPLEX, foi o recurso preferido para modelos determinísticos.

De acordo com Jayaraman, Patterson e Rolland (2003), o uso de ferramentas convencionais para resolver problemas de redes reversas é limitado devido à complexidade do problema, e o grande número de variáveis e restrições. Trata-se de um problema difícil (*NP-hard*) com resultados aproximados, e uma abordagem de solução heurística é por isto um método viável.

As características gerais de uma rede logística, já que se tratam basicamente de fluxos de materiais, são numerosas e sofre grande influencia do aspecto geográfico (*i.e.* distâncias de deslocamentos, frotas empregadas, tipos de materiais entre outros), sendo por este motivo, factíveis de soluções únicas e exclusivas.

Ortiz, Díaz e Velarde (2011) tratam da modelagem de uma rede logística para REEE, na qual são experimentadas hierarquicamente, três tendências para solução de problemas de otimização. Inicialmente usaram a MILP (programação linear inteira mista) para o problema de localização das instalações, depois, para definições da frota de veículos formularam novamente uma programação inteira e um algoritmo heurístico para o problema de coleta, e finalmente, a simulação das rotas de coleta para avaliação do sistema. Com a solução da modelagem matemática, buscaram-se definições para a localização das instalações de tratamento que seriam aquelas obtidas quando se conseguisse minimizar o custo total, por meio da melhor combinação entre as seguintes variáveis:

- a) Conjunto de depósitos ativos dentre um conjunto possível;
- b) As capacidades de armazenamento;
- c) Tipos de veículos alocados para cada depósito, e
- d) Distribuição de depósitos de acordo com os pontos de descarte.

Por outro lado a solução da modelagem da rota de coleta, também conhecida como função objetivo, será aquela adotada como a mais econômica para se efetuar

o transporte dos materiais entre os pontos de disposição e os depósitos, para, posteriormente, serem encaminhados às unidades de tratamento de REEE encerrando com a disposição final.

Para solucionar este problema, poderia-se adotar a solução através do desenvolvimento de um algoritmo linear, ou fazer o uso de *softwares* específicos para se efetuarem estes cálculos.

2.4 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), são produzidos, anualmente, no mundo, de 20 a 50 milhões de toneladas métricas de lixo tecnológico.

Grande parte desses resíduos é lançada na natureza de forma inadequada, causando a contaminação do meio ambiente devido à presença de metais pesados em alguns de seus componentes.

Outro problema é a proliferação de lixões tecnológicos, onde os equipamentos ficam dispostos ao ar livre sem nenhum tipo de controle aguardando definição.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica que possibilita a identificação dos impactos ambientais de um produto, processo ou qualquer atividade, desde a extração dos recursos primários, até o retorno, como resíduo, ao meio ambiente (UNEP/SETAC, 2009b).

Por outro lado, a inclusão da ACV depende do desenvolvimento de bases de dados, ou seja, da existência dos Inventários de Ciclo de Vida (ICVs) e de métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV).

O ICV, é uma fase inicial necessária na ACV, onde os dados são coletados, os sistemas modelados, e os resultados do inventário serão então obtidos (ABNT, 2009).

Valdivia e Caldeira (2005, p.145) explicam que o ICV é a base para a ACV, no que se refere à coleta, quantificação e qualificação das entradas e saídas que neste trabalho refere-se especificamente ao sistema de LR estabelecido para o tratamento dos RT. Para Weidema et al. (2010, p.14), um conjunto de dados (*data sets*) para

atividades no Ecoinvent representa um processo unitário de uma atividade humana, suas trocas com o meio ambiente e com outras atividades humanas.

Conforme Hischier (2007), seguindo os princípios do Ecoinvent, *Swiss Centre for Life Cycle Inventories* (Centro Suíço para Inventários de Ciclo de Vida) é necessário um levantamento de dados de forma estruturada e modular com registros padronizados, que possam facilitar a expansão ou a inclusão de produtos similares no futuro.

Como um exemplo de um sistema de LR para RT, pode ser citado às fases de coleta, triagem, limpeza, desmontagem, segregação e destinação dos componentes perigosos, encaminhamento para reciclagem, remanufatura ou reuso de componentes ou materiais úteis e o transporte, bem como a coleta dos dados referentes à quantificação, distâncias, capacidades produtivas, entre outros.

No Brasil, a base de dados para os estudos ACVs, usam em grande parte referências internacionais (e.g. base de dados do SimaPro - Ecoinvent, entre outros) exclusivamente em virtude da inexistência destes inventários específicos para o país (Hischier, et al., 2007).

Ugaya (2001) aponta como alternativa em longo prazo, a realização de ACVs simplificadas, que são, contudo, baseadas em ACVs completas.

Para se efetuar a ACV, que de acordo com o UNEP (2009b) tem como objetivo compreender e avaliar a magnitude e importância dos impactos em potencial para um sistema de produto ao longo do ciclo de vida do produto é preciso efetuar um amplo estudo de toda a cadeia e definir os limites do estudo.

Apresenta-se a seguir a Figura 1, que trata de um esquema gráfico simplificado, referência do Ecoinvent, caracterizando a modelagem de um sistema de produto, com o conjunto de dados e as características de uma atividade específica e que devem ser quantificados para realizar o estudo de ACV.

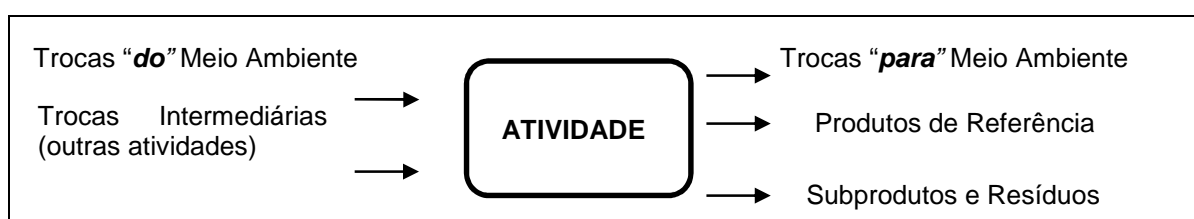


Figura 1 – Conjunto de dados para atividades e categorias de trocas

Fonte: Adaptado de Weidema et al. (2010).

Na Figura 1, no lado esquerdo visualizam-se as entradas (*inputs*) e no lado direito as saídas (*outputs*) do sistema onde se pode evidenciar que as trocas são comuns a ambos os lados. As trocas “do” meio ambiente, também chamada de trocas elementares, representam o que é extraído do meio ambiente sem transformação prévia pelo ser humano. As trocas intermediárias (*i.e.* energia, matéria prima, materiais, entre outras) são aquelas atividades necessárias à operacionalização do sistema de produto em questão, normalmente já influenciadas pelas atividades humanas.

Portanto, entradas são as trocas “do” meio ambiente e as trocas intermediárias. Já as saídas são as trocas “para” o meio ambiente, ou seja, emissões juntamente com os produtos de referência e os subprodutos ou resíduos.

Wang et al. (2010), destacam que os resultados de uma ACV podem ser usados como uma referência objetiva no processo produtivo, na reciclagem e na destinação, e ao mesmo tempo, subsidiar informações para reduzir a influência negativa sobre ambiente facilitando a proteção ambiental e o estabelecimento de uma rede logística.

Um estudo de ACV é dividido em quatro fases sequenciais (ABNT, 2009), sucintamente descritas a seguir.

- a) Fase 1 - Definição de Objetivo e Escopo: o propósito do estudo e a sua amplitude são definidos, envolvendo decisões importantes sobre fronteiras e a unidade funcional, que é a quantificação da função;
- b) Fase 2 - Análise do Inventário: informações sobre o sistema de produto são levantadas e as entradas e saídas consideradas relevantes para o sistema são quantificadas;
- c) Fase 3 - Avaliação de Impacto: os dados gerados na fase análise de inventário são associados a impactos ambientais específicos, para avaliação dos impactos potenciais;
- d) Fase 4 - Interpretação: os resultados obtidos na fase de análise de inventário e avaliação de impacto são combinados e interpretados de acordo com os objetivos previamente definidos na primeira fase.

Os dados coletados referentes às trocas efetuadas pelo sistema de produto devem atender a critérios prévios rigorosos, definidos para possibilitar boa confiabilidade da avaliação.

Tais dados devem considerar a abrangência temporal, geográfica e tecnológica. Adicionalmente também devem ser precisos, reproduzíveis, consistentes, confiáveis e representativos do sistema estudado (WEIDEMA et al., 2010).

Outro conjunto de dados complementares, necessários num estudo ACV, também de acordo com as orientações do Ecoinvent, são os chamados metadados, os quais identificam uma atividade por si mesma, tais como informações geográficas, tecnológicas, temporais, a origem, a representatividade, a validação dos dados e características administrativas do sistema em estudo (WEIDEMA et al., 2010).

Quanto à definição do escopo, ou seja, dos limites do estudo ACV, de acordo com as normas, Caldeira-Pires et al. (2005), propõem que se utilize como argumento esclarecedor a resposta às seguintes questões:

- 1º. Qual é a razão para realizar a ACV?
- 2º. Quais serão as decisões geradas com base nos resultados da ACV?

Assim, dadas essas respostas, considera-se que se abrem os caminhos para definir as características desejadas, ou seja, as Funções do sistema a ser avaliado e da Unidade Funcional, que representa a quantificação do produto necessário (Fluxo de Referência) para caracterizar a função.

Complementando, deve-se ter claro que os limites do escopo almejam a correta delimitação do sistema e não a qualidade do estudo. As limitações e considerações restritivas ou àquelas de menor impacto, não consideradas no estudo ACV, devem ser corretamente identificadas e explicitadas.

Como num fluxo sistêmico, o estudo da ACV é iterativo e os resultados, se não satisfatórios, indicam a necessidade de alterações e reanálises das fases anteriores para se atingir o objetivo desejado que deveriam estar alinhados com as expectativas da rede logística reversa em estudo, explicitamente, materiais e processos sustentáveis para novos produtos.

3 ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA DIAGNÓSTICO DA REDE LR DE REEE

Trata-se de um trabalho de pesquisa exploratória, focado num Estudo de Caso da Região Metropolitana de Curitiba (RMC), sendo apresentado no formato de capítulos, ancorado numa revisão bibliográfica, numa metodologia estabelecida de coleta e tratamento das informações obtidas, apresentação do estudo de caso, bem como da formatação de dados e análise de resultados dos estudos de rotas e impactos ambientais gerados, na fase transporte e beneficiamento, para a atividade.

Segue-se a contextualização e discussão dos resultados obtidos, finalizando num capítulo contendo as conclusões e propostas de encaminhamentos futuros.

No presente trabalho, será dado maior foco aos metadados, já que não existem trabalhos consolidados com o mesmo escopo do tema deste estudo e pelo fato de que a própria rede de tratamento de RT encontrar-se em processo de consolidação.

Efetuar-se-á a coleta de dados quantitativos (*i.e.* distância e massa transportada) relacionados com o fluxo dos RT, para posteriormente realizar a experimentação dos dados e informações coletadas via aplicativos usados na otimização de rotas e de um *software* ACV (*e.g.* GAMS e respectivamente o SimaPro), que permitirão visualizar e avaliar os impactos relativos ao transporte, gerados na rede logística de RT.

Planejou-se a abordagem das etapas a seguir, como procedimentos para obter os subsídios que permitam um correto dimensionamento da rede logística dos RT, bem como sua quantificação e visualização para posterior avaliação e propostas de possíveis melhorias para a solução do problema da LR dos RT:

1. Identificação dos atores para dimensionamento da rede LR dos REEE;
2. Definição das fontes para efetuar a coleta dos dados;
3. Coleta dos dados logísticos quantitativos e qualitativos;
4. Análise crítica e tratamento de dados para consolidação;
5. Estudo da rede logística reversa via software de Otimização;
6. Estudo de impactos da rede logística reversa via software ACV.

Para a elaboração da solução do problema das rotas de transporte, serão consideradas, do ponto de vista quantitativo, as seguintes características e variáveis:

- a) Centros de Consolidação (i.e. cooperativas e associações de coletores, UVRs, entre outros), quantidades, a capacidade de armazenamento e a localização;
- b) Processadores de RT, a sua capacidade produtiva e localização;
- c) Recicladores de Materiais, sua capacidade produtiva e localização;
- d) Pontos de descarte para destinação final de RT sem possibilidade de aproveitamento e a localização.

Também foram investigados os assuntos relacionados às restrições de cada variável, quando presentes, para delimitações pertinentes da rede logística dos RT. Finalmente, a solução que se pretende obter é baseada na modelagem de três aspectos comuns ao problema do atual trabalho, que são:

- I. Localização das instalações de tratamento;
- II. Rotas de coleta;
- III. Quantidades processadas.

3.1 OTIMIZAÇÃO DE ROTAS LOGÍSTICAS E A QUANTIFICAÇÃO DE IMPACTOS

Como orientação geral para a presente pesquisa, será abordada a experimentação via uso do *software* proprietário GAMS, versão 23.3-2009, disponibilizado pelo professor coorientador do PPGEM da UTFPR.

Inicialmente, irá se explorar os cálculos ofertados através das soluções das equações matemáticas pelo uso da Programação Inteira Mista (MIP), tendo como meta ou função objetivo o custo mínimo (*minimizing*) anual referente às rotas realizadas entre os centros coletores e depósitos de processamento da rede LR para os RT, na RMC.

Nessa fase do trabalho pretende-se testar as distâncias percorridas, juntamente com as cargas transportadas e as limitações que podem ser tanto de capacidade de carga como operacionais dos centros de processamento na rede logística reversa dos RT.

Os resultados oferecidos no estudo da otimização de rotas serão os mesmos dados a serem usados no cálculo de um *software* ACV, de acordo aos trajetos efetuados pelos veículos de carga automotores durante execução da rota logística reversa dos RT, que gerarão certo impacto ambiental dimensionável.

Basicamente, considerando a estrutura deste trabalho, se permitirá avaliar os impactos no meio ambiente, de forma simplificada, relacionados com as emissões de dióxido de carbono (CO₂), entre outros poluentes presentes e também as reduções decorrentes da reutilização de materiais recicláveis e componentes de RT, bem como da energia poupada, correspondente ao processamento dos materiais primários na da cadeia produtiva.

Os dados que serão necessários, relativos às movimentações diversas pelas quais os RT coletados são submetidos entre os componentes da rede logística reversa são os seguintes:

- a) Distâncias entre Cooperativas e os Processadores/beneficiadores de RT;
- b) Distância entre os Processadores/beneficiadores e Recicladores de materiais;
- c) Distância entre os Processadores/beneficiadores e Fabricantes;
- d) Distância entre os Recicladores e Fabricantes;
- e) Distância entre locais de disposição e centros de triagem;
- f) Distância entre URV e as Cooperativas e Associações.
- g) Distâncias entre os atores da rede e o aterro final.

Os dados relativos às quantidades movimentadas de acordo com as cargas de RT transportadas são:

- a) Quantidades de REEE coletados e triados na UVR;
- b) Quantidades de REEE coletados e triados / Cooperativas e Associações;
- c) Quantidades de REEE processados / Centros de Processamento;

d) Quantidades de materiais / Recicladores.

Estes dados tornam-se um fator crítico como já comentado em tópicos anteriores, principalmente pela falta de controles formais e de confiabilidade dos volumes transportados, bem como dos aspectos qualitativos do RT coletado, ou seja, apenas após a triagem inicial poderá se definir qual o fluxo adequado para o RT em questão (e.g. reciclagem, remanufatura ou disposição final).

Finalizando este subitem, restam ainda considerar os dados relativos às capacidades operacionais das unidades de processamento e do transporte, pois são considerados fatores restritivos a serem delineados no modelo matemático para se efetuar a análise lógica. Os dados operacionais necessários na composição do modelo matemático serão os seguintes:

- a) Capacidade de processamento das Cooperativas e Associações;
- b) Capacidade de processamento dos Centros de Triagem;
- c) Capacidade de processamento dos Recicladores/Beneficiadores;
- d) Capacidade de consumo de materiais reciclados dos Fabricantes (novos produtos);
- e) Capacidades de carga, as velocidades, o consumo de combustível e as horas trabalhadas para os veículos de transporte.

Utilizando os dados coletados como parâmetros, aplicaremos em equações criadas para este desafio, que auxiliam na definição dos melhores pontos de coleta, recuperação e integração, representados na formalização matemática para os seguintes problemas:

- I. Modelagem do problema de localização das instalações;
- II. Modelagem do problema da rota de coleta.

Tais equações foram escritas na linguagem computacional específica para uso do *software* GAMS e submetidas à experimentação de suas rotinas, de acordo com cenários idealizados para que o *software* confronte às diversas possibilidades e

junto aos diversos atores envolvidos realize a otimização da rede logística reversa previamente caracterizada.

3.2 TÉCNICA DE OTIMIZAÇÃO DA ROTA LOGÍSTICA

Nesta primeira etapa, os dados coletados são caracterizados e lançados no sistema GAMS para serem tratados por meio do *software* empregado para a Otimização de Rotas, que de acordo aos resultados, se avaliará logisticamente se os fluxos estão bem definidos e se os resultados obtidos são satisfatórios. Caso contrário, de modo iterativo, altera-se a abordagem observando-se as variáveis, os parâmetros e as restrições, gerando novos cálculos, até que cenários factíveis sejam ofertados aos interessados da rede logística, neste caso para de RT.

Apresenta-se a seguir toda a concepção das equações do modelo matemático, de acordo com o método orientado para a ferramenta GAMS..

O modelo matemático busca experimentar cenários idealizados de acordo com a situação real investigada e também possíveis modificações e tendências geradoras de melhorias no âmbito econômico-ambiental para os envolvidos na rede logística reversa e em todo o entorno.

Trabalha-se no GAMS com parâmetros, variáveis e as respectivas restrições buscando a melhor solução para o problema, de acordo a função objetivo que neste trabalho tratará de identificar o Custo Mínimo para as rotas de coleta dos RT na RMC. Segue-se a apresentação e explicações relativas ao modelo matemático proposto, denominado por Equações de Logística Reversa (fim da vida de produtos eletrônicos):

A função objetivo é dada pela equação 1. O objetivo é minimizar $Cost$, que indica o custo anual da operação de logística reversa do resíduo eletrônico na RMC.

A expressão $(\sum_v CV_v * veic_v)$ apresenta o custo anual de amortização dos veículos disponíveis.

Em função da situação local (RMC), os veículos disponíveis serão todos associados ao ponto de triagem. Assim, qualquer veículo v sairá do ponto de triagem, se deslocará a um ou vários locais de coleta de lixo reciclável e, depois de

ser carregado, retornará ao ponto de triagem. Alternativamente, o veículo poderá se deslocar do ponto de triagem para um dos centros de beneficiamento de lixo reciclável e, depois de descarregar, retornará ao ponto de triagem. Neste modelo matemático, quaisquer “viagens” de um veículo serão identificadas pelo índice c , seja ela para um (ou vários) local (is) de coleta de resíduos ou para um centro de beneficiamento de resíduo. Assim, a expressão $(\sum_v CKm_v \sum_c Dist_c * num_{v,c})$ indica o custo anual por quilômetro rodado dos veículos e $(\sum_m CA_t_m \sum_{c \in Aterro} qtd_{m,c})$ indica o custo anual com a remessa de materiais (não reciclados) ao aterro sanitário da cidade.

Função Objetivo

$$(Min) Cost = \sum_v \left(CV_v * veic_v + CKm_v \sum_c Dist_c * num_{v,c} \right) + \sum_m CA_t_m \sum_{c \in Aterro} qtd_{m,c} \quad (1)$$

onde:

Parâmetros

$Cost$ custo total anual (R\$);

CV_v custo de amortização anual do veículo v (R\$);

CKm_v custo do quilômetro rodado do veículo v (R\$/km);

CA_t_m custo por tonelada de material m descartado para o aterro sanitário (R\$/t);

$Dist_c$ distância do trajeto c (km).

Variáveis

$veic_v$ quantidade de veículos do tipo v existentes;

$num_{v,c}$ número anual de viagens pelo trajeto c do veículo do tipo v ;

$qtd_{m,c}$ quantidade em toneladas do material m deslocadas, percorrendo trajeto c (t).

Nesta equação, o único destino considerado é o aterro sanitário.

As restrições do problema são dadas a seguir. A expressão 2 indica que a quantidade total transportada não pode exceder a capacidade de transporte disponível. Ou seja, para que todo o material disponível seja transportado, é preciso prover capacidade de transporte. O lado esquerdo da expressão, expressa a

quantidade total anual transportada de todos os materiais (note o somatório de m) transportados em quaisquer trajetos (note o somatório de c). Na expressão 2, $qtd_{m,c}$ indica a quantidade de material m deslocado pelo trajeto c . No lado direito da expressão, o termo $(CapV_v * veic_v)$ multiplica a capacidade de carga do veículo v ($CapV_v$) pelo número de veículos do tipo v ($veic_v$). Note que o veículo v será desconsiderado se a variável $veic_v$ for nula. Assim, apenas os veículos existentes serão considerados, somando-se a capacidade deles e, depois, multiplicando-se a capacidade total pelo número de dias úteis no ano (Neste problema, $Dias = 250$), resultando na “capacidade de carga anual”. Necessariamente, a quantidade total anual transportada deve ser menor ou igual à capacidade de carga anual, como indicado na expressão 2.

$$\sum_m \sum_c qtd_{m,c} \leq Dias \sum_v CapV_v * veic_v \quad (2)$$

onde:

Parâmetros

$Dias$ número de dias úteis no ano: $Dias = 250$

$CapV_v$ Capacidade de carga do veículo v (kg).

A expressão 3 é gerada para todos os trajetos c . O lado esquerdo da expressão $(\sum_m qtd_{m,c})$ expressa a quantidade total (note o somatório de todos os materiais) anual transportada pelo trajeto c . Multiplicando-se a capacidade de carga ($CapV_v$) ao número total anual de viagens ($num_{v,c}$), tem-se o total máximo de carga que pode ser transportado pelo trajeto c . Esta expressão impõe que a quantidade total anual transportada pelo trajeto c será menor ou igual ao total máximo de carga que pode ser transportado neste trajeto. Assim, se não houver nenhuma viagem (para qualquer veículo v) pelo trajeto c , então a quantidade total anual transportada será necessariamente nula. Ou seja, é preciso viajar para poder transportar.

$$\sum_m qtd_{m,c} \leq \sum_v CapV_v * num_{v,c} \quad \forall c \quad (3)$$

As restrições (expressões) 4 e 5 atuam conjuntamente, e são geradas para todo veículo v . O lado esquerdo da expressão 4 ($Horas * veic_v$) expressa à quantidade total diária de horas disponíveis do veículo do tipo v (considerou-se: $Horas= 8$). No lado direito da expressão 4, a variável soma do tempo total de viagem do veículo v ($stempo_v$) não pode exceder o valor do lado esquerdo da expressão.

Na inequação (expressão) 5, $Carga_{v,c}$ identifica o tempo $[h]$, demandado de carga e descarga do veículo v , $Dias$ indica o número de dias úteis no ano (sendo, $Dias = 250$), $Dist_c$ indica a distância a ser percorrida pelo trajeto c e $Veloc_{v,c}$ indica a velocidade média (em km por h) do veículo v no trajeto c . O número anual de viagens do veículo do tipo v pelo trajeto c é dado pela variável $num_{v,c}$ e o número diário de viagens do veículo do tipo v pelo trajeto c são dados pela variável $nvd_{v,c}$. O tempo total de viagem é indicado do lado direito desta expressão, sendo que a variável soma do tempo total de viagem do veículo v ($stempo_v$) será maior ou igual ao valor do lado direito desta expressão. Ou seja, associando-se as expressões 4 e 5, a quantidade total diária de horas disponíveis do veículo do tipo v ($Horas * veic_v$) será sempre maior ou igual ao lado direito da expressão 5.

$$Horas * veic_v \geq stempo_v \quad \forall v \quad (4)$$

$$stempo_v \geq \sum_c \left(\frac{Dist_c * num_{v,c}}{Dias * Veloc_{v,c}} + Carga_{v,c} * nvd_{v,c} \right) \quad \forall v \quad (5)$$

onde:

Parâmetros

- $Horas$ número de horas úteis diárias: $Horas= 8$;
 $Veloc_{v,c}$ velocidade média do veículo v no trajeto c (km/h);
 $Carga_{v,c}$ identifica o tempo total, demandado de carga e descarga, por tipo de veículo v (h).

Variáveis

- $veic_v$ quantidade de veículos do tipo v lotado no local;
 $stempo_v$ soma do tempo total de viagem do veículo v lotado no local (h);
 $nvd_{v,c}$ número diário de viagens do veículo tipo v no trajeto c .

As restrições (expressões) 6 e 7 atuam conjuntamente, e são geradas para todo veículo v . O lado esquerdo da expressão 6 expressa a soma do número anual de viagens do veículo do tipo v por todos os trajetos (somatório de c). O lado direito da expressão 6, apresenta o produto da constante 0,3 pelo número de dias trabalhados ($Dias = 250$) pelo número de veículos do tipo v ($veic_v$). Assim, a restrição 6 impõe que a soma do número anual de viagens do veículo do tipo v deve ocupar ao menos 30 % da disponibilidade dos veículos do tipo v . A restrição 7 expressa que o número diário de viagens do veículo do tipo v pelo trajeto c é dado pela variável $nvd_{v,c}$. As variáveis $nvd_{v,c}$ e $num_{v,c}$ são ambos números inteiros, sendo que $nvd_{v,c}$ é um arredondamento para cima de $num_{v,c}/Dias$.

$$\sum_c num_{v,c} \geq 0,3 * Dias * veic_v \quad \forall v \quad (6)$$

$$\frac{num_{v,c}}{Dias} \leq nvd_{v,c} \leq 1 + \frac{num_{v,c}}{Dias} \quad \forall v, c \quad (7)$$

A restrição 8 expressa o balanço para cada material m que passa por um local l , que pode ser um local de coleta, de triagem ou de beneficiamento de resíduo. Nesta restrição, $rec_{m,l}$ indica a quantidade de material m coletada no local l (no caso de um local de coleta), $\sum_{c \in Dest} qtd_{m,c}$ representa a quantidade de material m transportada (pelo trajeto c) para o local l ; ou seja, a quantidade de material destinada ao local l (por exemplo, quando l é o centro de triagem ou beneficiamento). O somatório $\sum_{c \in Cons} qtd_{m,c}$ representa a quantidade de material m coletada no local l e transportada pelo trajeto c para outro local (por exemplo, centro de triagem ou beneficiamento ou aterro). A variável $proc_{m,l}$ indica a quantidade de material m processada no local l , quando l é um local de beneficiamento de lixo. A restrição 9 impõe uma capacidade máxima anual de beneficiamento de resíduos m , no local l , $CAP_{m,l}$.

$$rec_{m,l} + \sum_{c \in Dest} qtd_{m,c} = \sum_{c \in Cons} qtd_{m,c} + proc_{m,l} \quad \forall m, l \quad (8)$$

$$proc_{m,l} \leq Dias * CAP_{m,l} \quad \forall m, l \quad (9)$$

A restrição 10 foi usada como um teste adicional. Ela permite impor uma quantidade mínima de veículos α . Houve testes em que esta restrição foi adicionada como um teste de como o modelo matemático se comportaria. Além disso, esta restrição permitiu simular o impacto financeiro de cenários diferentes (com mais veículos).

$$\sum_v \text{veic}_v \geq \alpha \quad (10)$$

onde:

Parâmetros

$CAP_{m,l}$ capacidade máxima de beneficiamento diária de resíduo no local (l) ;

α quantidade limitada de veículos v disponíveis para operarem na rede.

Variáveis

$rec_{m,l}$ quantidade de material m coletada no local l (t) ;

$proc_{m,l}$ quantidade de material m processada no local l (t) .

A aplicação efetiva e os resultados gerados pelo modelo matemático, bem como dos parâmetros, variáveis e restrições, serão apresentados no item 4.6, relacionado com o estudo de caso da LR os RT na RMC.

3.3 APLICAÇÃO DA ACV NA REDE LR DOS REEE

Numa segunda etapa, os dados coletados serão estruturados para uso no *software* SimaPro, utilizando a base de dados disponível nos inventários do Ecoinvent, no qual se poderá avaliar simplificadaamente os impactos gerados na cadeia logística de RT da RMC.

A ferramenta de ACV, SimaPro, versão 7.2.2- *Faculty*, foi disponibilizada pela orientadora do PPGEM da UTFPR.

Utilizam-se os resultados gerados e coletados para, juntamente com as definições do sistema de produto, dos fluxos e limites da primeira fase de um estudo de ACV, que corresponde à definição dos objetivos e do escopo, da rede logística reversa dos RT, avaliar os impactos desta rede.

Também, de acordo com Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2009), como regra básica num estudo ACV, inicialmente após o objetivo e escopo, deve-se definir:

- Função: requisitos do serviço (e.g. o transporte na logística reversa dos RT coletados);
- Unidade Funcional: quantificar os serviços (e.g. o transporte para a logística reversa dos RT coletados durante o mês);
- Fluxo de Referência: é a quantidade do produto referência, necessário para se obter a unidade funcional (e.g. energia necessária ao transporte de RT coletados e processado no sistema durante o mês).

Significa que todos os impactos gerados correspondem às necessidades (e.g. veículo(s) de transporte) para se prestar os serviços, pelo sistema de produto, para uma (1) unidade do fluxo de referência.

De forma sistêmica, pode-se prever que os resultados de menor impacto ambiental são aqueles que representam as menores rotas, pois resultam num menor consumo de combustíveis. Porém, quanto aos resultados relativos ao reaproveitamento de materiais, reuso ou aterramento dos RT, dependerá exclusivamente do escopo desejado e da análise efetuada pelo SimaPro.

Os resultados e parâmetros serão modelados como processos operacionais no Simapro, que relacionados com a base de dados, fornecerá os valores correspondentes gerados pelos fluxos de materiais e energia necessários para operacionalização da rede LR dos RT na RMC.

A apresentação destes resultados pode ser no formato numérico ou gráfico e deve ser visualizada no item 4.7, relacionado com o estudo de caso.

3.4 FONTES PARA COLETA DOS DADOS

Escolhe-se como primeira tarefa a pesquisa e contatos junto aos setores envolvidos a fim de reunir dados suficientes para que possibilitem um mapeamento mais aprimorado (*i.e.* qualitativo) da rede logística para REEE.

A metodologia adotada para coleta de dados foi por meio da entrevista e consulta de documentos e dados virtuais quando autorizado, junto aos funcionários de coordenação e arquivos de cada centro de atividade.

Isto implicou a localização, contatos pessoais, caracterização, classificação e organização dos seguintes aspectos:

- a) Coletores autônomos organizados;
- b) Coletores da prefeitura (UVR e Centros de coleta);
- c) Cooperativas de coletores;
- d) Centros de Triagem e /ou Processamento;
- e) Beneficiadores de materiais reciclados;
- f) Destinação final (aterros controlados ou não).

Inicialmente planejou-se a elaboração de formulários específicos, estruturados de acordo com o padrão de inventários para estudos ACV utilizados no Ecoinvent, para cada nível da rede logística, desde os catadores até a fase de fabricação utilizando-se materiais reciclados ou remanufaturados.

Quanto aos endereços dos centros e associações, foram obtidos, e de posse da distribuição espacial, com o auxílio de aplicativo disponibilizado gratuitamente na internet (*i.e. Google Maps*), obteve-se mais um conjunto de dados, ou seja, as distâncias mínimas aproximadas, em quilômetros, relativas entre os pontos de descarte, coleta, consolidação e destino final.

3.5 TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS METADADOS COLETADOS

De posse dos formulários, tem-se o início da fase de coletas de dados propriamente dita. Tais informações, referentes ao fluxo dos RT, necessárias ao dimensionamento da rede logística reversa estudada devem ser inicialmente coletadas junto aos atores da rede logística reversa, escalonada em níveis, que é composta por:

- I. Coletores autônomos e oficiais:
- II. Cooperativas de Coletores
- III. Centro de Triagem e /ou Processamento
- IV. Beneficiadores de materiais reciclados

Os tipos de dados a serem pesquisados nos coletores, cooperativas, centros de triagem e de beneficiamento dos RT incluíam:

1. Quantidades coletadas e/ou recebidas (volume, unidade, frequência).
2. Tipos de REEE (qualitativo).
3. Origem (geográfico).
4. Distâncias entre pontos de coleta e descarga, fornecedores e clientes (km).
5. Frequência da coleta (temporal).
6. Destino e quantidades após coleta e processo (entrada e saídas).
7. Processos praticados (desmontagem, compactação, entre outros).
8. Tipo de produtos entregue após processamento (saídas).
9. Rejeitos (se existentes, quantidades e destino).
10. Valores envolvidos nas operações de compra e venda (custos).

De forma prática, faz-se necessária a obtenção das devidas permissões de acesso às informações e dos agendamentos das visitas para efetivamente coletar os dados e preencher os formulários nos devidos locais de interesse.

Nessa fase, o contato com os centros de consolidação é um ponto crucial para o sucesso da pesquisa. Todos os agentes da rede logística, coletores autônomos, recicladores e beneficiadores têm como prática efetuarem contatos e seus negócios nos centros de consolidação e triagem, local onde todos se reúnem.

Trata-se de oportunidade ímpar para coletar de forma centralizada a maioria das informações necessárias e conhecer os processos envolvidos.

Após todos os dados coletados, preencheram-se as planilhas, geradoras de tabelas diversas, seguindo então para a fase final de análise crítica e consolidação das informações coletadas.

3.6 ANÁLISE CRÍTICA E TRATAMENTO DOS DADOS PARA CONSOLIDAÇÃO

Esta etapa é aquela onde os dados coletados são analisados criticamente, ou seja, se verifica a qualidade por meio de um método quantitativo (e.g. análise de variância) ou qualitativo (e.g. Matriz Pedigree). Esta avaliação se dará de acordo com a quantidade das informações disponibilizadas e suas particularidades.

3.7 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Não faz parte do escopo deste trabalho a realização de um completo estudo de ACV, ou seja, de toda a cadeia de REEE (*i.e.* “do berço ao túmulo”), mas apenas o sistema relacionado com a logística reversa dos REEE na RMC.

Para um estudo ACV de toda a cadeia logística direta e reversa, seria necessária a coleta criteriosa de dados de toda a cadeia (*i.e.* fornecedores de materiais, produtores de componentes, montadoras de EE, rede de distribuição de produtos EE, varejo e atacado, entre outros), só possíveis com a realização de pesquisas amplas e exaustivas realizadas por grupos de pesquisadores, a exemplo daquelas executadas e disponibilizadas pelo Centro de Inventários *Ecoinvent*.

No presente estudo, todas as atividades envolvidas posteriormente ao descarte pós-vida útil do produto eletroeletrônico, ou seja a coleta, o processamento e o descarte, serão identificadas, quantificadas e estudadas.

Este trabalho busca proporcionar uma base para estudos específicos e focados na LR dos REEE, visto que o tema ainda não foi amplamente estudado no país.

3.8 CONCLUSÕES E EXPECTATIVAS

O aspecto de informalidade verificada junto aos atores da rede logística podem revelar ocorrências atípicas, ainda não registradas no fluxo operacional comum, que podem influenciar no trabalho, e que devem ser verificadas *in loco*.

Por outro lado, foi evidenciado que a colaboração inicial das centrais de tratamento de resíduos deve-se ao reconhecimento momentâneo das próprias dificuldades e pelas limitações do setor, que à medida que ganham a devida importância e reconhecimento, poderão ser mais bem estudadas e conhecidas no curto e médio prazo.

Os contatos iniciais com os atores da cadeia logística provam que o problema da Logística Reversa dos RT precisa ser estudado e dimensionado, e que propostas técnicas para apoio ao tratamento e destinação serão bem vindas e necessárias.

Como exemplo desta necessidade, cita-se o apelo, da coordenadora da ONG Instituto Lixo & Cidadania, para que o trabalho seja desenvolvido em parceria com a mesma, e os resultados são aguardados com grandes expectativas.

Evidencia-se também a colaboração pela disponibilização de informações e registros de dados próprios da organização para comporem esta pesquisa (e.g. endereços, quantidades coletadas, preços de venda, faturamento médio, entre outros), parcialmente consolidados e organizados de acordo ao Apêndice A.

Tratando-se de uma análise mais profunda, percebe-se que o trabalho de campo será fundamental para a viabilização da pesquisa, pois os dados devem ser coletados junto ao primeiro nível da rede logística (coletores autônomos) para se viabilizar e aprofundar o estudo.

Deve-se também esperar profundas modificações na dinâmica da rede LR dos RT, motivada pela lei da PNRS, que dá como prazo efetivo de adequação as normas, para produtores, importadores e consumidores o ano de 2014.

Acredita-se que, a aplicação na prática das técnicas e procedimentos da Otimização de Rotas e das avaliações proporcionadas pela ACV, poderão significar importantes recursos para o estabelecimento de uma eficiente rede logística reversa dos REEE, contribuindo para mitigação dos impactos ambientais.

4 ESTUDO DE CASO: A REDE LOGÍSTICA REVERSA DOS REEE NA RMC

Como instrumento de avaliação, planejou-se a utilização dos dados coletados da rede logística dos RT na RMC, parâmetros reais, aplicando-os nos modelos matemáticos desenvolvidos para otimização das rotas e posteriormente na ferramenta de ACV.

Este capítulo tratará então de expor os resultados obtidos com a coleta dos dados e o uso das técnicas propostas, na situação real e também pela comparação com cenários hipotéticos, delineados especificamente para atender situações desejáveis relacionadas ao mundo da rede logística reversa dos RT.

Tais situações hipotéticas serão aplicáveis e justificadas mediante a ótica e o resultado das avaliações e estudos realizados, experimentados pelas técnicas de otimização e avaliação do ciclo de vida, aqui apresentadas.

Busca-se contribuir com avanços e benefícios, de amplitude econômica, ambiental e social a todo o entorno dessa rede logística estudada. Segue-se então, nas próximas seções, o desenvolvimento desta ideia.

4.1 REDE LOGÍSTICA REVERSA REEE NA RMC

O processo de reinserção dos PDPC e seus componentes ou materiais requer uma rede logística reversa projetada de forma que se contemplem os processos de coleta pós-consumo, triagem, encaminhamento para reuso, remanufatura ou reciclagem de materiais, finalizando com a destinação adequada para aqueles itens não aproveitados, incapazes de agregar algum valor à cadeia, sem que haja agressão ou impactos ao meio ambiente.

A modelagem desta rede logística reversa deve considerar todos os atores envolvidos, ou seja, os fluxos de materiais, as tecnologias existentes, os centros de triagem e distribuição, os pontos de reaproveitamento, as quantidades, a qualidade, o transporte, entre outros.

De acordo com Dias (2010) no Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS) de Curitiba, atualmente parte dessa responsabilidade é compartilhada pelo município, pois este realiza tarefas que na esteira na nova legislação municipal e federal são responsabilidade de rede de fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes.

Desta forma, em acordo com o artigo 33 da Lei Federal nº 12.305, de 02/08/2010, que institui a PNRS, redes logísticas de coleta e tratamento dos resíduos deverão ser urgentemente dimensionadas e implementadas, em todo o país, para que as responsabilidades sejam redistribuídas em atendimento à legislação que por hora, também se encontram passando por um processo de ajustes e regulamentação.

Exemplo recente é o lançamento pelo MMA do manual denominado Planos de gestão de resíduos sólidos: manual de orientação, para orientar todos os níveis de governo (federal, estadual e municipal), sobre estas providências que devem ser finalizadas até 2014.

4.2 DIMENSIONAMENTO DA REDE LR DOS REEE NA RMC

O presente trabalho de pesquisa foi desenvolvido pelo autor na RMC, junto aos principais centros de consolidação de resíduos coletados, formais e informais.

Como já mencionado, na base da rede logística dos RT, ou seja, junto aos coletores autônomos (carrinheiros), propriamente ditos, não se visualizou condições favoráveis para desenvolvimento de trabalhos com perspectivas confiáveis, devido à grande informalidade que se trata de uma característica típica deste trabalho.

A prefeitura de Curitiba estima a existência de 3000 coletores de resíduos recicláveis autônomos cadastrados nas cooperativas e associações da RMC (CUNHA, 2008).

Em virtude do anteriormente exposto, optou-se por contatar uma Organização Não Governamental (ONG), denominada Instituto Lixo & Cidadania do Paraná de atuação destacada na área e que tem hoje centralizada o recebimento para

consolidação dos resíduos reunidos por 25 Cooperativas e Associações de Coletores de Resíduos Recicláveis da RMC, que somam aproximadamente 600 coletores autônomos, e de acordo com seus coordenadores, representam na média entre 70 a 80% em volume daqueles resíduos recicláveis gerados e coletados na RMC.

De acordo com os gestores da ONG, não existem incentivos econômicos para a coleta direcionada dos RT, pela falta de infraestrutura (*i.e.* armazenamento, tratamento, entre outros) e da baixa remuneração paga pelos intermediários aos coletores autônomos desses tipos de resíduos.

Estes intermediários, na prática, revendem os materiais adquiridos, vendidos pelas associações com baixo valor agregado (*e.g.* devido à separação e classificação prévia) obtendo lucro, proporcionado pelas vantagens de aquisição a baixo custo e formação de estoques homogêneos. Têm assim, o poder de barganha aumentado, em virtude dos fluxos de materiais consolidados serem, relativamente, constantes.

Cabe esclarecer que, no beneficiamento de resíduos, a homogeneidade do lote e a oferta constante de materiais são uma das principais necessidades dos beneficiadores, fator de impacto no balanceamento e ajuste dos equipamentos de produção.

Por outro lado, também se efetuaram diversos contatos com os representantes da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMMA) no Departamento de Limpeza Pública (MA-LP), que poderiam fornecer ou indicar como obter os dados quantitativos relativos ao Lixo que não é Lixo (LQNL) e a uma parcela menor dos resíduos chamados especiais ou perigosos (*i.e.* baterias, lâmpadas fosforescentes, óleo de cozinha, entre outros) dos quais se sabe que entre eles RT também estão presentes.

Esta parcela, referente aos resíduos especiais, são aqueles entregues espontaneamente pela população em um dos 24 terminais da central de transporte urbano da RMC, portanto não são coletados pelos carrinheiros. Parte dos dados da rede formal pode ser visualizada no site do IPPUC.

Constatou-se que estes resíduos especiais coletados nos terminais são transportados para os mesmos centros de consolidação dos demais resíduos reciclados para posteriormente serem triados e encaminhados para deposição em

condições controladas e especiais requeridas pela legislação devido à periculosidade.

Para exemplificar este trabalho, foi elaborado pelo autor uma representação do fluxo logístico dos resíduos recicláveis LQNL e RT na RMC, que poderá ser visualizada na Figura 2 a seguir.

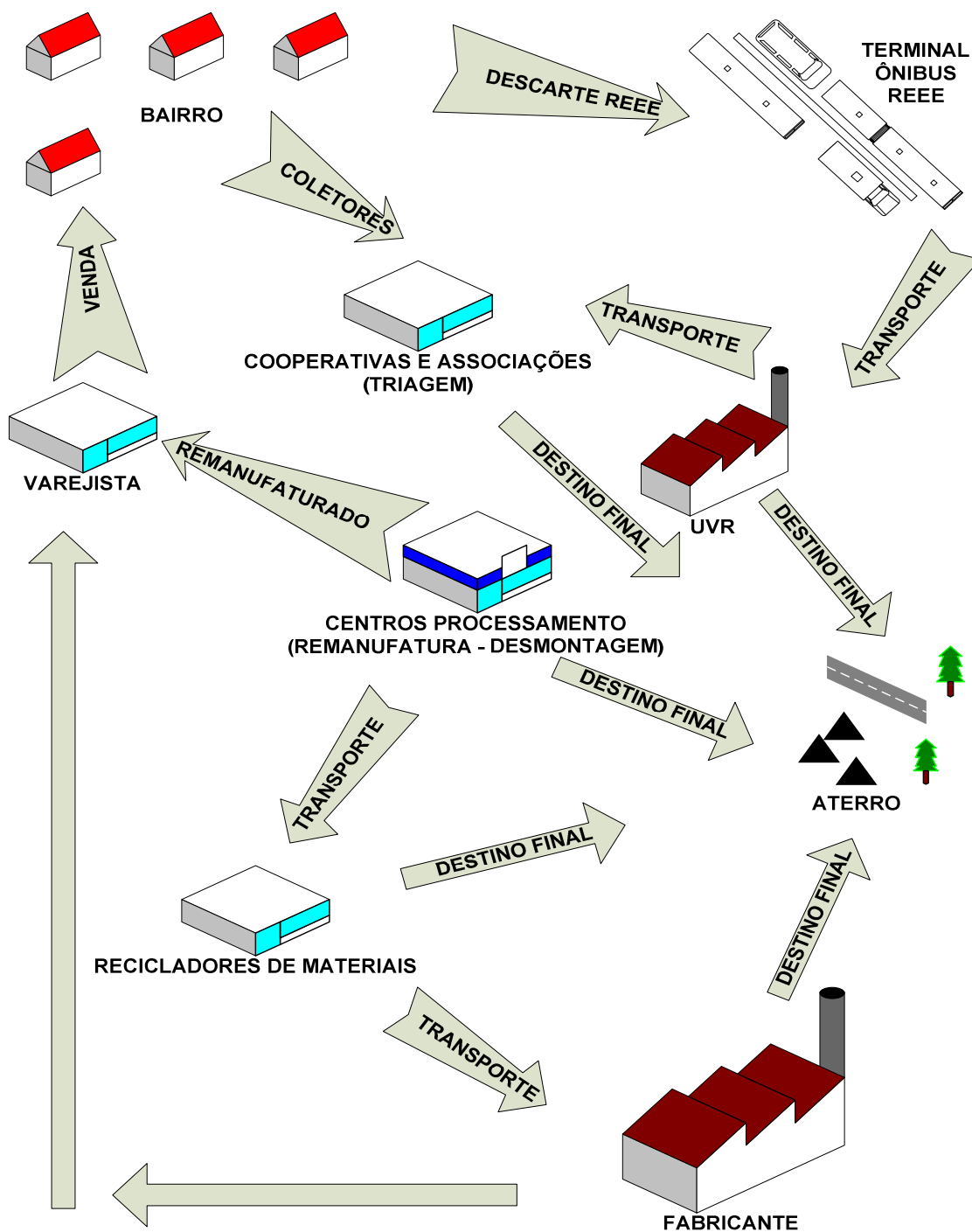


Figura 2 - *Layout* esquemático do fluxo logístico dos RT na RMC
Fonte: Autor (2011).

Na Figura 2 podem ser visualizados os diversos fluxos hipotéticos que um equipamento eletroeletrônico descartado deve percorrer passando pelos pontos de coleta, tratamento e descarte do produto ao final da vida.

Ocasionalmente, este trabalho tratou de identificar na rede logística para coleta de resíduos recicláveis ou LQNL em geral, previamente estabelecida, os aspectos genéricos (*i.e.* opções de destinação, materiais relevantes para reciclagem, cuidados no manuseio, entre outros) que levem a valorização dos RT e para que possam ser integrados estrategicamente à mesma.

Pela diversidade de resíduos recicláveis observada, espera-se, no médio prazo, baixo interesse dos centros visitados em atuar linearmente com o tratamento de RT, o que é o ideal. Para realizar trabalhos de tratamento dos RT se necessitam de habilidades e estrutura mínimas diferenciadas das atualmente praticadas.

Em alguns centros, porém, já se percebe certa tendência pela sobreposição de tratamentos, mesclando se os resíduos recicláveis comuns com os tecnológicos, fator de oportunidade operacional.

Quanto aos contatos e endereços dos centros e associações, inicialmente foram obtidos junto a Secretaria de Estado do Trabalho Emprego e Promoção Social (SETP) do Paraná, em virtude da divulgação de um cadastro geral de catadores de resíduos, que se encontrava em processo aqui no estado. Mas, por motivos desconhecidos, tal cadastro, se existente, não estava disponível na web ou pessoalmente.

Em seguida, efetuou-se contato com a ONG Instituto Lixo & Cidadania (I-Lix), que disponibilizou a base de dados completa, previamente utilizada num plano de negócios, chamado Projeto Cataforte, voltado para a geração de trabalho e renda dos catadores de resíduos recicláveis do estado do Paraná.

Partes significativas, dos primeiros dados obtidos deste trabalho poderão ser visualizadas por meio das tabelas disponíveis nos Apêndices A e B.

No próximo tópico trataremos alguns aspectos relacionados com a coleta de dados pretendida.

4.3 COLETA DE DADOS DA REDE LOGÍSTICA REVERSA DE REEE DA RMC

Depois de efetuadas algumas visitas aos centros de coleta e processamento de resíduos na Região Metropolitana de Curitiba (RMC) percebe-se que os procedimentos usuais estão estabelecidos de forma provisória, com grande informalidade, ausência de tecnologias, estrutura e recursos para consolidar-se de maneira plena e eficiente.

Diante disso, os procedimentos planejados para coleta dos dados via formulários careciam de suporte para tal, pois se percebeu que a fonte desta atividade era, na maioria dos casos, a tarefa importante pendente a ser ainda estruturada pelas associações.

Sendo assim, buscou-se então outra forma para obtenção de dados, ou seja, diretamente num nível hierárquico superior, com os gestores da rede.

Esta informalidade, a princípio, parece ser motivada pelos limites econômicos da atividade, já que a mesma ainda não é totalmente rentável do ponto de vista comercial, ou seja, muitas vezes a rede para RT não é dimensionada para proporcionar lucro (Cottrill, 2003), mas sim atender à legislação e *marketing* verde. A LR depende em grande parte de subsídios para sustentar suas operações.

Atualmente priorizam-se as atividades relacionadas com os resíduos que oferecem rápido retorno financeiro para os coletores (e.g. alumínio, papel e papelão, vidro, entre outros), em prejuízo daqueles resíduos tecnológicos que necessitem de operações adicionais (e.g. limpeza, avaliação, segregação de materiais ou componentes perigosos, entre outras), que para comercialização dependem de maiores volumes, e por esse motivo geram estoques e custos adicionais, bem como o prolongamento do ciclo ao dificultar a venda imediata.

Também se observou que nas etapas iniciais do processo (*i.e.* coleta dos resíduos recicláveis e transporte) não existe sistematização ou preocupação para tratamento específico de RT, e sim o manuseio conjunto com demais tipos de resíduos (e.g. papel, vidros, lâmpadas, plásticos, entre outros), conhecidos na região como Lixo que não é Lixo (LQNL), compartilhando da mesma estrutura logística atualmente estabelecida.

Cunha (2008) cita que a Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Curitiba (SMMA), destaca que os resíduos informalmente coletados (*i.e.* coletado pelos

carrinheiros ou catadores) e reciclados somam 92% do total de resíduos recicláveis da cidade.

Percebe-se que, não existem, atualmente, índices gravimétricos claramente definidos para os RT coletados. Este problema se deve aos diversos motivos, entre os quais se cita a precocidade da problemática ambiental (*i.e.* contaminação pelos componentes tóxicos) causada pelos RT descartados, a variável capacidade de consumo alinhada com a oscilação da economia nos diversos aglomerados populacionais, a crescente demanda por equipamentos tecnológicos, aspectos culturais de cunho ambiental, ausência de incentivo aos catadores de resíduos, entre outros.

Outro dado obtido nas entrevistas durante o contato com representantes da ONG Instituto Lixo & Cidadania do Paraná, é que se estima que do volume total de LQNL coletados, aproximadamente 10% constituem-se de RT, transportados, misturados, juntamente com os demais resíduos recicláveis (*e.g.* papel, papelão, plásticos, garrafas de óleo de cozinha, entre outros). Esse índice aproximado será utilizado como referência dos cálculos neste estudo, em virtude da falta de dados mais confiáveis no momento.

De acordo com o gestor da Usina de Valorização de Resíduos (UVR) de Campo Magro, o índice gravimétrico dos RT que compunham o LQNL estava próximo de 0,6% em 2005 (TAVARES, 2007).

A coleta de resíduos na RMC, de acordo com a SMMA, representa apenas 23% do total gerado que é separado nas residências e locais de trabalho. A quantidade tem crescido bastante, cita-se que no período de 2006-2011 houve um aumento de 150%, acompanhando a tendência de crescimento observada principalmente nos países emergentes.

Pretende-se efetuar o levantamento de dados seguindo duas fontes, ou seja:

- a) Coleta do RT via oficial, realizado pelo município e consolidado na Usina de Valorização de Resíduos (UVR) em Campo Magro, Projeto Ecocidadão e Terceiros;
- b) Coleta do RT via informal, realizada pelos coletores e consolidada no Central de Valorização de Materiais Recicláveis (CVMR) em Pinhais.

Essas diretrizes relacionam-se com a necessidade de acesso a dados oficialmente registrados, para credibilidade. Por outro lado, o acesso aos dados do setor informal, como já mencionado, justifica-se por representar a maior parcela dos resíduos coletados.

Em face do observado num centro de tratamento de REEE, pode-se constatar o funcionamento de um fluxo LR básico simplificado, composto apenas por três níveis ou fases (*i.e.* coleta, triagem e processamento final), de acordo ao mínimo recomendado pelo estudo UNEP (2009a, p.21), bastante coerente com a realidade atual da RMC.

Numa das avaliações efetuadas no campo, foi possível identificar as fases da cadeia de LR para os RT, que foi registrado pelo autor num Centro de Processamento para RT estabelecido na RMC, com capacidade de processamento mensal entre 30 e 40 toneladas de RT. Pode se visualizar estes procedimentos por meio do conjunto apresentado na Figura 3, a seguir:

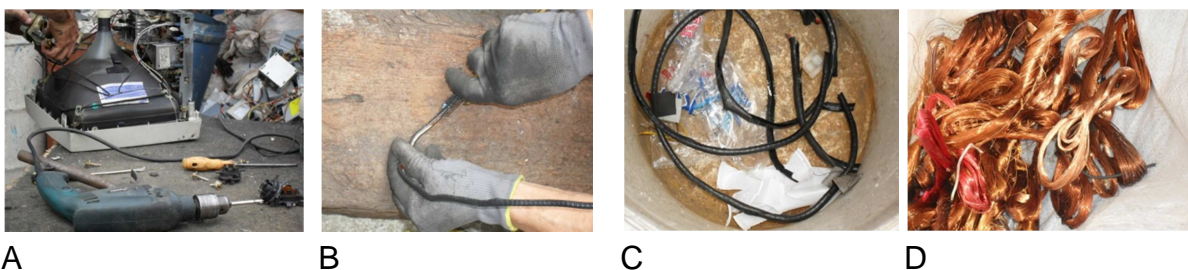


Figura 3 - Desmontagem manual e triagem de componentes de REEE

Fonte: Autor (2011).

Visualiza-se na Figura 3 um exemplo de tratamento de um RT, no caso um monitor típico CRT (tubo de raios catódicos), para uso em computadores, onde parte de seus componentes, neste caso os cabos, é preparada para reciclagem.

De acordo com a sequência, vê-se na Foto A o processo de desmontagem manual de um monitor CRT. Pela Foto B, visualiza-se o processo de separação manual, polímero / não metal, com o uso de um estilete. Em seguida, na Foto C, observam-se os resíduos de polímeros para a destinação final em aterro. Concluindo na Foto D, visualiza-se o não metal (*i.e.* cobre) pronto para a venda que é a destinação final.

Dos cabos elétricos, removem-se manualmente o revestimento plástico para revenda do cobre, que neste caso é o material mais atrativo economicamente.

Das frações restantes (*i.e.* revestimento plástico), não existe aplicação imediata, principalmente pelos retardadores de chama, componente tóxico do plástico, e por este motivo devem ser descartados num aterro.

4.4 DELINEAMENTO DA REDE LOGÍSTICA REVERSA DOS RT NA RMC

Para se efetuar o trabalho proposto, subentende-se a necessidade de um diagnóstico prévio da atual rede logística reversa estabelecida para o tratamento dos RT na RMC. Essa rede é composta por vários atores, realizando atividades (*i.e.* coleta, transporte, transbordo, entre outras), alguns formalmente e outros, informalmente.

É interessante destacar um comportamento característico típico de parte da população brasileira, que se trata da doação de bens fora de uso, tais como televisores, aparelhos de som, computadores, entre outros, às instituições ou até mesmo o repasse para outras pessoas, sejam familiares ou não. Esta análise não faz parte do escopo desse trabalho, pois se assume que o eletroeletrônico nessa condição cumpre ainda sua função, pois se encontra em uso.

Atualmente, para se alcançar a correta destinação final, os programas para conscientização ambiental da população sugerem que o descarte deve ser efetuado de duas formas:

- a) Disposição em containers diversos existentes no passeio das vias públicas da cidade, adequados para resíduos recicláveis, ou seja, Lixo que Não é Lixo (LQNL);
- b) Disposição voluntária juntamente com os resíduos especiais nos terminais de transporte coletivo urbano do município de Curitiba.

Como instrumento do delineamento da rede LR na RMC, idealizou-se um fluxograma para estabelecer a rede e os principais agentes dessa logística reversa,

bem como para facilitar a visualização dos fluxos de materiais, as especificidades e os respectivos deslocamentos ao longo essa rede. O referido fluxograma, pode ser visualizado na Figura 4, a seguir.

Na primeira fase do fluxograma Figura 4, na caixa superior, Consumidores / Empresas, representam-se os compradores e usuários dos equipamentos eletroeletrônicos, que após esgotamento da vida útil e descarte, passam os mesmos para a categoria de RT.

Seguindo o fluxo da Figura 4, na segunda fase, visualizam-se três métodos alternativos simultâneos para a disposição, ou seja, efetuados pelo Catador, pelas equipes do LQNL ou nos Terminais URBS, tratando-se do pós-descarte. Essas coletas são realizadas por duas entidades, da seguinte forma:

- a) Coleta Informal, àquela que tem a pré-triagem e transporte efetuado por meio dos catadores (*i.e.* carrinheiros);
- b) Coleta Formal, àquela onde o transporte é efetuado pelas equipes de prestadores de serviços de saneamento ambiental terceirizados, do município.

Na coleta informal, os catadores apanham os resíduos de seu interesse, sem horário ou periodicidade determinada. Esses catadores, transportam os resíduos coletados, por meio de seus carrinhos de tração humana, na maioria das vezes, até as Associações ou Cooperativas, das quais pertencem.

Utilizam as instalações e equipamentos (*e.g.* prensas hidráulicas, enfardadoras, entre outras) para separação, consolidação em fardos e preparação para a venda posterior, contando, neste momento, com pequena valorização, pois agrega valor, pelos serviços realizados de coleta, transporte, triagem e o enfardamento e/ou embalagem destinadas ao processamento posterior.

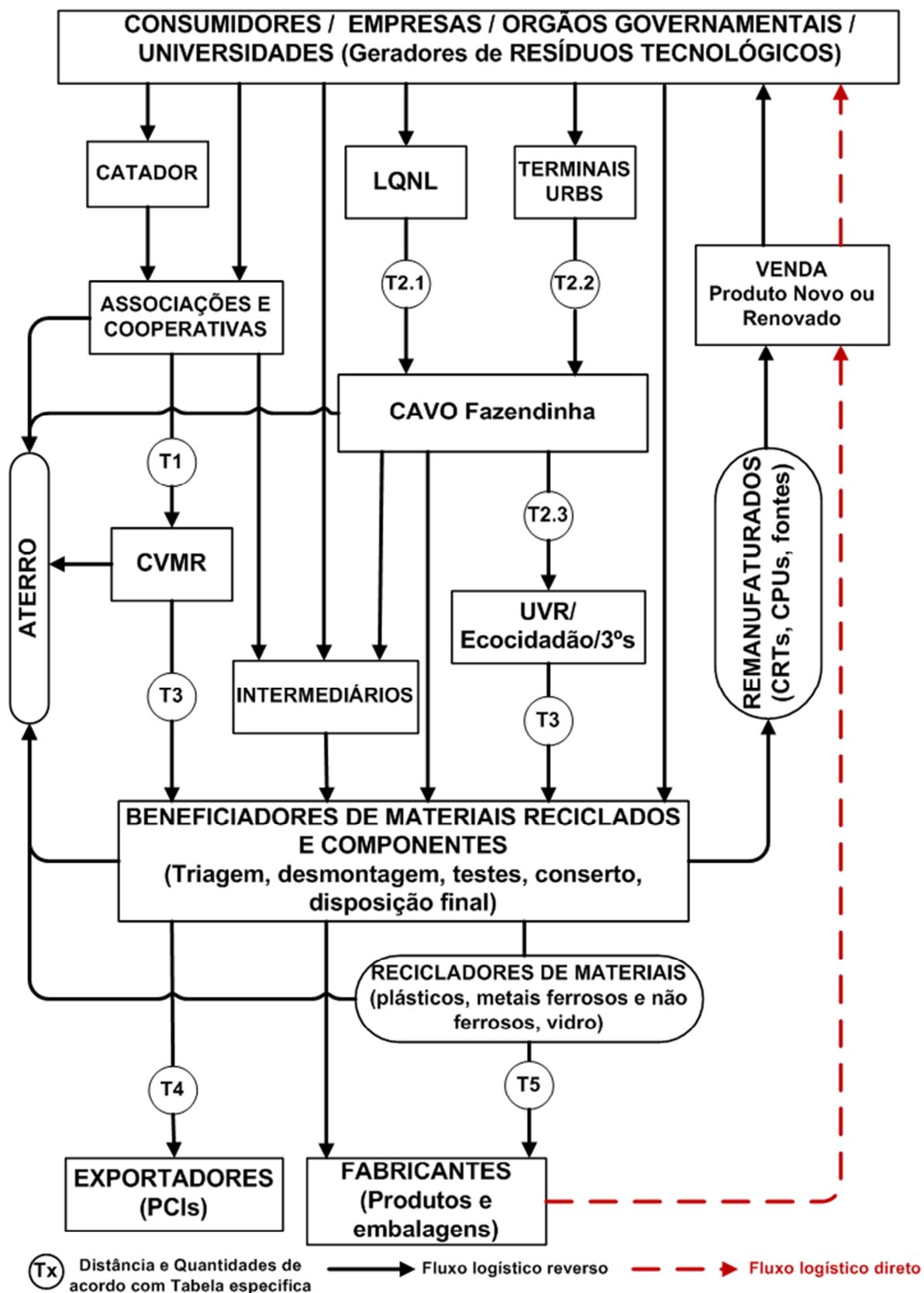


Figura 4 - Fluxograma da rede logística reversa para RT na RMC
 Fonte: Autor (2011).

Resíduos tecnológicos que são coletados nessa etapa são transportados até as associações e cooperativas por meio de carrinhos movidos à tração humana, e por este motivo, se esse transporte fosse considerado num estudo ACV Ambiental, nesta fase da rede logística reversa dos RT, poder-se-ia ponderar que não se geram impactos ambientais, relativos à poluição ambiental, a qual é consequência do consumo de combustíveis.

Eventualmente, se considerado aspectos relacionados com as condições de trabalho (*i.e.* esforço físico, intempérie, equipamentos de segurança, entre outros), poder-se-ia sim identificar impactos relacionados com os carrinheiros, do ponto de vista da ACV Social.

Por outro lado, na coleta formal, duas fases, que podem ser simultâneas, devem ser consideradas, ou seja, àquela coleta feita diretamente nos containers dispostos na via pública (LQNL), e a realizada espontaneamente uma vez ao mês em cada terminal de ônibus junto com os Resíduos Especiais ou Perigosos, rotas T2.2.

Nesses dois casos formais, o transporte é feito até a sede da empresa prestadora de serviços de coleta, atualmente a CAVO Serviços Ambientais S.A., com centro de consolidação localizado no bairro Fazendinha. Para realização destas coletas, rota T2.3, disponibilizam-se, atualmente 44 caminhões Ford Cargo C1317, com baú de 40 cúbicos, capacidade de carga de 8 toneladas, potência de 170 cv.

De acordo com o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS, 2010) de Curitiba, todos os veículos e equipamentos deste serviço, são planejados para uma vida útil máxima de cinco anos.

Um conjunto básico de dados, necessários para um estudo de Otimização de Rotas e ACV do Transporte, tais como, as distâncias percorridas bem como a massa transportada, foram pesquisados e calculadas com auxílio de um *software* livre, para cada uma destas etapas.

Os resultados referentes à fase de coleta seletiva nas residências, rota T2.1, podem ser visualizados por meio da Tabela 2 seguinte:

Tabela 2 - Distância e Massa transportada de LQNL coletados nos containers das vias públicas da RMC para a CAVO Fazendinha.

Origem da Coleta na RMC	Deslocamento médio do ponto de coleta até o beneficiador (km)	Massa Transportada (tonelada)
179 setores e Terminais		
URBS	114.000 mensal	2.104,83
Total	1.368.000 anual	25.258,00

Fonte: SMMA - Limpeza Pública / CAVO (2012).

De acordo com a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA), da quantidade de LQNL total coletada nos bairros no ano de 2010, estimando-se 10% para RT, corresponderia a 2.525,8 toneladas (*i.e.* coleta seletiva residencial nos 147 setores). A coleta é realizada três vezes por semana em 28 setores, duas vezes por semana em 79 setores e uma vez por semana em 40 setores.

A localização dos terminais e as distâncias percorridas, rota T2.2, referentes a esta fase de coleta, podem ser visualizados por meio do mapa da Figura 5, e de acordo com a Tabela 3 seguintes:

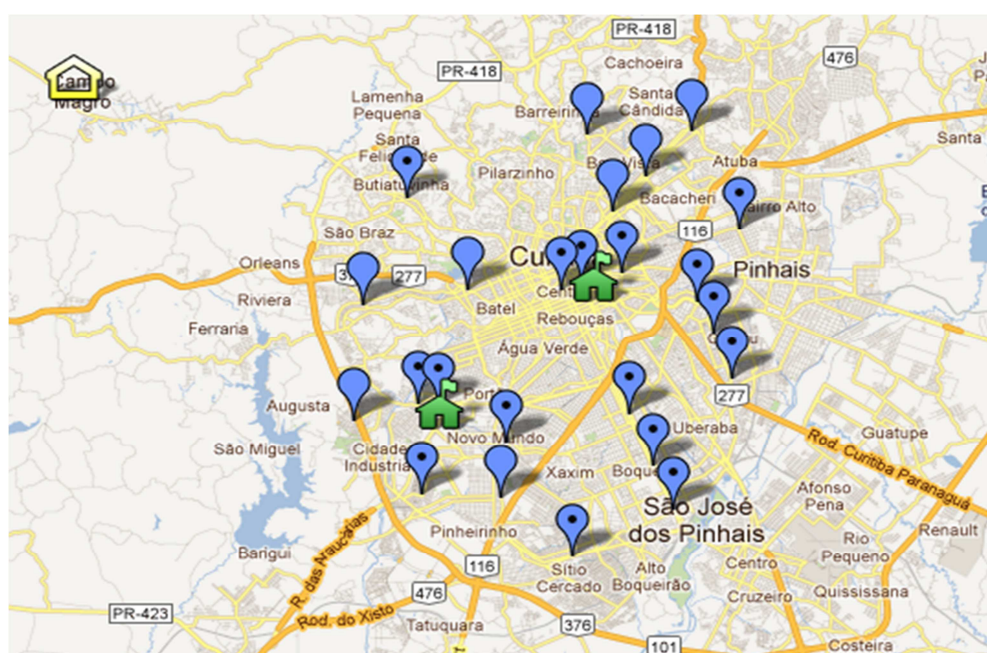


Figura 5 - Mapa da distribuição dos terminais de ônibus urbanos na RMC

Fonte: Organizado pelo autor com o uso de *software* livre (2011).

Tabela 3 - Distância e Massa anual estimada de Resíduos Especiais, coletados nos Terminais da RMC e transportada até a central da CAVO Fazendinha.

Terminal	Distância (km)	até CAVO	Massa Transportada (kg)
Bairro Alto	19,4		
Barreirinha	28,1		
Boa Vista	21,4		
Boqueirão	12		
Cabral	17,8		
Caiuá	4,2		
Campina do Siqueira	8,4		
Campo Comprido	8		
Capão da Imbuia	15,1		
Capão Raso	4,2		
Carmo	10,7		
Centenário	17,8		39.000
CIC	4,2		
Fazendinha	1,9		
Guadalupe	10		
Pinheirinho	4,8		
Portão	3,6		
Rui Barbosa	10,6		
Santa Cândida	21,5		
Santa Felicidade	18,4		
SITES	15,6		
Sítio Cercado	9,8		
Vila Hauer	9		
Vila Oficinas	16,8		

Fonte: Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS) – PMC – SMMA (2010).

De acordo com a Prefeitura Municipal de Curitiba, no PGIRS, outubro de 2010, a quantidade de Resíduos Especiais totais coletados no ano de 2009, correspondeu a 39.000 kg (*i.e.* descarte espontâneo nos terminais), representando então uma fração de 3.900 kg para o RT.

A coleta é realizada um dia por mês, em cada terminal, com calendário anual contendo data e horário previamente definido e divulgado pelo site da Prefeitura de Curitiba, no endereço: <http://coletalixo.curitiba.pr.gov.br/lixotoxico.aspx>.

Os caminhões usados para as coletas nos terminais têm identificação especial, são equipados com baú de 40 cúbicos, com a capacidade de carga e potência similares aos do LQNL. No interior do baú, existem tambores identificados, para armazenar cada tipo de resíduo tóxico: pilhas, baterias, solventes, embalagens de inseticidas, lâmpadas fluorescentes, medicamentos vencidos, tintas, toner (corante orgânico), óleo automotivo, lubrificantes, óleo vegetal ou animal e espaço livre para acondicionamento dos resíduos eletrônicos e outros eventuais.

Dando continuidade à explicação do fluxo de acordo ao fluxograma Figura 4, na área central, verifica-se nesta fase a consolidação dos RT na sede da empresa CAVO unidade Fazendinha. Nesta instalação, as cargas são pesadas e lacradas, para em seguida serem destinadas, rota T 2.3, obedecendo a uma estratégia logística embasada na capacidade produtiva e característica específica de processamento dos centros de triagem e demais parceiros, entre os quais, citam-se a Usina de Valorização de Resíduos de Campo Magro (UVR) e os barracões do Projeto Eco-cidadão, patrocinados pela Prefeitura de Curitiba, entre outros.

Retomando ao fluxograma Figura 4, de maneira informal, visto na lateral do fluxograma, partindo das Associações e Cooperativas, semelhante ao procedimento da CAVO, os RT coletados e previamente selecionados, são encaminhados para consolidação final, via rota T1, à Central de Valorização de Materiais Recicláveis (CVMR), sendo que as quantidades e distâncias de deslocamentos podem ser visualizadas no mapa da Figura 6, e de acordo com a Tabela 4 seguintes:

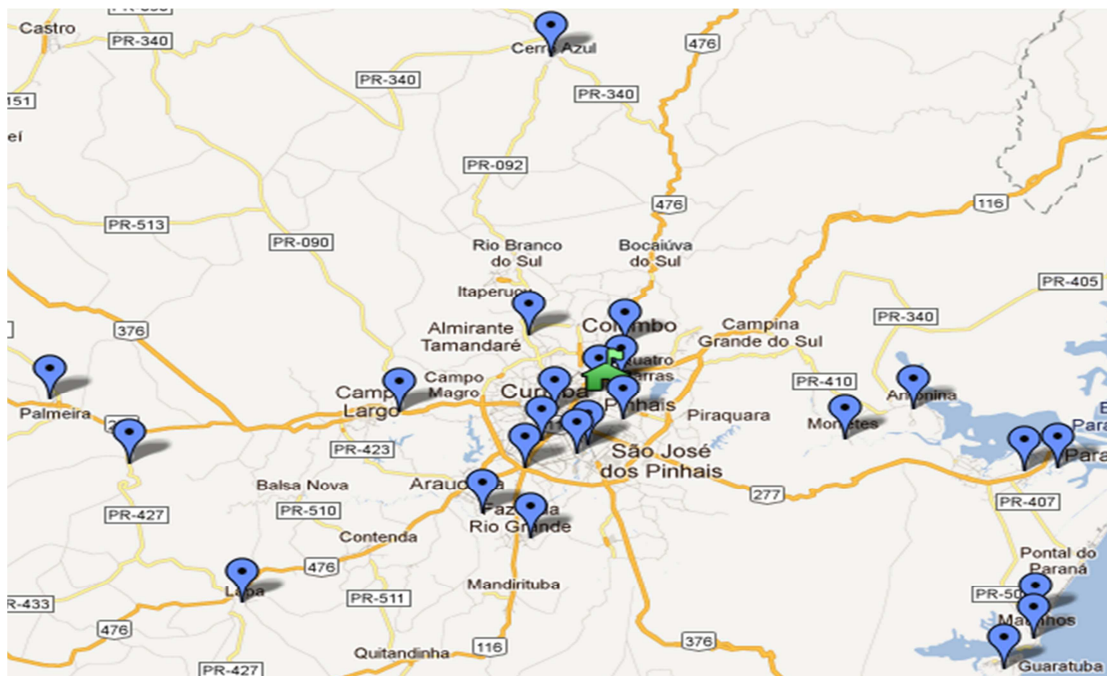


Figura 6 - Mapa da distribuição espacial das associações e CVMR na RMC
Fonte: Organizado pelo autor com o uso de *software* livre (2011).

Tabela 4 - Distância e Massa mensal de RT, coletados e pré-triados em associações e cooperativas de catadores de resíduos recicláveis, transportados até a CVMR.

ASSOCIAÇÃO E COOPERATIVAS	Distância até CVMR (km)	Massa Transportada (tonelada)
Amar Ebenezer	19,5	1,79
Barracão	18,6	1,92
Vida nova	19,8	2,02
Catamare	15,1	10,30
Natureza Livre	13,4	2,38
Limpar e Reciclar	23,6	1,87
Assol	19,2	1,75
Reciclar	38,7	6,00
Resol	14,3	1,55
Coopzumbi	5,3	2,30
Unida	41,1	1,95
Arepi	1,4	1,82
Reciquara	7,8	2,73
Assur	37,4	2,46
Reciclazul	92,6	1,09
Recilapa	82,5	1,70
Assorenosr	111	3,91
Arpa	72,3	1,24
Assepar	87,9	0,21
Acapra	69,6	1,22
Acomreg	139	2,9
Ancresmat	111	1,75
Amagem	114	0,73
Acomarem	69	1,42
Acoreival	95,8	2,03
TOTAIS	1319,9	59,04

Fonte: I-LIX ONG (2011).

Nas instalações da CVMR, os RT serão separados e embalados de acordo com o a embalagem usual de mercado, ou seja, fardos prensados e amarrados, paletes, caixas, tambores, entre outros, possibilitando o controle e o transporte, rota T 3, para a comercialização junto aos compradores.

Para os RT, característica essencial, observada na manipulação desse tipo de resíduo, é a necessidade primária básica da operação de desmontagem. Todo tipo de RT deve ser primeiramente desmontado para que se possa viabilizar a logística reversa de seus materiais constituintes ou componentes.

Na próxima etapa do fluxograma da Figura 4, seja via fluxo formal e informal, ou mesmo àquele praticado por intermediários, neste trabalho não avaliados, chega-se a fase onde se encontram os Beneficiadores de Materiais Reciclados e

Componentes. Nesta etapa, os RT serão manipulados para avaliação e triagem objetiva, acompanhada das operações de avaliação, limpeza, desmontagem e descontaminação (*i.e.* retirada de componentes perigosos e contaminantes, sem condições de reaproveitamento), de acordo com o tipo de serviço a ser efetuado pelo Beneficiador, que possui estrutura e demandas próprias, adequadas as características dos seus clientes.

Nessa fase, os fluxos de RT, rotas T3, oriundos da CVMR, Intermediários e da UVR podem ter o mesmo destino, ou seja, todos serão atendidos simultaneamente pelos mesmos beneficiadores de materiais.

Umás séries de particularidades são agora identificadas. Variam de acordo com a estrutura instalada dessas empresas beneficiadoras de RT. Algumas são mais estruturadas, com processos formais ou semiformais (*i.e.* avaliação estética, limpeza, testes, desmontagem, consolidação, entre outros), porque almejam ampliar a sua margem de ganho financeiro, por meio da agregação de valor, praticando o conserto e manutenção, quando esta possibilita o reuso do RT, que foi identificado como bom estado de conservação, e, portanto, com significativo valor comercial. Em caso negativo de reutilização, passam a próxima etapa do processo que é a desmontagem e posterior reuso de componentes individuais ou a venda como materiais recicláveis para terceiros processadores.

Outros beneficiadores, que são informais em sua maioria, focam a recuperação de alguns componentes de maior valor comercial (*e.g.* PCIs, metais ferrosos e não ferrosos, entre outros), e daqueles materiais que dependem de grandes volumes comercializados para serem rentáveis. Tratam-se aqui dos intermediários que pela falta de estrutura e acesso às tecnologias disponíveis para tratamento, qualificação ou até de volumes viáveis para o processamento, mantêm-se à margem da cadeia logística reversa.

Cabe esclarecer ainda que, uma pequena parte dos fluxos de componentes de RT, notadamente as PCIs, deve o seu tratamento aos “intermediadores informais”, que as compram direto de carrinheiros e de beneficiadores informais, porém, geram um problema futuro. Muitas vezes, como exemplo, os computadores ou as CPUs são coletados sem algumas PCIs, que é o componente de maior valor comercial, e assim, deixam de ser interessantes para os processadores da rede logística reversa,

e por esse motivo, muitas vezes acabam sendo dispostos indevidamente para os aterros.

Normalmente, os RT oriundos de fontes formais devem seguir na formalidade. Para isso, contam com a parceria de empresas estruturadas, detentoras de licenças ambientais e tecnologias adequadas para os processos praticados, caracterizando aqui o atendimento ao princípio do “poluidor-pagador”.

Uma relação de empresas prestadoras dos serviços de beneficiamento de RT e os fornecedores CVMR e UVR, que podem ser simultâneos, bem como as quantidades e distâncias de deslocamentos e localização podem ser visualizadas no mapa da Figura 7 e o Quadro 4 seguintes:



Figura 7 - Mapa da distribuição dos Beneficiadores de RT e materiais recicláveis na RMC
Fonte: Organizado pelo autor com o uso de *software* livre (2011)

Beneficiador de RT	Fonte	Tipo RT Processado	Saídas do Processo	Massa (mensal-t)	Distância (km)
Kapersul	CVMR	Plásticos	Plásticos triturados	NI	25,5
Ecocycle		PET	PET	NI	6
Lubel		Plásticos	Plásticos triturados	NI	17,4
Guilherme		Metais Ferrosos e Plásticos	Metais Ferrosos e Plásticos	NI	23,8
Vale da Sucata		Computadores	Remanufaturados, componentes e materiais.	50	19,7
Almeida	UVR	CRT, TV, CPUs	Plásticos, vidro metais não ferrosos, PCIs	45	36,3
Ezinf		CPUs	Remanufaturados,	16,35	38,7
Biet		RT em geral	Remanufaturados e	NI	14,3
Paulo & Elias		CRT, TV, CPUs	Plásticos/vidro/metais não ferrosos, PCIs	NI	17,2

Quadro 4 - Beneficiadores de RT, Características, Massa Processada, Saídas de materiais e componentes e as distâncias entre as fontes.

* NI – Não Informado

Fonte: Cavo e I-Lix (2011).

Depois de efetuada todas as fases do processo de beneficiamento dos RT, os produtos são disponibilizados para os próximos clientes, via rota T 5, que, de acordo com a coluna “**saídas do processo**”, no Quadro 4 alinhados com as demandas do mercado. Normalmente, a maioria dos materiais reciclados, são utilizados na fabricação de produtos de menor valor agregado, e com menor grau de responsabilidade, tais como embalagens, enchimentos e revestimentos para a construção civil, utilidades da linha de higiene e limpeza, jardinagem, entre outros.

Os computadores remanufaturados bem como alguns componentes (memórias, CRTs, fontes, entre outros), são vendidos no mercado ou doados às instituições sem fins lucrativos. De acordo com um dos beneficiadores, no mês de outubro de 2011, 30 conjuntos completos (*i.e.* monitor, CPU, teclado, mouse e caixas de som) foram vendidos aos particulares por preços abaixo do mercado e outros 15 conjuntos foram doados.

As placas de circuito impresso (PCI) depois de separadas dos equipamentos serão reunidas de acordo com o tipo, ou seja, placas mãe, placas de vídeo ou de áudio e vendidas para terceiros para nova consolidação e posterior exportação, conforme a rota T4, Figura 4.

Como exemplo, identificou-se que uma empresa de São Paulo vem retirar estes materiais sobre demanda para consolidar e exportar. De acordo com um intermediário, é vendida em média, 1 tonelada de PCI por mês, adquiridas informalmente.

Os RT desmontados geram materiais diversos para serem reprocessados (*i.e.* metais ferrosos e não ferrosos, plásticos, vidro, entre outros) seguindo a rota T5 até os fabricantes de novos produtos. O desmembramento dos RT coletados pode ser visto por meio esquemático na Figura 8 e descrição seguintes:



Figura 8 - Lotes de RT coletados e *Outputs*

Fonte: Autor (2011).

Uma vez estudada qual seria a sequência usual, prática, de uma rede Logística Reversa para os REEE, a mesma foi apresentada esquematicamente, por meio da

Figura 8, e que para isso, devem-se considerar no mínimo as fases de coleta, pré-triagem e consolidação, beneficiamento dos materiais recicláveis ou a remanufatura (reuso e/ou fabricação), bem como as fases intermediárias de transporte, relacionadas e organizadas de acordo com a Tabela 5 a seguir:

Tabela 5 - Fases logísticas, resultados esperados e particularidades.

Fase Logística	Resultados Esperados	Particularidades da fase
Coleta	Lotes de resíduos tecnológicos descartados coletados nas ruas, entidades, empresas, entre outras.	Manuseio de computadores, monitores, impressoras, mouses, teclados, caixas de som, cabos, componentes eletrônicos diversos.
Transporte	RT deslocados dos pontos de descarte até os Centros de Consolidação, por meio oficial e/ou informal.	Transportar os RT coletados até os centros de consolidação por meios de carrinhos movidos a tração humana e/ou veículos utilitários variados (caminhão, van, pick-up).
Pré-triagem e consolidação	RT separados, unitizados e embalados (bags, paletes, caixas, etc.) de acordo com as características de comercialização requisitada pelas fases seguintes (transporte e beneficiamento).	Lotes de equipamentos em bom estado estético (montados) para reuso, lotes de monitores, teclados, impressoras, CPUs, PCIs, caixas de som, etc., para desmontagem e reciclagem dos materiais e componentes.
Transporte	Entrega das embalagens contendo os RT separados	Transportar RT embalados e unitizados até os beneficiadores, por meio de veículos utilitários (caminhão, van, pick-up) e efetuar o transbordo
Beneficiamento de materiais recicláveis	RT desmontados manualmente, descontaminados, testados. Materiais plásticos triturados e segregados.	Computadores para reuso, material plástico, vidro, metais ferrosos e não ferrosos, entre outros, materiais perigosos (baterias).
Transporte	Entrega de materiais para reciclagem	Transportar RT desmontados embalados até os beneficiadores e efetuar o transbordo, por meio de veículos utilitários (caminhão, van, pick-up)
Remanufatura (Reuso e/ou Fabricação)	Computadores para Reuso, componentes fabricados com materiais reciclados dos RT descartados.	CPUs, monitores, memória, fontes. Embalagens injetadas com plásticos reciclados.

Fonte: Autor (2011).

4.5 Dados Estimados de Logística Reversa dos RT para serem avaliados.

Considerando o problema proposto, a solução por meio do *software* de Otimização deverá trabalhar com apenas duas variáveis, capazes de absorver toda a concepção da rede logística reversa dos resíduos tecnológicos, ou seja:

- a) Quantidade de RT transportado;
- b) Distância de transporte.

Uma vez definidas as variáveis, uma série de cenários serão idealizados, com a intenção de experimentar e visualizar qual o comportamento e influência das restrições presentes no problema, possibilitando assim uma melhor base de avaliação do modelo como um todo, bem como gerar diretrizes para o desenvolvimento de soluções mitigadoras das restrições. As principais restrições que podem ser comparadas serão as seguintes:

- a) Custo de transporte;
- b) Preço de venda do material transportado;
- c) Custo de beneficiamento;
- d) Limite de capacidade produtiva dos beneficiadores;
- e) Limite de carga transportada;
- f) Limite do volume da carga transportada;
- g) Custo de disposição no aterro.

Depois de realizados os estudos acima citados, com relação ao transporte, serão efetuados com o uso de *software* exclusivo a avaliação dos impactos ambientais gerados pelas restrições consideradas.

A seguir, reproduzem-se numa série de tabelas contendo os dados específicos referentes aos tratamentos e a composição básica dos principais materiais encontrados nos resíduos tecnológicos analisados no presente trabalho, ou seja, computadores de mesa e portáteis, mais os seus respectivos acessórios e

periféricos, isto é, teclado, mouse, fonte de alimentação de energia e impressora, entre outros.

A fonte das tabelas que se seguem é o relatório de autoria de Hischier, produzido pelo *Empa, Part V - Disposal of Electric and Electronic Equipment (e-Waste), St. Gallen, em 2007*. Poderão ser visualizados os respectivos pesos médios dos diversos RT, considerados nos cálculos de transporte, processamento e capacidades operacionais dos envolvidos na rede logística reversa dos RT. Observe-se as Tabelas de 6 até 14, de acordo aos equipamentos:

Tabela 6 – Peso bruto médio dos REEE estudados.

Equipamento Tecnológico	Peso Bruto Médio (kg)
Desktop	12,03
Laptop	3,12
Monitor CRT	19,56
Monitor tela plana LCD	5,14
Impressora (PB & Colorida)	5,87
Mouse	0,111
Teclado	1,18
Adaptador para fonte de energia	0,533

Fonte: Adaptado de Hischier (2007).

Tabela 7 - Peso médio do DESKTOP

Desktop PC – materiais componentes	Peso (kg)	(%)
Aço	6,99	58,13
Alumínio	0,395	3,29
Cobre	0,0625	0,52
Plásticos	0,261	2,17
Cabos	0,321	2,67
Placas de circuitos impressos e plugs	1,01	8,41
Módulos embutidos (HD, CD)	2,98	24,8
Bateria (interna)	0,0029	0,02
TOTAL	12,03	100

Fonte: Adaptado de Hischier (2007).

Tabela 8 - Peso médio LAPTOP.

Laptop – materiais componentes	Peso (kg)	(%)
Aço	0,555	17,8
Alumínio	0,169	5,42
Cobre	0,0135	0,43
Metais (outros)	0,566	18,17
Plásticos	0,424	13,6
Cabos	0,00562	0,18
Placas de circuitos impressos e plugs	0,411	13,17
Módulos embutidos (HD, CD)	0,364	11,68
Bateria (interna)	0,008	0,26
Bateria (externa)	0,273	8,76
Módulo LCD	0,27	8,66
Lâmpada Hg	0,058	1,86
TOTAL	3,12	100

Fonte: Adaptado de Hischier (2007).

Tabela 9 - Peso médio do monitor CRT 17”

Monitor CRT 17” – materiais componentes	Peso (kg)	(%)
Aço	3,74	18,81
Alumínio	0,393	1,98
Cobre	0,0661	0,33
Metais (outros)	0,17	0,86
Plásticos	3,26	16,39
Cabos	0,459	2,31
Placas de circuitos impressos e plugs	0,933	4,69
CRT tubo	10,6	53,36
CRT canhão elétrons	0,101	0,51
CRT defletor	0,151	0,76
TOTAL	19,56	100

Fonte: Adaptado de Hischier (2007).

Tabela 10 - Peso médio do monitor LCD 17”

Monitor plano LCD – materiais componentes	Peso (kg)	(%)
Aço	0,007	0,14
Alumínio	0,584	11,36
Plásticos	1,94	37,69
Cabos	0,065	1,26
Placas de circuitos impressos e plugs	0,22	4,28
Módulo LCD	2,27	44,15
Lâmpada Hg	0,057	1,11
TOTAL	5,14	100

Fonte: Adaptado de Hischier (2007).

Tabela 11 - Peso médio da IMPRESSORA

Impressora – materiais componentes	Peso (kg)	(%)
Aço	1,38	23,51
Alumínio	0,0199	0,34
Cobre	0,208	3,55
Metais (outros)	0,155	2,64
Plásticos	2,93	49,92
Cabos	0,117	1,99
Placas de circuitos impressos e plugs	0,148	2,52
Vidro plano	0,00143	0,02
Toner	0,91	15,51
TOTAL	5,87	100

Fonte: Adaptado de Hischier (2007).

Pelo fato de que os demais periféricos tecnológicos, tais como o mouse, o teclado e a fonte adaptadora possuem uma composição muito semelhante, ou seja, são geralmente compostos de uma estrutura plástica, completada por alguns metais e uma pequena placa de circuito impresso, as quantidades desses materiais componentes foram consolidados em tabelas simplificadas, para cada um destes dispositivos tecnológicos.

Tabela 12 – Peso médio do TECLADO

Teclado 102 teclas – materiais componentes	Peso (kg)	(%)
Aço	0,28	23,73
Plásticos	0,77	65,25
Cabo e plug	0,07	5,93
Placa de circuito impresso	0,06	5,09
TOTAL	1,18	100

Fonte: Adaptado de Hischier (2007).

Tabela 13 - Peso médio do MOUSE

Mouse ótico – materiais componentes	Peso (kg)	(%)
Aço	0,011	9,9
Plásticos	0,047	42,34
Cabo e plug USB	0,04	36,04
Placa de circuito impresso	0,013	11,72
TOTAL	0,111	100

Fonte: Adaptado de Hischier (2007).

Tabela 14 - Peso médio de uma FONTE ADAPTADORA

Fonte adaptadora – materiais componentes	Peso (kg)	(%)
Aço	0,179	50,05
Plásticos	0,125	34,95
Cabo e plug	0,0536	14,99
TOTAL	0,3576	100

Fonte: Adaptado de Hischier (2007).

No próximo item, veremos a aplicação dos valores considerados de acordo com o modelo matemático fornecido.

4.6 OTIMIZAÇÃO DA ROTA LR PARA REEE NA RMC

Para as iterações numéricas, foram consideradas e cadastradas no sistema as distâncias entre os seguintes conjuntos de variáveis:

- a) Depósitos à central de triagem;
- b) Interação entre 25 associações (depósitos) com um ponto de triagem;
- c) Interação entre o ponto de triagem e os dois pontos para beneficiamento de materiais;
- d) Deslocamentos de todos os locais supracitados para o Aterro.

Os materiais considerados correspondem à massa coletada mensal, com projeção anual, de acordo com dados coletados da rede informal, sobre os quais se fez uma estimativa para o cálculo, subdividindo os produtos descartados de acordo com a tendência de composição gravimétrica para os RT, estimativa projetada para ser usada neste estudo, conforme segue:

- a) Computadores, 10% do total;
- b) Impressoras, 4 % do total;
- c) Teclados e mouse 2,5% cada; fonte e laptop 0,5% cada, sendo 6% do total;
- d) Monitores, 80% do total.

Com as associações, centrais de consolidação ou triagem e os beneficiadores, foram organizadas combinações, em grupos diversos, de 2 a 2, para o caso da triagem e beneficiamento, e em grupos variados combinando entre si, 2 ou 3 locais,

entre a triagem e associações, de acordo com a distância máxima a ser percorrida no dia. Tais combinações foram organizadas e identificadas pela letra “c”, seguida de uma numeral aleatório, entre 1 e 237 (e.g. c1, c2, c3,..., c237).

Estas combinações compuseram um número de 25 arranjos 2 a 2, para o transporte entre a triagem e os centros de beneficiamento, e mais 206 arranjos, variando entre combinações de 2 a 2, quando a distância era menor que o máximo possível diário para o tempo de 8 horas trabalhadas (*i.e.* considerando tempo / velocidade) e 3 a 3, para que fossem incluídas de 1 até 3 associações, constituindo assim, rotas múltiplas até a triagem.

Somando todos os arranjos desde as associações até o aterro para descarte dos RT sem condições de reaproveitamento, chegou-se a um número total de 231 combinações a serem calculadas pelo GAMS.

Os parâmetros definidos são apresentados a seguir:

- a) 250 dias trabalhados no ano;
- b) 8 horas trabalhadas num dia;
- c) Custo de uso do aterro em reais por kg: R\$ 15,00;
- d) Custo de amortização anual em reais (custo anual veículo + mão de obra) dos veículos considerados:
 - veic1 (Kombi) - R\$ 6000,00;
 - veic2 (Pick-up) – R\$ 15000,00;
 - veic3 (caminhão urbano) – R\$ 20000,00.
- e) Custo do km rodado:
 - veic1 (Kombi) - R\$ 3,00;
 - veic2 (Pick-up) – R\$ 2,00;
 - veic3 (caminhão urbano) – R\$ 3,00.

f) Tempo de carga e descarga:

- veic1 (Kombi) - 1 h;
- veic2 (Pick-up) – 1,2 h e
- veic3 (caminhão urbano) – 1,5 h.

g) A capacidade de carga dos veículos será apresentada posteriormente, em função do cenário considerado;

h) Velocidade média de 15 km/h no perímetro urbano e de 60 km/h na estrada.

Todos os experimentos (cenários) testados envolveram o uso do *software* GAMS/CPLEX e foram resolvidos usando o sistema operacional Windows 7. Assim, ainda que sejam apresentados os tempos de processamento (CPU), eles são apenas informativos, já que este sistema operacional tem por norma gerenciar os recursos de CPU e de memória RAM, o que afeta o tempo de processamento. De acordo com as variáveis, parâmetros, função objetivo e restrições devidamente programadas, realizaram-se três experimentos, onde se obtiveram os seguintes resultados:

1º. Utilizando toda a capacidade nominal dos veículos:

Neste caso considerou-se a capacidade de carga dos veículos veic1, veic2 e veic3 como sendo, respectivamente, 500 kg, 1000 kg e 3000 kg. Esta é, aproximadamente, a capacidade nominal do veículo. No modelo matemático, foram usadas as expressões matemáticas de 1 até 9, sendo que o GAMS gerou 612 restrições, 1677 variáveis contínuas e 717 variáveis discretas (inteiras).

Na Tabela 15, que apresenta o número de viagens anuais (*i.e.* valor numérico no cruzamento da linha com a coluna) de um veículo v pelo trajeto c ($num_{v,c}$), pode-se observar que só houve alocação do veículo tipo 3 ou caminhão urbano. De fato, toda a demanda foi atendida por apenas um caminhão, como poderá ser observado pelo número de viagens consolidado por meio da Tabela 16. Além disso, houve um resíduo de material enviado ao aterro (*veic2* trajeto $c76$), por falta de disponibilidade

de veículo. As viagens realizadas ao aterro são de responsabilidade do serviço de coleta pública de resíduos (então feito pela empresa CAVO), não sendo contabilizadas ao veículo disponível para a reciclagem.

Neste caso, foi concluído que seria mais caro comprar ou alocar mais um veículo na rede. Esta conclusão só foi possível quando se acrescentou ao modelo a restrição 10, impondo um mínimo de dois veículos. Nos casos discutidos a seguir, ou seja, 2º e 3º, não ocorreu nenhum envio de material para o aterro.

Tabela 15 - Valores associados às variáveis $num_{v,c}$

	c4	c10	c12	c19	c25	c26
veic3	7.000	7.000	7.000	1.000	100.000	18.000
+	c42	c43	c48	c49	c50	c51
veic3	17.000	1.000	3.000	5.000	7.000	11.000
+	c55	c56	c58	c59	c76	c81
veic2					1.000	
veic3	9.000	4.000	1.000	8.000		8.000
+	c83	c84	c86	c87	c100	c123
veic3	5.000	1.000	3.000	5.000	1.000	1.000
+	c171	c172	c173	c175	c185	c186
veic3	1.000	8.000	1.000	1.000	6.000	3.000
+	c203					
veic3	6.000					

Fonte: Adaptado pelo autor do 1º Cálculo GAMS - Logística reversa de materiais coletados (2012).

Para solução deste modelo de otimização, foi estabelecido um limite no seu tempo de processamento de uma hora (3600 s), que foi atingido para este caso. Como resultados da análise 1, após 21.081.505 iterações, o custo mínimo (valor da função objetivo, expressão 1) encontrado foi de R\$ 79.891,70; apresentando uma distância total percorrida de 18.783,9 km anuais, necessária para o tratamento de 708,48 toneladas de RT coletados pela rede LR. Foi observado que o valor ótimo do número de viagens diárias ($nvd_{v,c}$) foi duas viagens. Deu-se como melhor opção a escolha de 31 combinações de rotas, realizando-se um total de 257 viagens anuais, com um veículo do tipo3 (caminhão urbano).

A Tabela 16 apresenta as relações de todos os trajetos selecionados nas simulações executadas neste capítulo, indicando em **negrito** os locais visitados por cada trajeto, sendo que a triagem não é indicada porque ela é o ponto de partida e chegada de todos os trajetos.

Tabela 16 - Relação de todos os trajetos executados nas três simulações distintas.

Combinação / Local da coleta ou tratamento	Amar Ebenezer	Barracão	Vida nova	Catamare	Natureza Livre	Limpar Reciclar	Assol	Reciclar	Resol	Coopzumbi	Unida	Arepi	Reciquara	Assur	Reciclazul	Recilapa	Assorenosr	Aipa	Assepar	Acapra	Acomreg	Ancresmat	Amagem	Acomarem	Acoreival	Beneficiamento 1	Beneficiamento 2	Experimento 1 (Tabela 15)	Experimento 2 (Tabela 17)	Experimento 3 (Tabela 18)	
c4																															
c10																															
c12																															
c18																															
c19																															
c25																															
c26																															
c42																															
c43																															
c46																															
c47																															
c48																															
c49																															
c50																															
c51																															
c52																															
c53																															
c54																															
c55																															
c56																															
c58																															
c59																															
c76																															
c81																															
c83																															
c84																															
c85																															
c86																															
c87																															
c100																															
c122																															
c123																															
c171																															
c172																															
c173																															
c175																															
c176																															
c182																															
c185																															
c186																															
c187																															
c203																															

Fonte: Autor (2012).

Quando a busca foi encerrada, a diferença (*gap*) relativa entre a solução encontrada e a melhor solução estimada (caso a busca prosseguisse) foi de 4,6847 %, com uma diferença absoluta de R\$ 3.742,726301. Cabe ressaltar que não há nenhuma garantia de que há uma solução (muito) melhor que a apresentada, já que a diferença (absoluta ou relativa) se refere a uma solução onde as variáveis discretas foram “relaxadas” ou ignoradas, para que a busca em árvore (*Branch-and-Bound*) seja executada.

2º. Também usando toda a capacidade nominal dos veículos, mas agora se forçou o uso de pelo menos dois veículos.

Neste caso também se considerou a capacidade de carga dos veículos *veic1*, *veic2* e *veic3* como sendo, respectivamente, 500 kg, 1000 kg e 3000 kg, ou seja, aproximadamente, a capacidade nominal do veículo. A única diferença foi o uso da restrição 10, impondo o uso de, pelo menos, dois veículos (sem especificar qual). Para este caso, o GAMS gerou 613 restrições, 1677 variáveis contínuas e 717 variáveis discretas (inteiras).

Na Tabela 17, que apresenta o número de viagens anuais de um veículo *v* pelo trajeto *c* ($num_{v,c}$), pode-se observar que houve a alocação de um veículo tipo 1 (Kombi) e, também, um veículo tipo 3 (caminhão urbano), como pode ser observado pelo número de viagens na Tabela 17. Neste caso, não houve nenhum resíduo de material enviado ao aterro (trajeto *c76* ou outros).

Para solução deste modelo de otimização, foi estabelecido um limite no seu tempo de processamento de uma hora (3600 s). Porém, desta vez, a busca foi encerrada após a identificação da solução ótima, após 292,953 s. Como resultados da análise 2, após 2.031.202 iterações, o custo mínimo (valor da função objetivo, expressão 1) encontrado foi de R\$ 83.363,00 (contra R\$ 79.891,70 no 1º caso); apresentando uma distância total percorrida de 18.325,4 km anuais (contra 18.783,9 km anuais no 1º caso), necessária para o tratamento de 708,48 toneladas de RT coletados pela rede LR (como no 1º caso). Foi observado que o valor ótimo do número de viagens diárias ($nvd_{v,c}$) foi duas viagens para o veículo tipo 3 (caminhão urbano) e uma viagem para o veículo tipo 1 (Kombi). Deu-se como melhor opção a escolha de 33 combinações de rotas, realizando-se um total de 330 viagens anuais,

com 2 veículos, um veículo do tipo 3 (caminhão urbano) realizando 26 rotas e um veículo do tipo 1 (Kombi) para as outras 7 rotas restantes.

Tabela 17- Valores associados às variáveis $num_{v,c}$

	c4	c10	c12	c18	c19	c25
veic3	9.000	6.000	7.000	1.000	2.000	100.000
+	c26	c42	c43	c46	c47	c48
veic1			1.000	69.000	1.000	1.000
veic3	20.000	17.000				2.000
+	c49	c50	c51	c55	c56	c58
veic1					1.000	
veic3	5.000	7.000	11.000	9.000	4.000	1.000
+	c59	c81	c83	c84	c85	c87
veic3	8.000	8.000	5.000	1.000	3.000	5.000
+	c100	c172	c173	c175	c185	c186
veic1	1.000					
veic3		7.000	1.000	1.000	5.000	4.000
+	c203					
veic1	1.000					
veic3	6.000					

Fonte: Adaptado pelo autor do 2º Cálculo GAMS - Logística reversa de materiais coletados (2012).

3º. Usando a capacidade "reduzida" dos veículos.

Neste caso, houve alteração na capacidade de carga dos veículos veic1, veic2 e veic3 (em comparação aos dois casos anteriores) como sendo, respectivamente, 300 kg, 600 kg e 1800 kg. Essa alteração foi feita porque, eventualmente, os veículos não terão condições de transportar sua capacidade máxima, devido ao volume de alguns dos RT transportados. Neste caso, o uso da restrição 10 não produziu nenhuma diferença nos resultados e, por isso, os resultados deste 3º caso não consideram esta restrição. Para este caso, o GAMS gerou 612 restrições, 1677 variáveis contínuas e 717 variáveis discretas (inteiras).

Na Tabela 18, que apresenta o número de viagens anuais de um veículo v pelo trajeto c ($num_{v,c}$), pode-se observar que houve a alocação de dois veículos do tipo 3 (caminhão urbano), como pode ser observado pelo número de viagens na Tabela

18. Neste caso, não houve nenhum resíduo de material enviado ao aterro (trajeto c76 ou outros).

Para solução deste modelo de otimização, foi estabelecido um limite no seu tempo de processamento de uma hora (3600 s) e, tal como no 1º caso, ele foi atingido. Porém, após o processamento ser encerrado com 3600 s de tempo de CPU, a diferença (*gap*) relativa foi de apenas 0,1169 %, o que sugere que a solução ótima foi encontrada.

Como resultados da análise 3, após 35.752.125 iterações, o custo mínimo (valor da função objetivo, expressão 1) encontrado foi de R\$ 133.207,30 (contra R\$ 79.891,70 e R\$ 83.363,00 no 1º e 2º casos, respectivamente), apresentando uma distância total percorrida de 30.810,70 km anuais (contra 18783,9 e 18.325,4 km anuais no 1º e 2º casos, respectivamente), necessária para o tratamento de 708,48 toneladas de RT coletados pela rede LR (como nos casos anteriores). Foi observado que o valor ótimo do número de viagens diárias ($nvd_{v,c}$) foi de duas viagens para o veículo tipo 3 (caminhão urbano). Deu-se como melhor opção a escolha de 33 combinações de rotas, entre as 206 possíveis, realizando-se um total de 423 viagens anuais.

Tabela 18 - Valores associados às variáveis $num_{v,c}$

	c4	c10	c12	c19	c25	c26
veic3	10.000	13.000	12.000	1.000	97.000	100.000
+	c42	c48	c49	c50	c51	c52
veic3	27.000	4.000	8.000	12.000	19.000	1.000
+	c53	c54	c55	c56	c58	c59
veic3	1.000	1.000	15.000	7.000	2.000	13.000
+	c81	c83	c84	c85	c86	c87
veic3	13.000	8.000	1.000	1.000	4.000	8.000
+	c122	c172	c173	c176	c182	c185
veic3	1.000	15.000	2.000	1.000	1.000	11.000
+	c186	c187	c203			
veic3	3.000	1.000	10.000			

Fonte: Adaptado pelo autor 3º e 4º Cálculo GAMS - Logística reversa de materiais coletados (2012).

4.7 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS COM USO DA FERRAMENTA ACV

Por meio dos dados resultantes dos estudos das rotas de coletas, bem como das quantidades de RT processados, pode-se, com auxílio da ferramenta ACV, estudar alguns dos impactos ambientais resultantes dessa atividade.

De modo simplificado, podemos dividir estes impactos em dois grupos principais, ou seja, àqueles gerados em virtude do transporte intenso, resultante das atividades de logística reversa, e por outro lado, os impactos gerados na fabricação de produtos utilizando os materiais derivados de resíduos ou sucatas.

Tomando-se os mesmos dados quantitativos (*i.e.* distância e massa transportada/beneficiada), podem-se avaliar algumas das consequências, influenciadas pelas distâncias percorridas, numa primeira análise. Posteriormente, se tratará, numa segunda análise, de observar as diferenças e impactos ambientais, na fabricação de produtos, a partir de matérias primas primárias ou de materiais reciclados.

Para esta avaliação, foi utilizada, neste caso a ferramenta para ACV, SimaPro, versão 7.2 Educacional. Optou-se, como método para a quantificação dos impactos resultantes, o IMPACT 2002+ na versão V2.6. Considerou-se nessa escolha a característica (*i.e.* análises envolvendo combustíveis e transportes) e atualizações parciais recentes, efetuadas em 2009, embora, para casos específicos, os autores do método sugerem adaptações diversas, necessárias para interpretar mais precisamente os resultados, antes da divulgação.

Os impactos ambientais calculados são apresentados graficamente, representando uma Pontuação Única, a qual exprime o somatório dos valores ponderados. Este método, IMPACT 2002+, é uma combinação de outros quatro métodos: IMPACTO 2002, Eco-indicador 99, CML e IPCC.

Quanto ao veículo utilizado, para cálculos de comparação no transporte, tratou-se de um caminhão urbano, com capacidade similar de carga (*i.e.* entre 3,5 e 7,5 t), classe EURO3, cadastrado no banco de dados do Ecoinvent, referente às unidades de processo. Estes dados incluem: a operação do veículo, manutenção, produção e disposição, bem como a construção, manutenção e eliminação de estradas. Considerou-se ainda, para o desempenho do veículo, a vida útil correspondente ao

tempo de 540.000 km, rodando em infraestruturas rodoviárias, que neste caso, refletem as condições suíças. Esta tecnologia utiliza o diesel.

A seguir, apresentam-se os resultados da avaliação simplificada dos impactos ambientais, gerados pela comparação entre dois dos cenários propostos no capítulo anterior, referente à otimização de rotas, que pode ser visualizado na Figura 9, seguinte, onde no cenário 1º (Transporte com apenas 1 veículo), calculou-se o custo mínimo com toda a capacidade de carga dos veículos anteriormente definidos (*i.e.* veic1, veic2 e veic3 com capacidade nominal de carga de respectivamente, 500 kg, 1000 kg e 3000 kg), obtendo-se como melhor resultado de custo mínimo a rota total de 18.783,9 km anuais, 257 viagens anuais, com um veículo do tipo 3 (caminhão urbano) necessário para o tratamento de 708,48 toneladas de RT coletados pela rede LR. No cálculo SimaPro, o dado utilizado para comparação foi o produto da distância percorrida pela massa transportada, nesse caso correspondendo a 13.308.017,47 tkm (toneladas x quilômetro).

Para o cenário 3º (Transporte com 2 veículos), calculou-se usando a capacidade reduzida dos veículos. Neste caso, houve experimentalmente, uma redução de 40% na capacidade de carga dos veículos, em comparação ao caso anterior (*e.g.* veic1, veic2 e veic3 com capacidade nominal de carga de 300 kg, 600 kg e 1800 kg, respectivamente) apresentando uma distância total percorrida de 30.810,70 km anuais, realizando-se um total de 423 viagens anuais, ou seja, duas viagens diárias para o veículo tipo 3 (caminhão urbano), necessárias para o tratamento da mesma quantidade anual de resíduos, ou seja, 708,48 toneladas. No cálculo SimaPro, o dado utilizado para comparação foi o produto da distância percorrida pela massa transportada, nesse caso correspondendo a 21.828.764,74 tkm (toneladas x quilômetro).

A comparação dos impactos ambientais, para o transporte anual, incidentes sobre a saúde humana, os recursos naturais, nas mudanças climáticas e na qualidade do ecossistema, calculados por meio do programa SimaPro, e, de acordo com os dois cenários propostos, ou seja, entre o 1º experimento (1 veículo), e o 2º experimento (2 veículos), podem ser visualizados na Figura 9 a seguir.

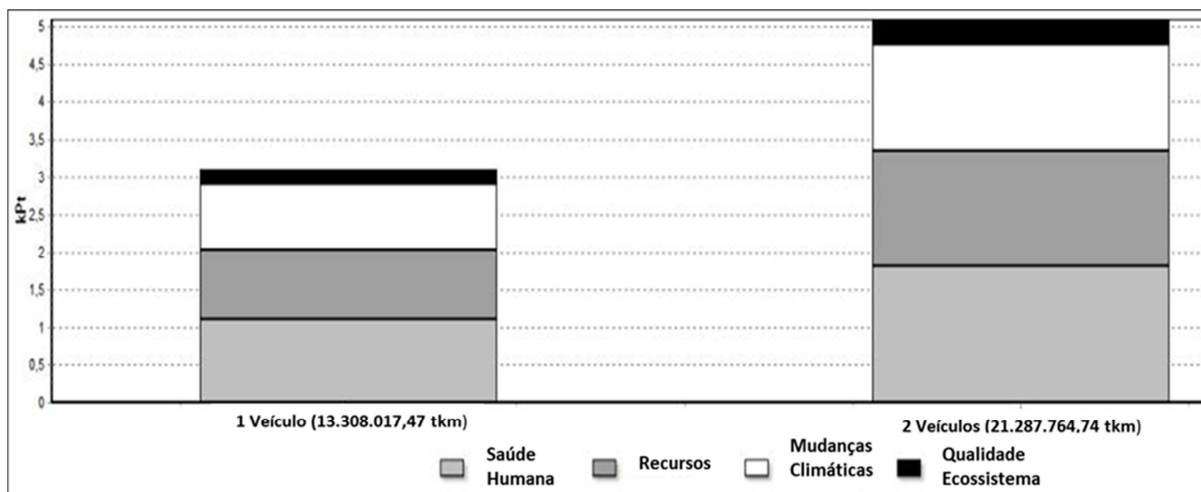


Figura 9 - Comparação de Impacto (1X2) Veículos para o Transporte LR RT RMC
Fonte: Adaptado pelo autor Cálculo SimaPro (2012).

Pode-se perceber pela Figura 9 que o transporte usando dois veículos, do ponto de vista ambiental, é o mais prejudicial. Considerando a carga anual de RT transportada, bem como, as distâncias percorridas com apenas um veículo, estas representam, apenas, 62% daquelas percorridas pelos dois veículos. Os resultados avaliam que os impactos são diversos, ou seja, refletem perigos à saúde humana, perda dos recursos naturais, causam efeitos nas mudanças climáticas e contribuem com a perda de qualidade do ecossistema. Verifica-se também que, proporcionalmente, para os dois casos, entre as quatro avaliações executadas, a de maior impacto, ou valor, são os prejuízos relativos à Saúde Humana.

O segundo e o terceiro, em potencial de impacto, têm os valores bem próximos, e são respectivamente, àqueles que causam perda nos Recursos Naturais e os que influem nas Mudanças Climáticas. O resultado que apresentou o menor valor de impacto ambiental é àquele relativo à perda de Qualidade do Ecossistema.

Os cálculos de ACV, efetuados com o SimaPro, também permitem outra análise, aplicável a este estudo, considerando ambientalmente positivos, o uso de materiais reciclados na fabricação. Apresenta-se então, uma comparação aproximada, dos efeitos ambientais, que poderiam ser minimizados, ou mitigados, quando se reutilizam componentes ou se reciclam materiais. Com este objetivo, fez-se uma estimativa, utilizando os dados fornecidos pelas Tabelas 1 e da 6 a 14, efetuando se um cruzamento de dados, considerando os principais materiais, componentes dos RT (*i.e.* aço, plástico, metais não ferrosos e vidro), e de acordo

com a proporcionalidade gravimétrica estimada no item 4.6, calculou-se numa segunda análise, quais os impactos que seriam gerados, ao se produzirem novamente, parte das 708,48 toneladas de RT coletados, enviados para beneficiamento.

A partir dos dados existentes no banco de dados do SimaPro, selecionaram-se processos de fabricação, para materiais similares, onde as condições básicas de infraestrutura eram semelhantes (*i.e.* processo de fabricação e matérias primas primárias ou secundárias). Em seguida, fez-se o cálculo de processamento destes materiais, comparando se o a fabricação, primeiramente, partindo de fontes de matérias primas primárias (*i.e.* minerais), e em seguida, aproveitando-se dos materiais secundários (*i.e.* sucatas ou reciclados). As proporções do *mix* de materiais, primários e secundários, não estavam disponíveis no banco de dados.

Em resumo, considerou-se, a seguinte proporção gravimétrica, dos diversos materiais presentes nos RT:

- a) Aço; 49% em peso, representando 347,1552 t;
- b) Plásticos; 21% em peso, divididos 148,7808 t entre PEAD e PU;
- c) Não ferrosos; 13% em peso, representando 92,1024 t;
- d) Vidro; 5% em peso, representando 35,424 t.

No caso dos metais e não metais, as quantidades utilizadas no cálculo representaram 347,1552 t para o aço e 92,1024 t para o alumínio. Tais quantidades foram cadastradas no programa, vinculadas com materiais similares, disponíveis no banco de dados SimaPro. Quanto aos processos, também se buscaram similaridades, bem como, a indicação de situações extremas, devidamente indicadas, como efeito didático da comparação. Os resultados obtidos desta combinação de fatores, a exemplo da primeira avaliação, quando se tratava das rotas de transporte, também são mostrados graficamente, em valores de Pontuação Única, que podem ser visualizados na Figura 10 a seguir:

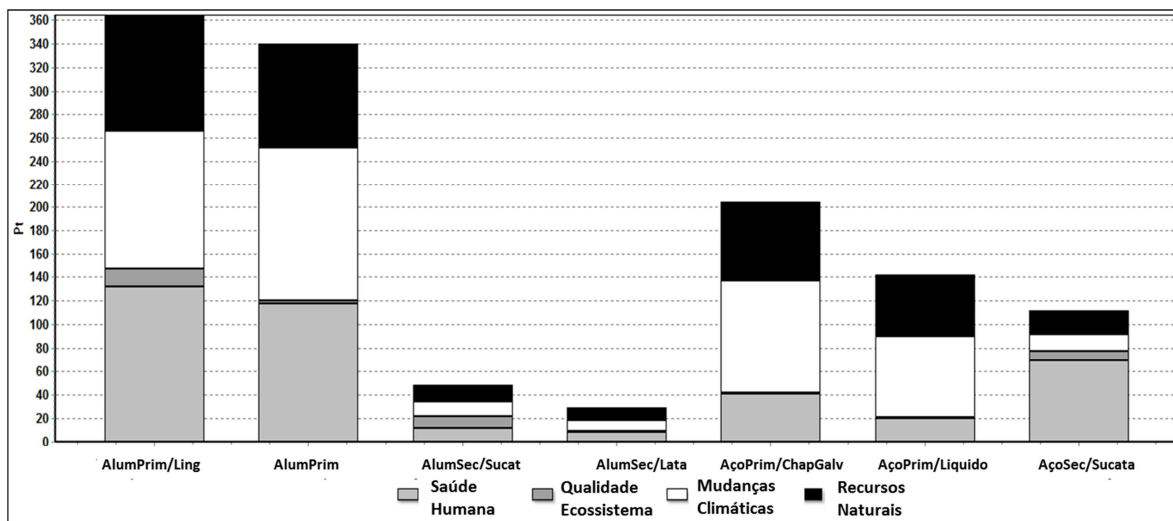


Figura 10 - Impactos ambientais na fabricação de Aço e do Alumínio com fonte de materiais Primários e Secundários.

Fonte: Adaptado pelo autor – Cálculo SimaPro (2012).

Deve-se interpretar a Figura 10, considerando diversas situações. Primeiramente, no lado esquerdo, percebem-se quatro resultados, referentes ao processo de fabricação do alumínio. No lado direito, apresenta-se três resultados, relativos à fabricação do aço.

Nas duas primeiras colunas, lado esquerdo, para alumínio de materiais primários, de fontes minerais. Nas duas seguintes, alumínio de materiais secundários, ou seja, sucatas diversas da linha automotiva e de latas prensadas usadas no envase de bebidas, respectivamente. No alumínio primário, observa-se que a primeira coluna, indica também, um processo de lingotamento, enquanto que na segunda, o de fundição.

Os resultados sinalizam impactos diversos. Para o alumínio primário em lingote, os maiores prejuízos, devem se a Saúde Humana, seguidas bem de perto pelas Mudanças Climáticas e Recursos Naturais. Menor impacto é observado para a perda de Qualidade do Ecossistema. Por outro lado, para o alumínio primário fundido, invertem-se os dois valores principais, vindo a Saúde Humana, e depois as Mudanças Climáticas, seguida pelos Recursos Naturais. Novamente, o de menor impacto é observado para a perda de Qualidade do Ecossistema.

Deduz-se ainda que, apesar da proporcionalidade dos diversos tipos de impactos serem moderadas, para quantidades e processos similares, o mesmo não acontece com o somatório desses valores, que refletem nítidas diferenças, em

virtude da origem das fontes de materiais, para os processos primários e secundários.

Na segunda fase de interpretação da Figura 10, percebem-se nas três colunas do lado direito, tendências similares de sequência lógica, a mesma observada com o alumínio, porém, para os aços de fonte primária, e para de fontes secundárias (*i.e.* de sucata ou recicláveis) de materiais. Nas duas colunas maiores, no lado direito, indicando aço primário, observa-se que a primeira, conclui o processo com o produto chapa galvanizada, enquanto que na segunda, apenas o aço líquido.

Nos dois casos, referente aos aços primários, os principais impactos referem-se às Mudanças Climáticas, seguidas pela perda dos Recursos Naturais. Posteriormente, também com um valor elevado, os prejuízos a Saúde Humana. Menor impacto é observado para a perda de Qualidade do Ecossistema. Por outro lado, para o aço secundário, de fontes recicláveis ou sucatas, os valores relativos aos cenários dos impactos não são tão diferentes em valores absolutos, ou seja, o somatório é próximo, apenas com diferença próxima de 21%, para o aço líquido. Já os impactos, são diferentemente distribuídos, sendo significativos os resultados para a Saúde Humana, responsável por quase 70%, e depois, Recursos Naturais com 20%, as Mudanças Climáticas, com aproximadamente 14%. O menor valor é o observado para a perda de Qualidade do Ecossistema.

Apesar do somatório dos valores, refletirem diferenças de impactos menores, para quantidades e processos similares, destaca-se também à tendência decrescente, em valores absolutos, de acordo com a origem das fontes de materiais, entre os processos primários e secundários.

Para os demais materiais (*e.g.* vidro e polímeros), não foi possível a comparação, visto que não se conseguiu obter similaridades, entre processos e materiais, nas bases de inventários atualmente disponíveis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da necessidade premente, de iniciativas para tratar o tema dos REEE, não se observaram movimentos estratégicos ou percepções de investimentos específicos na área dos RT.

Basicamente, em nossos dias, o produto mais rentável, resultante da efetiva LR de RT, trata-se da recuperação de metais nobres, de alto valor, como ouro (Au), platina (Pt), paládio (Pd), entre outros, contidas nas PCIs (placas de circuito impresso) continuam sendo exportadas, pela falta de tecnologia no país.

Não se encontraram estudos direcionados ao reaproveitamento de componentes eletrônicos, desmontados das PCIs, sejam como materiais reciclados ou na remanufatura.

O coletor autônomo requer um cuidado social diferenciado, pois precisa e prefere atender às suas necessidades imediatas, que são àquelas obtidas com o comércio de resíduos recicláveis comuns, mais volumosos, tais como papel, vidro, plásticos, de fácil comercialização e retorno financeiro imediato.

Durante a pesquisa, pode se verificar, no exterior, movimentos importantes, relacionados com a logística reversa dos eletroeletrônicos, capitaneados por empresas de porte (e.g. Dell, Apple, Electrolux, HP, Xerox, entre outras).

No Brasil, ainda se aguardam as regras mais claras, adjuntas à PNRS, para as efetivas ações por parte dos *stakeholders*. Observa-se ainda, que a maioria dos produtores, transfere a gestão de sua rede logística reversa para terceiros. Tais prestadores de serviços têm custos relativamente baixos (*i.e.* ampla rede de coleta e carteira de clientes diversificada, e consequente flexibilidade), características típicas dos serviços de baixos aportes tecnológicos. Finalizando, percebe-se então, indecisão quanto aos investimentos, capazes de agregar e recuperar valor nesse tipo de RT.

6 CONCLUSÕES

Ao final deste trabalho, percebeu-se que entre os objetivos planejados, grande parte foi alcançada, durante o desenvolvimento desta dissertação. Perseguiu-se o objetivo de modelar a rede logística reversa para os RT, porém, percebeu-se que, embora muito importante e urgente, pouco se faz ainda, a este respeito. Tenta-se, na verdade, utilizar a mesma estrutura existente para os resíduos recicláveis comuns, e por este motivo não se tem eficiência, conseqüentemente, não se terá condições de expansão, e o sistema fica estagnado.

O inventário e reunião de dados, embora trabalhosa, foi oportunidade para conhecer a fundo, o sistema de tratamento dos resíduos existente, e, ao mesmo tempo, evidenciar que muito trabalho e avanço futuros, devem ser feitos, para incrementar a LR dos RT, de modo a obterem os benefícios ambientais esperados.

Do ponto de vista econômico, esta área ainda é recente, mostra-se promissora, porém, depende bastante da parceria com a academia, no sentido da Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), voltados para a produção e agregação de valor, ou seja, projetos de equipamentos para desmontagem, testes, reuso e reaproveitamento dos RT, materiais e componentes. Neste sentido, este trabalho trás a confirmação da oportunidade, no curto e longo prazo, como visão para futuros trabalhos.

Os resultados mostram que, tanto na logística direta como na reversa, os impactos ambientais existentes são diversos, ou seja, atuam em prejuízo da saúde humana, desequilibram o ecossistema, geram mudanças climáticas e exaurem os recursos naturais, porém, a logística reversa tecnologicamente desenvolvida para estes resíduos, poderá mitigar e reduzir os impactos, entre outras vantagens.

Quanto aos resultados dos experimentos, a Pesquisa Operacional, combinada com a ACV, como mostrado, pode ajudar muito na concepção de novos projetos, e na reestruturação dos já existentes, ao oferecer suporte científico, combinando tecnologia e meio ambiente, de modo exato para a tomada de decisão.

Na avaliação do transporte, como exemplo, cita-se que uma tomada de decisão mal planejada, no caso da redução de reduzir a capacidade de carga dos veículos, poderia, eventualmente, gerar um aumento dos impactos ambientais e nos custo dos serviços (*i.e.* quantidade de veículos, mão de obra e consumo de combustíveis).

Apresenta se também, as contradições, entre a economia e o meio ambiente, ou seja, o menor tempo de coleta pode não ser o ambientalmente indicado.

Do processo da reciclagem, conclui-se que, a recuperação dos materiais e componentes, reduz os impactos ambientais, beneficiando também o ciclo produtivo (*time-to-marketing*) e poupando a natureza, ao diminuir a extração e o consumo de mais materiais primários. Esta colocação poderia ser valorizada pelos desenvolvedores de produto, no momento de definirem, para os seus projetos, quais os materiais e processos mais indicados, do ponto de vista ambiental.

Espera-se, finalmente, que esta pesquisa possa despertar interesse nas áreas tecnológicas e das engenharias, incorporando prioridade hierárquica voltada às questões ambientais, em projetos e processos, minimizando os prejuízos e impactos, também no longo prazo.

7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT: NBR ISO 14040, Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida: Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

BIGUM, Marianne; BROGAARD, Line K-S. **LCA modelling of metal recovery from 1 tonne high grade WEEE**. DTU Environment, Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark (DTU), CRETE 2010. 2nd International Conference on Hazardous and Industrial Waste Management, Greece. 2010. Disponível em: <<http://www.env.dtu.dk/Service/searchresult.aspx?lg=showcommon&id=268244>>. Acesso em: 25/06/2010.

BOWERSOX, Donald J., CLOSS, David J. Logística Empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos. São Paulo, Atlas, 2001.

CALDEIRA-PIRES, Armando; SOUZA-PAULA, Maria Carlota de; VILAS BOAS Roberto C. (orgs). **Avaliação do Ciclo de Vida: A ISO 14040 na America Latina**. Brasília: Abipti, 2005, 337 p. 21,5 cm. Apoio CNPq, CYTED, UnB. ISBN 85-89263-04-5.

Câmara Municipal de Curitiba. **Comissão do Lixo visita unidades de reciclagem**. Portal da Transparência. Notícias do Legislativo. Disponível em: <http://www.cmc.pr.gov.br/ass_det.php?not=18089#>. Acesso em: 08/12/2011.

COTTRILL, Ken. **Dell and the Reverse Computer Boom**. Traffic World 267 n.50 Dec, 15- 2003, The H.W. Wilson Company WN: 0334900339014 (C) Copyright 2001 The Journal of Commerce. Disponível em: <<http://www.trafficworld.com>>. Acesso em 05/07/2011.

CRISTOPHER, M., Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: estratégias para redução de custos e melhoria dos serviços. São Paulo, Pioneira, 1997.

CUNHA, Dayane. **Curitiba aposta na inclusão de catadores para reciclar 35% de seu lixo total**. Revista Sustentabilidade. São Paulo, jan. 2008. Reciclagem. Disponível em: <<http://www.revistasustentabilidade.com.br/noticias/reciclagem-de-residuos-solidos-e-liquidos-aumenta-em-curitiba>>. Acesso em: 20/08/2011.

DAY, Catherin. Frequently Asked Questions on Directive 2002/95/EC on the Restriction of the Use of certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment (RoHS) and Directive 2002/96/EC on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). EUROPEAN COMMISSION, Director-General of DG Environment, august, 2006.

DIAS, Marilza do C. O., **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Curitiba**, Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Curitiba, out. 2010. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/multimidia/00084142.pdf>>. Acesso em: 03/11/2010.

DÍAZ, A., ÁLVAREZ, M.J., GONZÁLEZ, P., **Logística Inversa y Medio Ambiente: Aspectos Estratégicos y Operativos**, Madrid, España, McGraw-Hill, 2004.

DIRECTIVE 2002/95/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. **On the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment**. Official Journal of the European Union, L 37/19. 27, January, 2003. EIONET - European Topic Centre on Sustainable Consumption and Production. **What is waste?** Disponível em: <<http://scp.eionet.europa.eu/themes/waste/figures/figure3>>. Acesso em 12/03/2012

FRANKE, C. **Research Engineer**. FIEC - Federação das Indústrias do E.C – Sobre o lixo tecnológico. Disponível em: <http://www.sfiac.org.br/iel/bolsaderesiduos/Artigos/Artigo_Lixo_tecnologico.pdf>. Acesso em: 28/08/2010.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DE MINAS GERAIS – FEAM: **Diagnóstico da geração de resíduos eletroeletrônicos no Estado de Minas Gerais**. Disponível em: <http://ewasteguide.info/+les/Rocha_2009_pt.pdf>. Acesso em: 14 out. 2011.

GRAEDEL, Thomas E.; ALLENBY, Braden R., **Industrial Ecology**. 2ª ed., Upper Saddle River, NJ, USA, AT&T, Prentice Hall, 2009.

HISCHIER, R. **Life Cycle inventories of Electric and Electronic Equipment: Disposal (e-Waste)**. Ecoinvent report, n.18- part V, v2.0, EMPA, Technology & Society Lab, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, St. Gallen, Suíça, 2007. Disponível em: <db.ecoinvent.org/ecoquery/files/18_V_Electronics_disposal.pdf?area=463ee7e58cbf8>. Acesso em 06/12/2011.

HISCHIER R., CLASSEN M., LEHMANN M., SCHARNHORST W.; **Life Cycle Inventories of Electric and Electronic Equipment - Production, Use & Disposal. Final report Ecoinvent** Data v2.0. Volume: 18. Swiss Centre for LCI, Empa - TSL. Duebendorf and St. Gallen, Suíça, 2007. Disponível em: <http://db.ecoinvent.org/ecoquery/files.php?area=463ee7e58cbf8&action=list>. Acesso em 06/12/2011.

Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC. **Banco de Dados. Curitiba - Região Metropolitana.** Disponível em: <http://www.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/anexos/2010%20desde%201970%20%C3%81rea,Pop.densidade%20demografica,taxa%20de%20crescimento%20da%20RMC.xls>>. Acesso em: 10/11/2011.

JAYARAMAN, Vaidyanathan, PATTERSON, Raymond A., ROLLAND, Erik. **The design of reverse distribution networks: Models and solution procedures.** Discrete Optimization. European Journal of Operational Research, v.150, 128–149, 2003.

LACERDA, L., **Logística Reversa, uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais, Instituto de Logística ILOS, 10/01/2002.** Disponível em [http://www.ilos.com.br/site/index.php?option=com_content&...>](http://www.ilos.com.br/site/index.php?option=com_content&...). Acesso em: 02/10/2010

LACOBBA, S.R., **El Sistema de Logística Inversa en la Empresa: Análisis Y Aplicaciones**, Tesis Doctoral, Universidad de Extremadura, Departamento de Economía aplicada y Organización de Empresas, España, 2003.

LEITE, P. R. **Logística Reversa: meio ambiente e competitividade.** 1. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA - ICLEI – Brasil. **Planos de gestão de resíduos sólidos: manual de orientação.** Brasília, 2012, Bibliografia ISBN: 978-85-99093-21-4. Disponível em: http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&ved=0CEYQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.mma.gov.br%2Festruturas%2F182%2F_arquivos%2Fmanual_de_residuos_solidos_28_03_182.pdf&ei=g1stUlfOF6Tr0qGX6YF4&usq=AFQjCNFXfhhbANOewTchTfSWOykBpbiws0w&sig2=p2065u6T-iBm5rfzcYl1bw>. Acesso em 20/4/2012.

MOGUEL, Guillermo J. R. **Diagnóstico sobre la generación de Basura electrónica en México**. Instituto Nacional de Ecología. Estudio desarrollado por El INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo. México, D. F. 6 de julio de 2007.

ORTIZ, Mar J. ; DÍAZ, Adenso B.; VELARDE, González J. L. **Design of a recovery network for WEEE collection: the case of Galicia, Spain**. Journal of the Operational Research Society vol. 62, issue 8, pp. 1471-1484 (August 2011) Disponível em < <http://www.palgrave-journals.com/jors/journal/v62/n8/abs/jors2010114a.html> >. Acesso em: 11/08/2011.

Palácio do Planalto, Presidência da República do Brasil, Casa Civil, Lei Ordinária 12.305/2010 de 2/08/2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS**. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em 8/8/2010.

PLANO DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS – PGIRS. Prefeitura Municipal de Curitiba. Secretaria Municipal de Meio Ambiente – SMMA. 2010. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/multimidia/00084142.pdf>>. Acesso em: 08/11/2010.

ROGERS, D.S., TIBBEN-LEMBKE, R.S., **Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices**. University of Nevada. Reno Center for Logistics Management. Reverse Logistics Executive Council. 1998.

RODRIGUES, Luiz C. A.. **Técnicas de Otimização (Heurística)**. Arquivo para Download. DAMEC. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, DAMEC. Disponível em: <http://pessoal.utfpr.edu.br/lcar/arquivos/TECNICAS_OTIMIZACAO.doc>. Acesso em: 20/06/2011.

RODRIGUES, A.C. Impactos Socioambientais dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos: Estudo da Cadeia Pós-consumo no Brasil. Santa Bárbara D'Oeste: UNIMEP, Dissertação de Mestrado, 303 p., 2007.

SCHLUEP, Mathias. **Swiss E-Waste Programme**. Empa, Technology and Society Laboratory. Disponível em: <<http://ewasteguide.info/swiss-e-waste>>. Acesso em 15/05/2012.

SILVA, Uca. **Los residuos electrónicos: Un desafío para la Sociedad del Conocimiento en América Latina y el Caribe**. Montevideo, 2010. Günther Cyranek, Consejero de Comunicación e Información para el MERCOSUR y Chile Plataforma RELAC SUR/IDRC, © UNESCO 2010 ISBN 978-92-9089-150-5.

TAVARES, Romero C. **Uma Ferramenta de Planejamento e Gerenciamento do Resíduo Urbano de Curitiba e Região Metropolitana**. Instituto de Engenharia do Paraná (IEP) – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, Curitiba, Dissertação de Mestrado, 2007.

UGAYA, C. M. L., Análise de Ciclo de Vida: estudo de caso para materiais e componentes automotivos no Brasil. UNICAMP. Campinas, São Paulo, Brasil, 199p, Tese (Doutorado), 2001.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Recycling from e-waste to resources**. Sustainable Innovation and Technology Transfer - Industrial Sector Studies, Oktoberdruck AG, Berlin, Alemanha, 2009a. Disponível em: <http://www.unep.org/PDF/PressReleases/E-Waste_publication_screen_FINALVERSION-sml.pdf>. Acesso em:28/08/2011.

_____. **Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products**. The UNEP and SETAC Life Cycle Initiative. Belgium, 2009b. ISBN: 978-92-807-3021-0, DTI/1164/PA. Disponível em: <<http://lcinitiative.unep.fr>>. Acesso em: 15/06/2011.

VALDIVIA, Sônia; CALDEIRA, Armando Pires. **A Avaliação do Ciclo de Vida: A ISO 14040 na América Latina**. 2005, p.145. Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, 2005.

VISVANTHAN, C.; YIN, Nang H.; KARTHIKEYAN, Obuli P. **Co-disposal of electronic waste with municipal solid waste in bioreactor landfills**. Environmental Engineering and Management Program. School of Environment, Resources and Development, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand. Waste Management, v.30 (2010), p.2608–2614. www.elsevier.com/locate/wasman doi:10.1016/j.wasman.2010.08.006

WANG, Yacan; YU, Jing; ZHAO, Xinfei; LU, Tao; DU, Jie; HUANG, Xiaoyan. **Research on the Life Cycle Analysis of the Reverse Supply Chain of the Lead Acid Batteries** - School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University Beijing, China, IEEE, 978-1-4244-4713-8/10/2010.

WEIDEMA, B. P.; BAUER, C.; HISCHIER, R.; NEMECEK, T.; WERNET, G. **Overview and methodology - Data quality guideline for the Ecoinvent database**. Ecoinvent Report, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2010. Disponível em: http://db.ecoinvent.org/ecoquery/files/01_OverviewAndMethodology.pdf?area=463ee7e58cbf8. Acesso em: 08/03/2010.

YIMSIRI, Sanya. **Designing multi-objective reverse logistics networks using genetic algorithms**. 2009. By Presented to the Faculty of the Graduate School of The University of Texas at Arlington in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, Arlington, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10106/1678>>. Acesso em: 14/10/2010.

APÊNDICE A – DISTÂNCIAS ENTRE CVMR E ASSOCIAÇÕES DE COLETORES DE LQNL

Empreendimento	Cidade	Distância (km)	Endereço
AMAR EBENEZER - Associação de Catadores de Materiais Recicláveis	Curitiba	19,5	Rod BR 116 (Ceasa), nº 22881, CEP 81.690-500, Tatuquara.
BARRACÃO - Associação dos Catadores e Catadoras de Mat.	Curitiba	18,6	R Jose Mauricio Higgins, 279, CEP 81.670-410, Boqueirão
VIDA NOVA - Associação de Catadores de Materiais Recicláveis	Curitiba	19,8	R Hellen Keller, 118, CEP 81.020-590, Capão Raso
CATAMARE - Coop. De Catadores e Catadoras de Materiais	Curitiba	15,1	R Doutor Reynaldo Machado, 25, CEP 80.215-010, Rebouças
Associação de Catadores Natureza Livre	Curitiba	13,4	Av. Senador Salgado Filho, 7482, CEP 81.580-000, Uberaba
Associação de Catadores Limpar e Reciclar	Almirante Tamandaré	23,6	R Antonio Johnson, 93, CEP 83.503-000, Parque São Jorge
ASSOL - Associação Solução Ambiental de Catadores	Almirante Tamandaré	19,2	R São Manoel, 537, CEP 83.503-150, Cachoeira
RECICLAR - Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis	Araucária	38,7	Rua Lótus, 831, Araucária - PR, CEP 83709-500, Jardim Santa
RESOL - Associação dos Trabalhadores na Separação de	Colombo	14,3	R. Do Ipê, 03, CEP 83.411-240, Parque Monte Castelo
COOPZUMBI - Cooperativa de Carrinheiros Zumbi dos Palmares	Colombo	5,3	R Shirlei Boeira Souto, 35, CEP 83.413-740, Centro Industrial
Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis Comunidade	Fazenda Rio Grande	41,1	R Dinamarca, 4, CEP 83.820-000, Nações
AREPI - Associação dos Recicladores	Pinhais	1,4	R Alto Paraná, 100, CEP 83.326-135, Jardim Atuba
RECIQUARA - Associação de Coletores de Materiais Recicláveis	Piraquara	7,8	R Pastor Adolfo Weidmann, 1316, CEP 83.312-000,
ASSUR - Associação Unidos da Reciclagem	Campo Largo	37,4	Rod. BR-277, sentido Ponta Grossa, 608, CEP 83.604-175,
RECICLAZUL - Associação de Catadores de Resíduos Sólidos	Cerro Azul	92,6	R Expedicionário Pedro Paulin, s/n, CEP 83.570-000, Vila
RECILAPA - Associação de Catadores de Materiais Recicláveis	Lapa	82,5	R Otavio Jose Kuss, 716, CEP 83.750-000, Centro
ASSORENOSR - Associação de Recicladores Nossa Senhora do	Palmeira	111	R Nair Alves Ramos, s/n, CEP 84.130-000, Rocio II
ARPA - Associação dos Recicladores de Porto Amazonas	Porto Amazonas	72,3	R Leonardo Novaki, 775, CEP 84.140-000, Centro
Assepar - Associação de Separadores - Vila Santa Maria	Paranaguá	87,9	R Sem. Attilio Fontana, s/n, CEP 83.203-000, Vila Santa Maria
ACAPRA - Associação de Catadores de Produtos	Antonina	69,6	R Dona Alcylina de Freitas da Silveira, s/n, CEP 83.370-000,
ACOMREG - Associação dos Coletores de Materiais Recicláveis	Guaratuba	139	R Guaira, s/n, CEP 83.280-000, Bairro Carvoeiro
ANCRESMAT - Associação dos Coletores e Recicladores de	Matinhos	111	R Adrianópolis, 09, CEP 83.260-000, Bairro rio da Onça
AMAGEM - Associação Municipal dos Agentes Ambientais	Matinhos	114	R Bom Sucesso, 423, CEP 83.260-000, Bairro Vila Nova
ACOMAREM - Associação de Coletores de Materiais Recicláveis	Morretes	69	Estrada do Anhaia, Sn, CEP 83.350-000, Bairro Fortaleza
Associação de Coletores e Recicladores da Ilha dos Valadares	Paranaguá	95,8	R quarenta e nove, s/n, CEP 83.200-000, bairro sete de

APÊNDICE B – DISTÂNCIAS ENTRE TERMINAIS PARA A DISPOSIÇÃO DE LQNL E UVR CAMPO MAGRO

Terminal	Endereço	Distancia (km)
Bairro Alto	Rua Jornalista Alceu Chichorro, s/n, Bairro Alto, CEP: 82820-290	33
Barreirinha	Avenida Anita Garibaldi, s/n, Barreirinha CEP: 80540-180	24,7
Boa Vista	Avenida Paraná, 1200, Bairro Boa Vista, CEP 80035-130	27,9
Boqueirão	Avenida Marechal Floriano Peixoto, s/n, Boqueirão, CEP: 81730-230	27,6
Cabral	Avenida Paraná, 420, Cabral, CEP: 80035-130	28,4
Caiuá	Rua Raul Pompéia, s/n°, Cidade Industrial, CEP: 80000-000	21,8
Campina do Siqueira	Rua Padre Anchieta, s/n, Campina do Siqueira, CEP: 80410-030	22,9
Campo Comprido	R. Deputado Heitor Alencar Furtado, s/n, Campo Comprido, CEP 80740-060	13,2
Capão da Imbuia	Rua Ronaldo José Carboni, s/n, Capão da Imbuia, CEP: 80000-000	33,7
Capão Raso	Avenida Republica Argentina, s/n, Novo Mundo CEP: 80240-210	28,4
Carmo	Avenida Marechal Floriano Peixoto, 8354, Boqueirão CEP: 81650-320	26
Centenário	Rua Lourival Wendler, s/n, Cajuru, CEP: 82960-030	26
CIC	Rua Pedro Gusso, s/n, Cidade Industrial, CEP: 80000-000	27,2
Fazendinha	Rua Carlos Klemtz, s/n, Fazendinha, CEP: 81320-000	24,4
Guadalupe	Rua João Negrão, s/n, Centro, CEP: 80010-200	22,4
Pinheirinho	Avenida Winston Churchill, s/n, Capão Raso, cep:81130-000	22,4
Portão	Avenida Republica Argentina, s/n, Portão, CEP: 80240-210	27,1
Rui Barbosa	Praça Rui Barbosa, s/n, Centro, CEP: 80010-030	19,5
Santa Cândida	Avenida Paraná, s/n, Santa Cândida, CEP: 80000-000	31,6
Santa Felicidade	Praça Veneto, s/n, Santa Felicidade, CEP: 82400-010	13,7
SITES	Rua Padre Germano Mayer, s/n, Alto da Rua XV, CEP: 80050-270	24,2
Sítio Cercado	Rua Izaac Ferreira da Cruz, s/n, Sítio Cercado, CEP: 81870-000	26
Vila Hauer	Avenida Marechal Floriano Peixoto, s/n, Hauer, CEP: 81630-000	24
Vila Oficinas	Rua Engenheiro Costa Barros, s/n, Cajuru, CEP: 82950-420	25,4