

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais
PPGE3M

Jorge Luiz Kunrath

**RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS: UM DIAGNÓSTICO DA CADEIA DE
PROCESSAMENTO**

**Porto Alegre
2015**

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais
PPGE3M

Jorge Luiz Kunrath

**RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS: UM DIAGNÓSTICO DA CADEIA DE
PROCESSAMENTO**

Trabalho realizado no Departamento de Materiais da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Ciência e Tecnologia dos Materiais

Orientador: Professor Dr. Hugo Marcelo Veit

**Porto Alegre
2015**

CIP – Catalogação na publicação

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais
PPGE3M

Jorge Luiz Kunrath

**RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS: UM DIAGNÓSTICO DA CADEIA DE
PROCESSAMENTO**

Trabalho realizado no Departamento de Materiais da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Ciência e Tecnologia dos Materiais

Aprovado em sete de maio de 2015.

Orientador: Professor Dr. Hugo Marcelo Veit – PPGE3M/UFRGS

Banca Examinadora:

Professor Dr. Luis Felipe Machado do Nascimento – PPGA / UFRGS

Professora Dr.^a Liane Roldo – PGDESIGN / UFRGS

Professor Dr. Álvaro Meneguzzi – PPGE3M / UFRGS

*Dedico este trabalho ao meu pai, Paulino Kunrath.
Gostaria que ele estivesse aqui, agora, para eu poder ver
em seus olhos aquele sorriso de satisfação pelas
conquistas de seus filhos. Dedico, também este trabalho a
pessoa mais especial do mundo, minha mãe Herta, que
junto com meu pai me ensinaram os valores da vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em especial, ao professor Hugo Marcelo Veit pela clareza em suas orientações, pela disposição e apoio durante a realização deste trabalho;

Agradeço à UFRGS por ter me possibilitado a realização deste mestrado, extensivo aos responsáveis pelo programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais;

Agradeço aos professores do programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais pelas aulas ministradas e conhecimento transmitido;

Agradeço aos responsáveis pela direção da Secretaria de Infraestrutura e Logística do Governo do Estado do Rio Grande do Sul pela disponibilização de horário para participar das aulas;

Agradeço a todos que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho e não foram citados.

RESUMO

Reconhecido como um problema mundial, o crescente volume de resíduos eletrônicos tem representado uma preocupação quanto às práticas de descarte destes equipamentos por utilizar na fabricação produtos e metais tóxicos com possíveis danos à saúde dos seres humanos e ao ambiente. Os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos também possuem em sua composição metais preciosos como ouro e a prata, além de teores significativos de cobre, representando fonte de interesse comercial na recuperação destes materiais, reduzindo a necessidade de exploração destes recursos na natureza. Estes fatores associados à rápida obsolescência e posterior descarte impulsionou uma complexa cadeia produtiva formada por empresas que coletam, separam, fracionam, recuperam, armazenam e reciclam estes materiais. Neste fluxo ocorrem várias interações entre as empresas e a sociedade com consequentes impactos sociais, econômicos e ambientais. Esta pesquisa realizou um diagnóstico de uma parte desta cadeia, compreendida pelos “processadores de resíduos”, entendido como as empresas que realizam a coleta, armazenagem, segregação e descaracterização dos equipamentos. Seus processos são em sua maioria manuais e, em alguns casos, algumas etapas de processamento mecânico. Operam na etapa de pré-processamento como fornecedores de insumos para o restante da cadeia. Estas empresas não realizam os procedimentos mais complexos da reciclagem, como a pirometalurgia, hidrometalurgia e eletrometalurgia. Para atingir o objetivo proposto foi utilizado um questionário semiestruturado direcionado a empresas previamente selecionadas e de abrangência nacional. Os dados coletados foram tabulados e analisados em seus contextos qualitativos e quantitativos, com o cruzamento de informações. Os resultados da pesquisa forneceram um conjunto de informações a respeito do sistema produtivo, dos volumes processados e de aspectos econômicos e de gestão do setor. Foi possível identificar os vários níveis de amadurecimento e gestão, onde algumas empresas operam com consistente estrutura administrativa, conhecimento, cumprimento da legislação e consciência ambiental, e outras, com sistemas de gestão deficientes e quase informalidade. Possuem capacidade média de processamento de resíduos de 100 toneladas/mês, e utilização de 50% desta capacidade. A parcela reciclável dos resíduos é em média 80% do total do material coletado. Os setores da sociedade que mais contribuem com resíduos são a indústria com 41,25% seguido do comércio e doméstico. No contexto econômico, 70% do faturamento tem origem no processamento de placas de circuito integrado. Quanto à comercialização dos produtos 75,39% tem como destino outros recicladores no Brasil ou exterior. Os dados coletados sobre os custos de processamento não foram satisfatórios pelo reduzido número de respostas, demonstrando que a questão poderia ter sido mais bem formulada ou a técnica de coleta melhor estudada. As principais contribuições resultantes deste trabalho são fornecer uma visão do fluxo e do volume de resíduos processados, possibilitar uma compreensão das interações econômicas entre os diversos interessados e das dificuldades que o setor enfrenta para alcançar um sistema de gestão sustentável para os resíduos eletroeletrônicos.

Palavras-chave: resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, gestão de resíduos, processadores de REEE.

ABSTRACT

Recognized as a world problem, the increasing volume of electronic waste gives rise to as much concern as the practice of discarding this equipment because, in its fabrication, toxic metals are used, which causes possible health risks for human beings and for the environment. Electronic equipment waste also has precious metals within its composition, such as gold and silver, besides significant levels of copper, which represents a source of commercial interest in terms of the recuperation of these materials and a subsequent reduction in the necessity of exploration of these natural resources. These factors, together with the rapid transformation into obsolescence and later disposal of the equipment, has stimulated a complex production chain made up of companies who collect, separate, break up, recuperate, store and recycle these materials. In this interchange, various interactions occur between the companies and the society with a consequent social, economic and environmental impact. The present research has made a diagnosis of one part of this chain, as in the “waste processors”, that means the companies which carry out the collection, storage, separation and transformation of the equipment. The majority of the processes are manual with a few cases of mechanical processes in some stages. They operate at the pre-processing stage as input suppliers for the rest of the chain. These companies do not carry out the more complex procedures of recycling, such as pyrometallurgy, hydrometallurgy or electrometallurgy. To achieve the proposed objective, a semi-structured questionnaire was used, directed towards previously selected companies on a national scale. The collected data were tabulated and analyzed within their qualitative and quantitative context with a cross-check information. The results of the research produced information in relation to the productive system, the volume which is processed, the economic aspects and the sector management. It was possible to identify the various levels of maturation and management, where some companies operate with a consistent administrative structure, knowledge, compliance with the law and environmental consciousness but where others operate with deficient management and a lack of formality. They have an average capacity of waste processing of residues of 100 tons per month with 50% utilization of this capacity. The recycled part of the waste represents an average of 80% of the total amount of collected material. The sectors that more generate this kind of waste are the industrial sector, with 41.25%, followed by the commercial and domestic sectors. Within an economic context, 70% of the income originates from Printed Circuit Boards (PCBs). Regarding the commercialization of the products, 75.39% are destined for other recycling plants in both Brazil and abroad. The collected data were not satisfactory in relation to the processing costs because of the low number of replies, demonstrating that the questions in relation to this could have been better formulated or the information collecting method should be improved. The main contributions resulting from this study are: create a vision of the volume flux of processed waste and allow for comprehension of the economical interactions between the various interested parties and the difficulties which the sector faces to achieve a sustainable management system for electronic waste.

Keywords: electronic equipment waste, waste management, waste processors of electronic equipment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cadeia da Reciclagem.....	16
Figura 2 - Mapa de concentração dos recicladores.....	35
Figura 3 - Principais técnicas de reciclagem	37
Figura 4 - Fluxograma da reciclagem.....	43
Figura 5 - Modelo do fluxo da Logística Reversa	47
Figura 6 - Sequência metodológica da pesquisa.....	49
Figura 7 - Procedimentos e métodos da pesquisa.....	59
Figura 8 - Fluxo básico dos REEE no grupo de interesse pesquisado.....	62
Figura 9 - Mapa de concentração dos recicladores.....	64
Figura 10 – Participação dos setores da sociedade nos resíduos descartados/coletados	70
Figura 11 - Participação dos grupos de resíduos no volume mensal coletado	75
Figura 12 - Componente da entrada e saída.....	76
Figura 13 - Capacidade de processamento utilizada.....	80
Figura 14 - Parcela reciclável	81
Figura 15 - Fração rejeitada após processamento	83
Figura 16 - Modelo de negócio com resíduos eletroeletrônicos	86
Figura 17 – Custos de processamento em R\$/kg.....	88
Figura 18 - Destinação dos produtos resultantes	94
Figura 19 - Destinação dos rejeitos	95
Figura 20 - Distribuição percentual das empresas com procedimentos de recuperação de REEE (empresas processadoras que responderam a pesquisa)	96
Figura 21 - Fluxo de massa (processos e fluxos).....	98
Figura 22 - Fluxo de massa (percentuais de resíduos e produtos).....	100
Figura 23 - Cálculo de fluxo de massa do sistema (toneladas/mês)	101
Figura 24 – Infográfico do fluxo de massa do processamento de resíduos	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Empresas pesquisadas, empresas respondentes e atividade.....	68
Tabela 2 - Geração de resíduos eletroeletrônicos por segmento da sociedade	69
Tabela 3 – Contribuição percentual das fontes geradoras nos resíduos coletados	69
Tabela 4 - Tipo de resíduo x Fonte Geradora.....	71
Tabela 5 - Volume de REEE recebidos para processamento por tipo de equipamento.....	72
Tabela 6 - Volume mensal consolidado de REEE.....	74
Tabela 7 - Frações de materiais produzidos (t/mês)	77
Tabela 8 - Comparativo da participação no faturamento x volume produzido por fração	77
Tabela 9 - Capacidade de processamento.....	79
Tabela 10 - Faixa reciclável dos resíduos.....	82
Tabela 11 - Forma de negociação para os grupos de resíduos.....	85
Tabela 12 - Participação dos tipos de resíduos no faturamento.....	90
Tabela 13 - Lista de produtos e participação no faturamento.....	91
Tabela 14 - Lista de produtos consolidada e participação no faturamento.....	92
Tabela 15 - Destinação das frações resultantes do processamento.....	93
Tabela 16 - Fluxo de massa (volumes considerados)	99
Tabela 17 – Agrupamento das frações de produtos.....	99

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Aspectos ambientais, sociais e econômicos na gestão dos REEE.....	20
Quadro 2 - Vida útil média dos equipamentos eletroeletrônicos (EEE).....	22
Quadro 3 - Categoria dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (Diretiva Européia)	23
Quadro 4 – Massa média dos equipamentos eletroeletrônicos	24
Quadro 5 - Participação percentual dos materiais na composição dos REEE	26
Quadro 6 - Materiais encontrados em componentes e partes específicas dos REEE	26
Quadro 7 - Elementos perigosos existentes nos REEE, utilização e danos causados.....	28
Quadro 8- Categoria dos REEE e taxa de reutilização e reciclagem.....	32
Quadro 9 - Grupos de Equipamentos pesquisados e categorias	51
Quadro 10 - Equipamentos participantes de cada grupo de resíduos	52
Quadro 11 - Linhas de Produtos.....	52
Quadro 12 – Equipamentos e produtos do processamento	54
Quadro 13 - Grupos da sociedade que descartam resíduos considerados na pesquisa	54
Quadro 14 - Lista de empresas selecionadas para participar da pesquisa	63
Quadro 15 – Relação entre o volume de resíduo e a massa.....	73
Quadro 16 - Preço referência para quilo de REEE comercializado.....	86
Quadro 17 - Preço de comercialização das frações resultantes do processamento.....	89
Quadro 18 - Reaproveitamento ou recuperação de REEE pelas empresas.....	96

LISTA DE ABREVIATURAS

- ABDI – Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial
- ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Eletroeletrônica
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
- ABS - Acrilonitrila-Butadieno-Estireno
- CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem
- CRT – *Cathode Ray Tube* (Tubo de Raios Catódicos)
- EEE – Equipamentos Eletroeletrônicos
- EMPA – Laboratórios Federais Suíços de Ciência e Tecnologia de Materiais
- EOL – *End of life* (Fim de Vida)
- EPA - *United States Environmental Agency Protection* (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América)
- ITU - *International Telecommunication Union* (União Internacional de Telecomunicações)
- LCA – *Life Cycle Assessment* (Análise do Ciclo de Vida)
- LCD – *Liquid Crystal Display* (Mostrador de Cristal Líquido)
- NBR - Norma Brasileira
- ONGs – Organizações Não Governamentais
- PCI - Placa de Circuito Impresso
- PP - Polipropileno
- REEE – Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos
- RoHS - *Restriction of Certain Hazardous Substances* (Restrição de Certas Substâncias Perigosas)
- UNEP - *United Nations Environment Programme* (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente)
- UNU – Universidade das Nações Unidas
- WEEE - *Waste Electrical and Electronic Equipment* (Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Resíduos Eletroeletrônicos	14
1.2	Reciclagem de Equipamentos Eletroeletrônicos.....	15
1.3	Justificativas e limitações	16
1.4	Problema da pesquisa	17
1.5	Objetivo Geral.....	18
1.6	Objetivos Específicos	18
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	Equipamentos Eletroeletrônicos (EEE).....	19
2.1.1	Classificação e categorização dos Equipamentos Eletroeletrônicos.....	21
2.1.2	Composição dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE).24	24
2.1.3	Aspectos perigosos dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos	27
2.1.4	Legislação.....	31
2.2	Reciclagem	33
2.2.1	Reciclagem no mundo e no Brasil	34
2.2.2	Requisitos e considerações para a remanufatura de REEE	36
2.3	Técnicas de reciclagem.....	37
2.3.1	Tratamento mecânico	38
2.3.1.1	Cominuição.....	38
2.3.1.2	Classificação granulométrica.....	38
2.3.1.3	Separação	38
2.3.2	Tratamento pirometalúrgico	39
2.3.3	Tratamento hidrometalúrgico	40
2.3.4	Tratamento biohidrometalúrgico	41
2.3.5	Tratamento eletrometalúrgico	41
2.4	Balanço de massa	42
2.4.1	Fluxo de massa	43
2.4.2	Parâmetros para cálculo do fluxo de massa	44
2.5	Logística Reversa	45
3	MÉTODOS E PROCEDIMENTOS.....	49
3.1	Métodos	50
3.1.1	Nomenclatura e classificação	51

3.1.1.1	Grupos de resíduos	51
3.1.1.2	Grupos de produtos do processamento.....	53
3.1.1.3	Origem dos resíduos coletados/ recebidos.....	54
3.2	Ferramenta de pesquisa	55
3.2.1	Informações sobre a empresa e o respondente	55
3.2.2	Fontes geradoras de resíduos eletroeletrônicos e tipos produzidos	56
3.2.3	Capacidade de processamento instalada e utilizada	56
3.2.4	Volumes processados, produtos e destinação.....	56
3.2.5	Aspectos gerenciais, econômicos e do fluxo da produção.....	57
3.2.5.1	Fatores gerenciais.....	57
3.2.5.2	Cadeia produtiva	57
3.2.5.3	Fatores econômicos e financeiros	58
3.3	Procedimentos.....	59
3.3.1	Fluxo dos resíduos nas categorias de empresas pesquisadas	62
3.3.2	Processadores de REEE mapeados	63
3.3.3	Localização das empresas	64
3.4	Cálculo do fluxo de massa.....	65
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
4.1	Análise do Cenário.....	66
4.1.1	Perfil de atividade das empresas que lidam com REEE	66
4.1.2	Perfil das empresas respondentes	67
4.2	Fontes e tipos de resíduos	68
4.2.1	Parcela de resíduos gerados por segmento econômico	68
4.2.2	Parcela de resíduos gerados por tipo de equipamento	70
4.3	Volume de resíduos coletados/ recebidos.....	72
4.4	Frações produzidas dos equipamentos processados.....	75
4.5	Capacidade instalada e utilizada (capacidade de processar resíduos).....	78
4.5.1	Capacidade instalada para processar resíduos	78
4.5.2	Capacidade utilizada para processar resíduos	80
4.6	Parcela reciclável e de rejeitos	80
4.6.1	Tipos de resíduos – percentuais processados	81
4.6.2	Rejeitos pós-processamento dos resíduos	83
4.7	Processo produtivo das empresas.....	84

4.7.1	Coleta – custos de aquisição.....	84
4.7.2	Valor médio cobrado por tipo de resíduo recebido	86
4.7.3	Custo de processamento por tipo de resíduo	87
4.7.4	Valor/preço de comercialização por produto/material.....	89
4.7.5	Tipos de resíduos – representatividade no faturamento.....	90
4.7.6	Produto/frações – participação no faturamento	90
4.8	Destinação dos produtos e rejeitos.....	92
4.8.1	Destino das frações/produtos resultantes do processamento.....	92
4.8.2	Destino dos rejeitos do processamento	94
4.8.3	Destinação – remanufatura e revenda	95
4.9	Análise do fluxo dos resíduos.....	97
4.9.1	Processos, sistemas e variáveis do fluxo.....	97
4.9.2	Quantificação dos resultados	98
4.9.3	Análise dos resultados do fluxo de massa.....	102
4.9.4	Consolidação do fluxo de massa da cadeia	104
5	CONCLUSÕES	106
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	111
	REFERÊNCIAS.....	112
	APÊNDICE I	115

1 INTRODUÇÃO

A preservação dos recursos naturais e as questões ambientais são temas recorrentes e de debate em todos os segmentos e níveis da sociedade. É possível identificar tais discussões em conversas entre vizinhos, quando avaliam a qualidade do serviço de coleta seletiva do lixo do bairro. No ambiente corporativo, no desenvolvimento de projetos que contemplam um melhor aproveitamento dos recursos naturais e no fluxo produtivo. Nas instituições governamentais, tratando das políticas públicas para melhoria da qualidade de vida. Culminando com as ações e movimentos de ONGs, fundações e instituições internacionais na busca de soluções globais para garantia de um desenvolvimento sustentável do planeta.

Um tema que nos últimos anos passou a integrar estas discussões foi o significativo aumento na geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos.

O desenvolvimento tecnológico das últimas décadas possibilitou a grande parcela da população mundial, o acesso a equipamentos dos mais diversos usos e, novas tecnologias surgem a cada dia, reduzindo, significativamente, o ciclo de vida dos bens eletroeletrônicos disponibilizados para o consumo da população.

A redução do ciclo de vida dos equipamentos eletrônicos está vinculada a vários aspectos: modismos, novas funcionalidades, status, evolução tecnológica e a tendência do encurtamento da durabilidade dos produtos, designada pelos fabricantes como obsolescência programada ou planejada (RODRIGUES, 2012).

Ao atingir o fim da vida útil os EEE (equipamentos eletroeletrônicos) são descartados pela sociedade. O motivo para o descarte pode ser: defeito, desgaste ou porque o equipamento se tornou obsoleto estética ou tecnicamente.

O desenvolvimento tecnológico, a redução dos preços dos produtos eletroeletrônicos e os projetos com durabilidade definida, determinaram a redução da vida útil de operação dos equipamentos. A consequência tem sido o constante aumento nos volumes gerados de resíduos eletroeletrônicos, tornando-se um problema para a sociedade e governos, que buscam, através de leis e acordos, lidar com o fluxo destes materiais (UMICORE, 2014).

1.1 Resíduos Eletroeletrônicos

A sucata eletrônica, ou seja, os materiais e equipamentos obsoletos ou desnecessários descartados pela sociedade são caracterizados como resíduos, mais especificamente como Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) ou a sigla na língua inglesa WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*). A definição para REEE mais citada na literatura é dada pela Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu (2012) como sendo todos os componentes, subconjuntos e materiais consumíveis que fazem parte do produto no momento em que este é descartado (RODRIGUES, 2012).

A geração de resíduos eletroeletrônicos, em escala mundial em 2012 foi aproximadamente de 48,9 milhões de toneladas, conforme Husman *et al.* (2014). No Brasil, a mesma fonte, estima que tenham sido gerados 1,4 milhão de toneladas de REEE.

O impacto ambiental ocasionado pelo manuseio e descarte inadequado deste material tem mobilizado segmentos de vários países na busca de uma solução para o correto trato e destino destes equipamentos. A disposição dos materiais na natureza, sem o devido cuidado, causam sérios danos à saúde da população e ao meio ambiente, pois os EEE possuem em sua composição metais perigosos como o cádmio, chumbo e o mercúrio, entre outros. Estes elementos são potencialmente tóxicos ocasionando riscos para as pessoas que manuseiam os resíduos (ABDI, 2013, p. 18) e ao meio ambiente, pois ao serem incorretamente descartados podem contaminar o solo e o lençol freático da região (ROCHA, GOMES, *et al.*, 2009).

Por outro lado o descarte de EEE também resulta reflexos na economia uma vez que na fabricação destes equipamentos são utilizados metais ou ligas metálicas como ouro, prata, bronze, cobre e alumínio, gerando uma cadeia produtiva para reciclagem e recuperação destes materiais (SANTOS, 2012).

O aumento no volume de REEE gerado, em combinação com sua complexa composição, estabeleceu um conjunto de demandas para a sociedade. Nas questões ambientais a necessidade de legislação específica para o trato e disposição dos rejeitos resultantes. Nos aspectos sociais a necessidade de ações públicas que orientem o correto descarte e no âmbito econômico o surgimento de uma cadeia de negócios para coleta, desmontagem e reciclagem dos componentes, nem sempre formalmente constituídas ou operando conforme a legislação.

1.2 Reciclagem de Equipamentos Eletroeletrônicos

A reciclagem de equipamentos eletroeletrônicos é a extração dos materiais constituintes dos equipamentos, transformando-os em matérias-primas secundárias, que serão reintegradas ao processo produtivo (SANTOS, 2012, p. 31).

Em uma perspectiva operacional a cadeia de reciclagem dos REEE é formada por três etapas subsequentes (UNEP, jul 2009, p. 15): (i) a coleta; (ii) a classificação, desmontagem, tratamento mecânico e; (iii) tratamentos de refino e disposição. Cada fase contempla estrutura física e mão de obra específica. A eficiência da cadeia de reciclagem depende da qualidade da operação de cada uma das etapas e, principalmente, da interface entre elas.

A etapa da coleta é de fundamental importância no fluxo, pois as ações e políticas existentes determinam a quantidade de material disponibilizado para reciclagem. Quando os programas sociais e de orientação à sociedade para destinação e coleta dos EEE não são perfeitamente estabelecidos podem ocorrer oscilações nos volumes de materiais coletados, o que em certas proporções pode ocasionar problemas no fluxo de reciclagem.

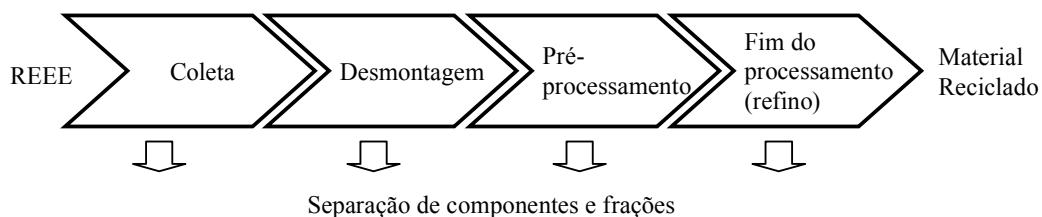
A desmontagem e pré-processamento é a fase de separação e classificação dos resíduos adequando-os às etapas de tratamento seguintes. Os componentes perigosos à saúde devem ser removidos e armazenados ou tratados de maneira segura. Como exemplo os equipamentos de refrigeração devem ter o gás de seus circuitos refrigerantes removidos adequadamente, evitando que sejam dispersos no ar. No caso dos monitores LCD deve ocorrer especial cuidado na remoção de partes que contenham mercúrio em sua composição. Nesta etapa também são removidos os componentes ou materiais de significativo valor econômico, preparando-os para o reuso ou para os processos seguintes, específicos de tratamento destes materiais. As baterias dos equipamentos são removidas e encaminhadas para empresas especializadas na recuperação de elementos como o níquel, cobalto e cobre. A segmentação de placas de circuito impresso (PCI), presentes em todos os tipos de equipamentos eletroeletrônicos (EEE), se reveste de especial interesse nesta etapa, pois nelas é encontrada a maioria dos metais preciosos. As PCI são removidas manualmente, por processamento mecânico ou uma combinação de ambos.

A etapa de refino é a parte final da recuperação dos materiais. Após o pré-tratamento as frações resultantes podem ter três destinos. Materiais ferrosos são enviados para

siderúrgicas para produção de aço; o alumínio para usinas de processamento e as frações de chumbo, cobre e PCI são destinados para recicladores especializados que recuperam os metais preciosos, o cobre, os metais não ferrosos, dando o tratamento adequado às substâncias perigosas existentes nas frações ou resultantes do processo de refino.

A cadeia de reciclagem com as etapas de coleta, desmontagem, pré-processamento e refino é descrita pela UNEP (jul 2009, p. 13) e representada de forma adaptada na Figura 1.

Figura 1 - Cadeia da Reciclagem



Fonte: (UNEP,2009)

1.3 Justificativas e limitações

A bibliografia sobre REEE é rica em estudos sobre os impactos ambientais e sociais que surgiram a partir do desenvolvimento tecnológico e do consequente descarte de equipamentos eletroeletrônicos obsoletos ou em fim de vida útil na natureza.

O tema escolhido para esta pesquisa busca abordar um viés pouco explorado nos estudos sobre REEE: **os fatores econômicos das empresas que coletam e processam resíduos eletroeletrônicos.**

Com a pesquisa pretende-se fornecer uma visão do fluxo de processamento dos REEE, ou seja, a etapa da cadeia de reciclagem onde operam os “processadores de resíduos”, empresas que coletam, armazenam, desmontam e descaracterizam EEE. Estas empresas encontram-se no primeiro estágio do ciclo, e estabelecem vínculo direto com a sociedade que gera e descarta os EEE. Estes processadores, em sua maioria, não realizam os procedimentos mais complexos da reciclagem, como: tratamentos pirometalúrgicos, hidrometalúrgicos, eletrometalúrgicos, ou mesmo mecânicos – separação de materiais pelas propriedades magnéticas, elétricas, densidade, entre outras (KASPER, 2011, p. 14). A operação é

essencialmente manual, composta de pequeno grupo de pessoas e não possuem grandes espaços ou maquinários (PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS, 2013).

O estudo possibilitará conhecer os aspectos operacionais e comerciais do negócio, as interações existentes entre as empresas do setor e o processo de transformação dos equipamentos descartados em produtos de valor agregado.

Possibilitará, também, informações para o controle da qualidade do processo, do transporte, da reciclagem e do produto resultante. Permitirá, ainda, condição para a formulação de novos estudos sobre os métodos ou tecnologias mais adequadas ao desenvolvimento do processamento e da logística dos resíduos eletroeletrônicos no segmento.

A abrangência geográfica da pesquisa foi definida em função da localização das sedes gerenciais das empresas que processam REEE, já que a pesquisa inicial identificou que muitas organizações possuem filiais em diferentes Estados do Brasil. Outro fator de seleção foi a localização de corporações internacionais que possuem representação no Brasil. As sedes brasileiras atuam como polos centralizadores dos REEE, com posterior envio para empresas especializadas no processamento e reciclagem de diferentes tipos de materiais, localizadas em outros continentes. Assim, buscando obter uma visão completa e abrangente do setor se estabeleceu como limitação geográfica da pesquisa as empresas que processam resíduos no território brasileiro.

No estudo bibliográfico para a formatação do universo da pesquisa identificou-se empresas processadoras de resíduos em seis Estados do território brasileiro. Considerando sua condição de polo industrial e econômico do país existe uma predominância destas empresas no Estado de São Paulo. Foram convidadas a participar da pesquisa 46 empresas, sendo que oito responderam ao questionário. Destas, cinco encontram-se no Estado de São Paulo e três no Estado do Rio Grande do Sul.

1.4 Problema da pesquisa

Diante da proposta apresentada pode-se formular o seguinte questionamento:
Como se desenvolve o fluxo de processamento de REEE no Brasil e quais os elementos quantitativos e qualitativos deste negócio?

1.5 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo fazer um diagnóstico qualitativo e quantitativo do processamento dos REEE em produtos de valor agregado, a partir do recebimento/coleta pelas empresas processadoras até posterior destinação dos produtos ou disposição final dos rejeitos.

1.6 Objetivos Específicos

Apresentar os personagens envolvidos no processamento/tratamento de resíduos eletroeletrônicos no cenário proposto;

Identificar as principais fontes geradoras de REEE e a classificação dos materiais presentes nestes resíduos;

Analizar o fluxo básico dos resíduos, desde as fontes geradoras até a comercialização do material processado/tratado ou a disposição final dos rejeitos;

Verificar a adequação das empresas processadoras de resíduos eletroeletrônicos no controle de sua produtividade e fatores econômicos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo contempla o conjunto de conhecimentos obtidos da literatura atualizada e fornece o suporte teórico para a pesquisa. Inicialmente são apresentados os conceitos sobre os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos com suas variáveis de impacto social, ambiental e econômico. A legislação, as diferentes abordagens e definições sobre resíduos e reciclagem no cenário brasileiro e internacional são descritas em outra seção. O entendimento do conceito de reciclagem de REEE, fluxos e tecnologias são relacionados a seguir, bem como as aplicações para a ferramenta de cálculo do fluxo de massa. O capítulo finaliza com os conceitos e definições da logística reversa no âmbito nacional.

2.1 Equipamentos Eletroeletrônicos (EEE)

Segundo a ABDI (2013) “equipamentos eletroeletrônicos são todos aqueles produtos cujo funcionamento depende do uso de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos”. Estes equipamentos passam a ser caracterizados como REEE quando se tornam tecnologicamente inadequados para o uso, ou quando são esgotadas todas as possibilidades de reparo, atualização ou reuso.

Rodrigues (2012), a partir da Diretriz do Parlamento Europeu (2002) caracteriza REEE (resíduos de equipamentos eletroeletrônicos) como os EEE (equipamentos eletroeletrônicos) descartados por seus usuários, incluindo os componentes, subconjuntos e materiais que fazem parte do produto no momento do descarte¹.

Atualmente são produzidos no mundo, aproximadamente, 50 milhões de toneladas de resíduos eletrônicos que, em sua maioria, são descartados sem a devida preocupação (FONSECA e BUENO, 2013), com consequências à saúde dos seres vivos e ao meio ambiente. Quanto ao Brasil, a mesma fonte registra que em 2010 foram descartados 96,8 mil toneladas de computadores, estando, o país, entre os principais no descarte de celulares, impressoras e TVs, sendo líder entre as nações emergentes na geração per capita deste tipo de resíduo, com meio kg/ano. Os estudos de Rocha (2009) e Araújo (2012) apontam que o descarte estimado de REEE em 2008 foi de 3,4 kg por pessoa, considerando, além dos equipamentos eletrônicos de pequeno porte, equipamentos de som, refrigeradores, freezers e

¹ A Diretiva 2002/96/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de janeiro de 2003 foi revogada e substituída pela Diretiva 2012/19/UE em 04 de julho de 2012.

máquinas de lavar roupa.

Quanto à periculosidade destes resíduos, usa-se a Norma Brasileira NBR 10.004:2004 para a classificação, visto que ela estabelece as classes para os Resíduos Sólidos, entre eles os REEE. A classe I compreende os resíduos considerados perigosos por apresentar riscos à saúde pública e ao meio ambiente. A classe II contempla os resíduos considerados não perigosos. A classe II é dividida em classe IIA, não inertes, ou seja, alteram a potabilidade da água quando solubilizados e, classe IIB, inertes, que não alteram potabilidade da água quando solubilizados (REIS, 2013). Nesta classificação os REEE enquadram-se como resíduos perigosos, tipo classe I, ou seja, oferecem riscos aos seres vivos.

Os EEE também possuem em sua composição metais preciosos e raros, tanto pela dificuldade de serem encontrados na natureza como pela sua extração ou então pelos elevados custos de produção. O interesse econômico de recuperar e reaproveitar estes metais demandou no surgimento de um intrincado fluxo comercial e tecnológico de reciclagem. Este fator, associado aos aspectos perigosos existentes nos REEE, geraram consequências no campo ambiental, econômico e social. Santos (2012), a partir de uma coletânea de vários autores, descreve um conjunto de implicações na gestão dos REEE (Quadro 1).

Quadro 1 - Aspectos ambientais, sociais e econômicos na gestão dos REEE.

Dimensão	Implicações e/ou consequências
Ambiental	Emissões de toxinas em aterros e lixões a céu aberto. Contaminação do solo, do ar e da água. Contaminação de rios e águas subterrâneas com as substâncias tóxicas e metais pesados. Contaminação dos seres humanos. Redução da utilização de matérias primas virgens.
Social	Geração de grande número de empregos informais, principalmente de comunidades carentes. Práticas nocivas à saúde dos trabalhadores e ao meio ambiente. Não apresenta riscos potenciais à saúde humana, se adotadas práticas adequadas de reciclagem. Reutilização de equipamentos prolongando/estendendo a vida útil. Doação de equipamentos de informática para comunidades e associações, gerando inclusão digital.
Econômica	Extração de metais preciosos e demais matérias primas. Reaproveitamento de componentes. Redução dos custos na aquisição de matéria prima reciclada em relação à matéria prima virgem. Geração de empregos, formais e informais, na reciclagem, na reutilização e no mercado de segunda mão. Criação de empresas, formais e informais, na reciclagem e reutilização de equipamentos.

2.1.1 Classificação e categorização dos Equipamentos Eletroeletrônicos

Os equipamentos eletroeletrônicos (EEE) são classificados ou caracterizados conforme seu uso, dimensão e materiais utilizados em sua fabricação. A segmentação dos EEE possibilita identificar a composição, origem e tipo de resíduos gerados no momento que estes EEE chegam ao final de sua vida útil.

O ciclo de vida dos EEE é vinculado ao avanço tecnológico ou interesse comercial existente. Empresas do setor de telecomunicações necessitam incorporar rapidamente novas tecnologias para atender a crescente demanda de serviços do setor. Nestas empresas a rápida obsolescência ou limitação de capacidade dos EEE torna o ciclo de vida menor. Os aparelhos de uso pessoal, como: celulares, *smartphones*, *tablet* e similares também se inserem neste grupo, onde o constante aprimoramento tecnológico, periodicamente incorporado aos aparelhos, torna-os passíveis de descarte em prazos até inferiores há um ano. (ABDI, 2013)

Os equipamentos de uso doméstico, por sua vez, e apesar da evolução tecnológica empregada, apresentam ciclo de vida maior, podendo, nos casos dos aparelhos de refrigeração e fogões ultrapassarem dez anos.

Rodrigues (2012), a partir de estudos de outros pesquisadores, elaborou um quadro com o tempo de vida útil dos EEE. Segundo o autor, as informações foram coletadas diretamente dos usuários dos produtos. Já Rocha *et al.*(2009, p. 69) lista em seu trabalho o tempo de vida útil de um grupo reduzido de equipamentos, coletadas de pesquisas de organismos internacionais. A publicação da UNEP (jul 2009, p. 41) realiza uma estimativa do tempo médio dos EEE com base em pesquisas de vários parceiros da associação, apresentando ressalvas quanto aos aspectos geográficos, das categorias dos equipamentos e das extrações realizadas para o estabelecimento das médias. Já a ABDI (2013, p. 29) detalha as quatro categorias de linhas de produtos com informações sobre a estimativa de vida, porte dos equipamentos e composição.

As informações sobre a vida útil médias dos equipamentos eletroeletrônicos, considerando o foco e temporalidade de cada uma das fontes pesquisadas, são apresentadas de forma consolidada e adaptada no Quadro 2.

Quadro 2 - Vida útil média dos equipamentos eletroeletrônicos (EEE)

Equipamento	Tempo de vida útil médio dos EEE (anos)			
	(Rodrigues, 2012)	(Rocha, <i>et al.</i> , 2009)	(UNEP, jul 2009)	(ABDI, 2013, p.29)
Aparelho de som	8	-	-	5 - 13
Computador	7	7	5 - 8	2 - 5
DVD	7	-	-	5 - 13
Freezer	11	15	10	10 - 15
Geladeira	11	15	10	10 - 15
Impressora	7	-	5	2 - 5
Máquina de lavar roupa	11	-	-	10 - 15
Monitor LCD	9	-	-	5 - 13
Notebook	7	-	5-8	2 - 5
Telefone celular	4	2	4	2 - 5
Televisor	12	13	8	5 - 13
Televisor LCD	7	-	-	5 - 13

Visando categorizar a origem dos resíduos, a Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial - ABDI (2013, p. 17) segmenta os EEE em quatro categorias:

- Linha Branca: refrigeradores e congeladores, fogões, lavadoras de roupa e louça, secadoras, condicionadores de ar;
- Linha Marrom: monitores e televisores de tubo, plasma, LCD e LED, aparelhos de DVD e VHS, equipamentos de áudio, filmadoras;
- Linha Azul: batedeiras, liquidificadores, ferros elétricos, furadeiras, secadores de cabelo, espremedores de frutas, aspiradores de pó, cafeteiras;
- Linha Verde: computadores *desktop* e *laptops*, acessórios de informática, *tablets* e telefones celulares.

As diretrivas implantadas na Comunidade Europeia (2002) dividem os REEE em dez categorias², como apresentado no Quadro 3 (PINHEIRO, MONTEIRO, *et al.*, 2009):

² Categorias de EEE abrangidas pela Diretiva 2012/19/UE durante o período transitório, como previsto no artigo 2º, número 1, alínea a.

Quadro 3 - Categoria dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (Diretiva Européia)

Nº	Categoria	Exemplos
1	Grandes eletrodomésticos	Geladeiras Máquinas de lavar roupa e louça Fogões Micro-ondas
2	Pequenos eletrodomésticos	Faca elétrica Aspiradores de pó Torradeiras Secador de cabelo
3	Equipamentos de informática e telecomunicações	Computador Laptop Impressoras Telefone móvel e fixo
4	Equipamentos de consumo	Aparelhos de som Aparelhos de vídeo Televisores
5	Equipamentos de iluminação	Lâmpadas fluorescentes
6	Ferramentas elétricas e eletrônicas (exceção às ferramentas industriais fixas de grande porte)	Serras Máquinas de costura Máquinas de cortar grama
7	Brinquedos e equipamentos de esporte e lazer	Jogos de vídeo Caça-níqueis Equipamentos esportivos
8	Aparelhos médicos (exceção a todos os equipamentos implantados ou infectados)	Equipamentos de medicina nuclear, radioterapia, cardiologia, diálise.
9	Instrumentos de monitoramento e controle	Detektors de fumaça Sensores Termostatos
10	Distribuidores automáticos	Distribuidores automáticos de dinheiro, bebidas ou de outros produtos sólidos.

Fonte: Diretiva Europeia (2002)

As linhas de produtos e suas características determinam o interesse econômico e o tipo de processamento de reciclagem a ser realizado. Neste aspecto as empresas devem possuir infraestrutura operacional e de logística adequada para o volume gerado por cada tipo de resíduo. Rocha *et al.* (2009) selecionou em portais de comércio eletrônico os 16 modelos mais populares de nove tipos de equipamentos, estabelecendo a massa média de cada um deles. Em seu estudo sobre a Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos, a ABDI (2013, p. 40) apresenta a massa média de um grupo maior de equipamentos. As informações apresentam-se consolidadas no Quadro 4.

Quadro 4 – Massa média dos equipamentos eletroeletrônicos

Produto	Massa média (kg)	
	Rocha <i>et al.</i> (2009)	ABDI(2013, p 40)
Refrigeradores	71,95	57,95
Fogões	-	44,29
Lava roupas	37,51	36,51
Ar condicionado	-	8,00
Televisor/monitor	32,45	37,23
LCD/plasma	-	12,00
DVD/VHS	-	3,37
Produtos de áudio	10,40	10,40
Desktop	29,26	24,28
Notebooks	3,51	2,36
Impressoras	-	6,31
Celulares	0,09	0,12
Batedeira	-	2,90
Liquidificador	-	2,65
Ferro elétrico	-	1,17
Furadeira	-	1,70
Freezer	60,02	-
Telefone fixo	0,47	-

Fonte: (Rocha, et al., 2009) (ABDI,2013)

2.1.2 Composição dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE)

Os REEE possuem em sua composição diversos materiais, alguns comuns, utilizados em grande quantidade para compor a estrutura e fornecer o design ao equipamento, como o aço, polímeros e vidro. E outros, em proporções reduzidas, como os metais nobres, com significativo valor comercial e de difícil obtenção ou extração na natureza. Estes materiais estão presentes nos componentes eletrônicos e encontram-se dispostos como camadas ou subpartes dos elementos eletrônicos. Os equipamentos também possuem substâncias químicas específicas utilizadas para proteção contra corrosão ou retardamento de chamas. Estes diferentes materiais podem representar significativa parcela do volume do equipamento ou apresentar apenas microscópica concentração (ABDI, 2013).

Com relação aos metais nobres existentes nos REEE pode-se citar o ouro, paládio, platina e prata, puros ou em ligas, entre outros (ROCHA, GOMES, *et al.*, 2009), utilizados, principalmente, na fabricação das placas de circuito impresso (PCI), presentes em computadores, *laptops*, telefones celulares entre outros.

A composição dos equipamentos eletrônicos é fator relevante no processo de reciclagem, pois cada categoria de equipamento possui características individuais que determinam o interesse econômico e os procedimentos de recuperação de seus materiais e

componentes quando chegam ao fim da vida útil e são descartados. Por exemplo, encontra-se nos resíduos de celulares uma proporção maior de materiais com alto valor agregado (metais nobres) do que em impressoras, que possuem predominância dos polímeros e do ferro (PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS, 2013).

Embora a composição dos resíduos eletroeletrônicos dependa da categoria dos equipamentos, a ABDI (2013) apresenta uma lista com os principais materiais, divididos em seis grupos:

- Ferro e suas ligas, usado em gabinetes e molduras;
- Metais não ferrosos e suas ligas, principalmente o cobre, usado em cabos e o alumínio;
- Vidros, usados nas telas e mostradores;
- Polímeros, usados em gabinetes, revestimentos de cabos e circuito impresso;
- Dispositivos eletrônicos, dispostos em placas de circuito impresso;
- Outros (borracha, madeira, cerâmica, etc.).

A composição média percentual dos principais tipos de materiais existentes nos REEE é apresentada no Quadro 5. A fração de cada tipo de material está segmentada em duas colunas, uma para os grandes equipamentos eletroeletrônicos (EEE), pertencentes à Linha Marrom, Branca e Azul e a outra coluna com os EEE de informática, tecnologia da informação e comunicação pertencentes à Linha Verde (ROCHA, GOMES, *et al.*, 2009).

Quadro 5 - Participação percentual dos materiais na composição dos REEE

Material	Grandes EEE (Linha Marrom, Branca e Azul) (%)	EEE da área da TIC (Linha Verde) (%)
Ferro	43	36
Alumínio	14	5
Cobre	12	4
Chumbo	1,6	0,29
Cádmio	0,0014	0,018
Mercúrio	0,000038	0,00007
Ouro	0,00000067	0,0024
Prata	0,0000077	0,0012
Paládio	0,0000003	0,00006
Índio	0	0,0005
Polímeros bromados	0,29	18
Outros polímeros	19	12
Vidro com chumbo	0	19
Outros vidros	0,017	0,3
Outros	10	5,7

Fonte: (Rocha, et al., 2009)

Santos apud Townsend (2012) apresenta um quadro detalhado dos materiais que podem ser encontrados em componentes ou partes específicas dos REEE (Quadro 6).

Quadro 6 - Materiais encontrados em componentes e partes específicas dos REEE

Componente	Subcomponente e/ou material primário encontrado
Cobertura de proteção e apoio estrutural	Matérias-primas que incluem aço, polímero e alumínio e caixa polimérica que pode conter retardadores de chama.
Placas de circuito impresso	Caminhos de condução gravados a partir de folhas de cobre e impregnados em uma placa de isolamento composto por fibras de vidro e resinas epóxi. Esta placa é preenchida com dispositivos como capacitores, semicondutores, resistores e baterias, que por sua vez, são conectados usando-se uma liga de solda, condutores contendo metais como o chumbo, o estanho, a prata, o cobre e o bismuto.
Dispositivos de exibição	Monitores CRT são compostos principalmente de vidro, chumbo, uma máscara de sombra, cobre e uma placa de circuito impresso (PCI). Dispositivos de painéis Flat (FPD's) que tipicamente consistem de dois painéis de vidro ou mídias polarizadas, incorporadas com diferentes tecnologias de visualização de imagem. Modelos comuns incluem LCD, painéis de plasma (PDP) e LED. FPD's são compostos por um circuito, e em alguns casos, uma lâmpada de descarga de gás.
Dispositivos de memória	Semicondutores (memórias de acesso randômico), discos magnéticos e gravação, drivers ópticos de gravação.
Motores, compressores, transformadores e capacitores	Distintos componentes mecânicos ou eletrônicos, geralmente compostos de metal e material estrutural primário, mas muitas vezes com outras substâncias como óleo (motores), refrigeradores (compressores) e fluidos dielétricos (transformadores e capacitores).
Dispositivos de iluminação	Lâmpadas incandescentes, lâmpadas de descarga à gás (fluorescentes, de descarga de alta intensidade e vapor de sódio) e LED. As lâmpadas de descarga de gás contêm mercúrio. As lâmpadas podem ser acompanhadas por uma PCI ou capacitor.
Baterias	Os tipos mais comuns incluem a chumbo-ácido selado pequeno, níquel, cádmio, lítio, hidreto de metal e alcalina.
Fios e cabos	Geralmente cobre envolto em polímero.

Além dos materiais de interesse para reciclagem, muitos outros materiais existentes no REEE são perigosos à saúde e/ou poluem o meio ambiente, devendo receber atenção especial durante o manuseio e na forma de disposição final. Entre os vários metais existentes nos REEE que causam malefícios à saúde pode-se citar o mercúrio, o cádmio e o chumbo que podem ocasionar problemas renais, pulmonares e neurológicos (FONSECA e BUENO, 2013). Alguns materiais quando incinerados, especialmente os poliméricos, e liberados na atmosfera causam doenças respiratórios ou destroem a camada de ozônio do planeta. Por ser um assunto de relevante interesse ambiental e social os aspectos perigosos do REEE são tratados em seção específica deste capítulo (seção 2.1.3).

2.1.3 Aspectos perigosos dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

O aumento nos volumes de REEE estabeleceu um complexo fluxo para descarte e tratamento destes materiais. Em países desenvolvidos a gestão encontra-se em estágio mais avançado, tanto no aspecto da conscientização da população como da legislação. O foco nestes países é minimizar os riscos de poluição. O estabelecimento de regulamentação nacional específica e a educação para a correta destinação destes equipamentos são fatores ainda trabalhados nos países em desenvolvimento, onde, predomina a reciclagem informal e os riscos de poluição ambiental são maiores. No caso do Brasil, Rodrigues (2012) cita que a maioria dos REEE ainda não recebe qualquer tratamento e provavelmente são descartados junto com os resíduos comuns, depositados em lixões ou aterros ou permanecem guardados em depósitos de empresas públicas ou privadas ou nas residências, aguardando destinação.

A grande preocupação dos ambientalistas e dos governos dos países em geral não se concentra unicamente no aumento do volume gerado de resíduos, mas também pela toxicidade apresentada por alguns materiais utilizados na fabricação dos equipamentos eletroeletrônicos, e que podem causar danos ao meio ambiente e à saúde da população (KASPER, 2011).

Os REEE's quando dispostos na natureza sem um correto tratamento penetram no solo e contaminam os lençóis subterrâneos de água, que ao ser consumida pode causar doenças devido aos metais tóxicos existentes em suas composições. Mesmo em aterros sanitários, um possível contato dos metais tóxicos com a água incorre em contaminação do chorume (originado de processos biológicos, químicos e físicos da decomposição de resíduos

orgânicos), multiplicando o impacto decorrente de qualquer eventual vazamento (ABDI, 2013).

A própria atividade operacional para tratamento dos resíduos demanda procedimentos de segurança, já que muitos métodos de separação dos diversos tipos de materiais exigem a utilização de EPI para o manuseio e controle dos processos de incineração, que quando não corretamente controlados ocasionam a emissão de fumaça tóxica prejudicial à saúde, causando doenças pulmonares (FONSECA e BUENO, 2013). O principal motivo para as doenças pulmonares ocorre com a incineração de compostos retardadores de chama, os BFR's (*Brominated Flame Retardants*), mesmo que accidentalmente, estes liberam uma grande quantidade de toxinas altamente perigosas. Durante as chuvas, essas toxinas chegam até os rios e a agricultura e podem ser ingeridas pelas pessoas que vivem na região (PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS, 2013).

Pinheiro (2009) apresenta um quadro com origem no trabalho de Horner e Gertsakis de 2006 listando as principais substâncias perigosas aos seres vivos, encontradas nos REEE, os componentes ou estruturas onde são encontrados e quais os prejuízos ambientais e físicos causados. Um quadro semelhante é apresentado no estudo da ABDI (2013, p. 18), enquanto Tenório (2011) descreve em seu trabalho em quais elementos são encontradas as substâncias perigosas. O Quadro 7, consolida as informações dos autores citados, relacionando os elementos perigosos, onde são utilizados e os danos que podem causar aos seres vivos.

Quadro 7 - Elementos perigosos existentes nos REEE, utilização e danos causados

Elemento	Utilização (Pinheiro, et al., 2009) (Tenório, 2011)	Danos aos seres vivos (ABDI, 2013 p. 18)	Danos aos seres vivos (Pinheiro, et al., 2009)
Chumbo	Soldagem de placa de circuito impresso; Vidro dos tubos de raios catódicos; Solda e vidro das lâmpadas elétricas e fluorescentes; Baterias.	Danos no sistema nervoso central e periférico dos seres humanos. Foram observados efeitos no sistema endócrino. O chumbo pode ter efeito negativo no sistema circulatório e nos rins.	O chumbo é o mais tóxico dos elementos. Acumula-se nos ossos, cabelo, unhas, cérebro, figado e rins; em baixas concentrações causa dores de cabeça e anemia. Exerce ação tóxica na biossíntese do sangue, no sistema nervoso, no sistema renal e no figado; constitui-se veneno cumulativo de intoxicações crônicas que provocam alterações gastrintestinais, neuromusculares e hematológicas, podendo levar à morte.
Mercúrio	Termostatos, relés, sensores e	O mercúrio inorgânico disperso na água é transformado em	Atravessa facilmente as membranas celulares, sendo prontamente

Elemento	Utilização (Pinheiro, et al., 2009) (Tenório, 2011)	Danos aos seres vivos (ABDI, 2013 p. 18)	Danos aos seres vivos (Pinheiro, et al., 2009)
	interruptores; Equipamentos médicos; Transmissão de dados e telecomunicações; Telefones celulares; Baterias; Lâmpadas.	metilmercúrio nos sedimentos depositados no fundo. O metilmercúrio acumula-se facilmente nos organismos vivos e concentra-se, através da cadeia alimentar, nos seres humanos. O metilmercúrio provoca efeitos crônicos e causa danos no cérebro.	absorvido pelos pulmões. Possui propriedades de precipitação de proteínas (modifica as configurações das proteínas), sendo suficientemente grave para causar um colapso circulatório no paciente, levando à morte. É altamente tóxico ao homem, sendo que doses de 3g a 30g são fatais, apresentando efeito cumulativo e provocando lesões cerebrais, além de efeitos de envenenamento no sistema nervoso central e teratogênicos.
Cádmio	Placas de circuito impresso; Resistência de chip SMD; Semicondutores e detectores de infravermelho; Tubos de raios catódicos抗igos; baterias.	Efeitos irreversíveis à saúde humana. Acumula-se no corpo humano, especialmente nos rins, podendo vir a deteriorá-los com o tempo. O cádmio é absorvido por meio da respiração, mas também pode ser ingerido nos alimentos. Em caso de exposição prolongada, o cloreto de cádmio pode causar câncer e apresenta risco de efeitos cumulativos no ambiente devido a sua toxicidade aguda e crônica.	Acumula-se nos rins, fígado, pulmões, pâncreas, testículos e coração, possui meia-vida de 30 anos nos rins; em intoxicação crônica pode gerar descalcificação óssea, lesão renal, enfisema pulmonar, além de efeitos teratogênicos (deformação fetal) e carcinogênicos (câncer).
PBB (Bifenilas polibromadas) e PBDE (éter difenil polibromo do)	Produtos incorporados aos componentes eletrônicos como forma de assegurar proteção contra inflamabilidade. Presente em conectores, cabos, fios, componentes e eletrodomésticos; Capacitores. CFC e HCFC presente em plásticos e gás em circuitos de refrigeração	São desreguladores endócrinos. Quando liberados no meio ambiente não se dissipam imediatamente e, por isso, podem persistir e acumular-se biologicamente na cadeia alimentar. Os potenciais efeitos desses materiais variam principalmente com as espécies e as quantidades absorvidas na corrente sanguínea, a duração da exposição e a rota da exposição.	(sem informação)
Prata	Condutores e conexões entre componentes das PCI.	Dez gramas de Nitrato de Prata são letais ao homem.	(sem informação)
Níquel	Utilizado na confecção de encaixes para os componentes das PCI; Estrutura dos componentes eletrônicos; Produto incorporado nas baterias.	Carcinogênico (atua diretamente na mutação genética).	(sem informação)
Cromo	Utilizado como elemento decorativo ou como proteção contra corrosão.	Armazena-se nos pulmões, pele, músculos e tecido adiposo, pode provocar anemia, alterações hepáticas e renais, além de	(sem informação)

Elemento	Utilização (Pinheiro, et al., 2009) (Tenório, 2011)	Danos aos seres vivos (ABDI, 2013 p. 18)	Danos aos seres vivos (Pinheiro, et al., 2009)
Cobre	Fios e condutores normalmente envoltos em polímeros.	câncer do pulmão. Intoxicações com lesões no fígado.	(sem informação)
Alumínio	Produto utilizado para compor a estrutura dos equipamentos eletrônicos e conexões entre componentes.	Alguns autores sugerem existir relação da contaminação crônica do alumínio como um dos fatores ambientais da ocorrência de mal de Alzheimer.	(sem informação)
Bário	Tubos de raios catódicos; válvulas eletrônicas.	Provocam efeitos no coração, constrição dos vasos sanguíneos, elevação da pressão arterial e efeitos no sistema nervoso central.	(sem informação)

O tratamento para remover e separar os materiais e componentes perigosos dos REEE tem como principal objetivo prevenir a poluição ambiental. Estes materiais e compostos perigosos requerem tratamento específico. Exemplos de materiais e equipamentos que possuem compostos perigosos são: o mercúrio existente nas telas de LCD e lâmpadas compactas; capacitores que contém bifenilas policloradas (PCB); geladeiras e freezers antigos com sistema refrigerante com gás HCFC (hidroclorofluorcarbono) e CFC (clorofluorcarbono) e o chumbo e cádmio, utilizados na fabricação de componentes eletrônicos. Revestimentos poliméricos de fios, cabos e componentes também recebem compostos retardadores de chamas PBDE (éter difenil polibromado) e PBB (bifenilas polibromadas) com potencial de produzir dioxinas e furanos. Conforme a Diretiva Europeia 2011/65/EU (Restrição de Uso de Certas Substâncias Perigosas - *RoHS Directive*) após junho de 2006 passou a ser proibida a fabricação de equipamentos com retardadores de chamas.

Desta forma, as empresas que trabalham com resíduos devem possuir padrões para identificar e monitorar os processos de remoção ou tratamento dos materiais e compostos perigosos garantindo o manuseio e destinação ambientalmente corretos.

O processo para remoção de compostos e materiais considerados perigosos dos resíduos pode ocorrer: no primeiro passo do tratamento, removendo manualmente as partes, antes de qualquer processamento mecânico, químico ou metalúrgico, ou durante as demais fases da reciclagem observando procedimentos que possibilitem os melhores resultados na remoção dos elementos considerados perigosos. Os responsáveis pela reciclagem devem ter

um efetivo controle sobre suas operações, com documentação dos compostos e materiais encontrados em cada tipo de resíduo e quais os procedimentos a ser adotados. Deve, também, exercer constante controle sobre os montantes de materiais considerados perigosos removidos, verificando sua proporcionalidade com o total do material processado, garantindo que o material contaminado sofra destinação ou disposição final adequada (UNU, 2012, p. 36, 37).

2.1.4 Legislação

Um conjunto de leis e normas regulamenta a gestão dos REEE no mundo. Entre os vários documentos, que periodicamente são revisados e atualizados, alguns servem de referência e base para a elaboração das demais orientações do setor.

Um deles é a Convenção da Basileia, que entrou em vigor em maio de 1992 e trata do controle do trânsito de resíduos perigosos e seu depósito. O documento estabelece que os resíduos perigosos, onde se incluem os REEE, sejam tratados ou eliminados nos países de origem onde foram gerados e que a exportação deste material ocorra, apenas, em condições especiais e controladas (KASPER, 2011). Apesar disso, ainda identifica-se um grande volume de REEE sendo exportado de nações desenvolvidas para países dos continentes asiático e africano, entre outros. Nesses locais o resíduo eletrônico é processado de maneira inadequada, por pessoas sem preparo para lidar com este tipo de material, e em condições de higiene e segurança precárias. Os rejeitos, em sua maioria, são lançados diretamente na natureza (ABDI, 2013).

Os países da Europa, visando reduzir o impacto ambiental gerado pelo aumento do descarte dos REEE, estabeleceram a Diretiva WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*), também conhecida como Diretiva 2003/108/CE (2012) e a Diretiva RoHS ou Diretiva 2002/95/CE.

A Diretiva WEEE atribui ao fabricante do equipamento eletroeletrônico a responsabilidade de prevenir a geração de resíduos, promover o reuso, a coleta e reciclagem dos EEE descartados. O princípio da Diretiva é incentivar o produtor a conceber produtos com elevado índice de reciclagem. As categorias e a taxa de reutilização e reciclagem definidas pela Diretiva são apresentadas no Quadro 8, adaptado de Rodrigues (2012, p. 83).

Quadro 8- Categoria dos REEE e taxa de reutilização e reciclagem

Categoria da Diretiva REEE	Taxa de reutilização e reciclagem
Grandes eletrodomésticos Distribuidores automáticos	75%
Equipamentos de informática e telecomunicações	65%
Pequenos eletrodomésticos Ferramentas elétricas e eletrônicas Brinquedos e equipos de lazer Instrumentos de monitoramento	50%

Fonte: Rodrigues (2012)

A Diretiva RoHS (*Restriction of Hazardous Substances Directive*) entrou em vigor em julho de 2006, e estabeleceu restrições no uso de substâncias e produtos perigosos na produção de EEE. Estas substâncias são o cádmio, mercúrio, chumbo, cromo hexavalente, bifenilos polibromados e éteres difenil polibromados (KASPER, 2011). É uma diretiva complementar à Diretiva dos REEE, pois também promove a redução da periculosidade dos resíduos no pós-consumo (RODRIGUES, 2012, p. 84).

No Brasil foi sancionado em agosto de 2010 a Lei 12.305/10 que criou a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS. A lei criou regulamentos para o recolhimento de resíduos eletrônicos, impondo a chamada “responsabilidade compartilhada”, que atinge desde o fabricante de eletroeletrônico até o consumidor final. A legislação tem o intuito de amenizar os danos causados ao meio ambiente com o descarte indevido de eletrônicos (FONSECA e BUENO, 2013), obrigando os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos eletroeletrônicos a estruturar e programar fluxos para retorno de seus produtos ao atingirem o fim de vida útil. Legislações específicas em Estados e municípios já existiam antes da implantação desta Lei, como exemplo, o decreto 38.356/98 que dispõe sobre a gestão de resíduos sólidos no Estado do Rio Grande do Sul e da Lei 13.576/09 do Estado de São Paulo que institui normas e procedimentos para reciclagem, gerenciamento e destinação final dos REEE, responsabilizando as empresas que fabricam, importam ou comercializam EEE pela destinação final (KASPER, 2011).

A responsabilidade compartilhada citada no PNRS estabelece um conjunto de diretrizes, metas e ações para todos os envolvidos no gerenciamento e na gestão dos resíduos sólidos. A Lei utiliza o termo “logística reversa” para citar os mecanismos para que produtos eletroeletrônicos e seus componentes retornem aos fabricantes, importadores, distribuidores e vendedores para uma destinação ambientalmente correta. Esta destinação pode ser entendida

como a reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e o aproveitamento energético (NATUME e SANT'ANNA, 2011).

2.2 Reciclagem

As premissas a serem adotadas pela sociedade para minimizar o impacto ambiental causado pelo aumento de resíduos dos equipamentos eletroeletrônicos podem ser descritas e adotadas observando a seguinte sequência (UNU, 2012, p. 34):

- Prevenir para não gerar resíduos, tanto no processo produtivo como no produto;
- Adequar o produto para que possa ser reutilizado e reaproveitado;
- Reciclar;
- Incinerar, aplicando as melhores técnicas para controle da emissão de gases nocivos e com aproveitamento da energia gerada pela queima;
- Incinerar, aplicando as melhores técnicas para controle da emissão de gases nocivos sem aproveitamento da energia gerada pela queima;
- Disposição em aterros.

Estas ações correspondem ao fluxo para garantir que os EEE's sejam produzidos com a melhor aplicação dos recursos naturais, com o melhor desempenho e tecnologia, e que quando atingirem o fim de sua vida útil possa ser reprocessado e retornem à sociedade como novos insumos para a produção, sem que estes processos agridan o meio ambiente. A gestão desta cadeia, que envolve os EEE e, posteriormente, os REEE é denominada, genericamente, de reciclagem.

O fluxo da reciclagem pode ser analisado nas dimensões de sua influência sobre a sociedade nos aspectos ambiental, social e econômico: (i) na dimensão ambiental com os benefícios da recuperação ou reuso do material minimizando a possibilidade de descarte deste material na natureza e da redução no uso dos recursos naturais do planeta; (ii) o estabelecimento de um fluxo operacional para o reaproveitamento dos EEE no fim de vida útil determinou um conjunto de fatores sociais significativos, como o aumento no número de empregos, melhorias e desenvolvimento das áreas próximas e da infraestrutura de saneamento, saúde e segurança; (iii) e no aspecto econômico com as novas oportunidades de negócios para sociedade, a necessidade de gestão para o controle da cadeia de produção e para a eficiência do produto com melhor tecnologia e design (SANTOS, 2012, p. 35).

2.2.1 Reciclagem no mundo e no Brasil

As práticas de reciclagem no mundo podem ser analisadas em dois ambientes. O primeiro, o da cadeia de reciclagem existente nos países desenvolvidos, onde encontramos um setor organizado e formal, com um completo sistema de gerenciamento dos REEE e, em um segundo ambiente, dos países em desenvolvimento, onde o fluxo acontece em um mercado desorganizado e com pouca observância dos procedimentos de gestão. Nestes países, normalmente, a coleta dos REEE é realizada na informalidade e o processamento dos resíduos segue a cadeia sem um adequado sistema de gestão.

Segundo a UNEP – *E-waste* vol.II (2007, p. 18) nos países em desenvolvimento o fluxo de reciclagem opera em três níveis. Operação primária - os insumos tem origem de organizações formais: fabricantes, comércio, indústria e de consumidores domésticos. Os EEE são adquiridos por desmanches ou negociantes de resíduos eletrônicos em grandes quantidades e seguem as demais etapas de processamento observando a legislação e determinações do setor. A limitação de capacidade de processamento e o foco comercial destas empresas dá origem à operação secundária – com procedimentos comerciais semiformais, ou seja, alguns formalmente regulamentados e controlados e outros informais. A maioria destas empresas opera como processadoras de resíduos, realizando, por exemplo, a segregação ou desmontagem de tubos de imagem tipo CRT, PCI, removendo polímeros e vidro dos REEE. Estas empresas possuem limitada capacidade de investimento e atuam como fornecedores de insumos para as empresas primárias. As operações terciárias estabelecem a relação comercial entre as empresas deste grupo e as de operação secundária. As empresas, deste grupo, se limitam a extrair dos EEE os metais, polímeros e componentes eletrônicos, normalmente em processos manuais, perigosos, sem observância de requisitos de proteção à segurança e do meio ambiente. Estas empresas não realizam o controle de emissões ou rejeitos, descartando diretamente em lixões irregulares as frações que não possuem interesse.

No Brasil, identifica-se significativo desenvolvimento dos sistemas de gestão dos resíduos eletroeletrônicos nos últimos anos, a partir da aprovação e implantação de legislação específica e ações, principalmente, dos governos municipais.

Tais medidas, entretanto, ainda não tiraram o Brasil da condição de país com deficiente sistema de gerenciamento de seu resíduo eletrônico. Existe instabilidade no fornecimento de insumos para reciclagem prejudicando o fluxo produtivo, ocorre

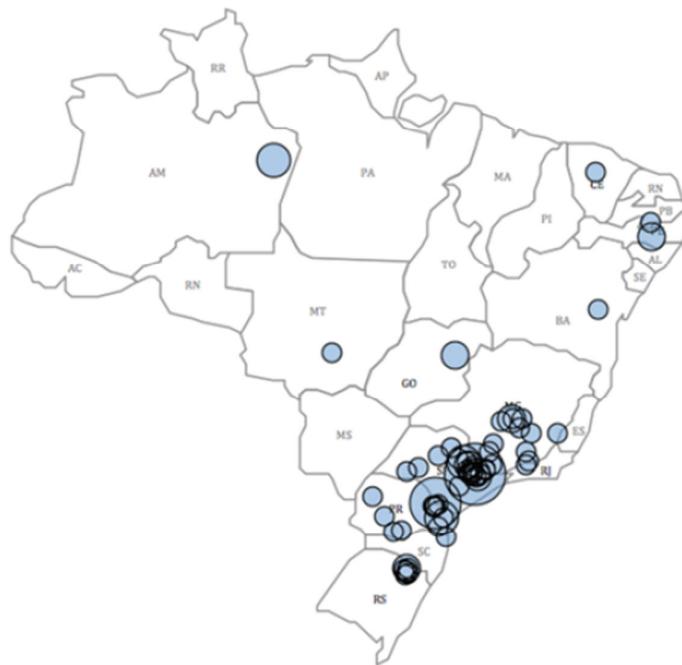
informalidade na coleta e logística, baixa eficiência nos sistemas de processamento dos REEE quando comparado com outros países e falta de incentivos (ABDI, 2013, p. 37). O país também não conta com adequada tecnologia para processamentos mais complexos, sendo significativa a parcela de resíduos exportados. Algumas empresas do setor limitam-se a separar e moer o material para posterior tratamento em sua matriz em outros continentes.

Algumas associações, como a CEMPRE e ABRELPE, congregam as empresas e organizações que trabalham com reciclagem no Brasil e possuem como finalidade promover a gestão dos resíduos sólidos, entre eles os REEE, difundirem conceitos sobre educação ambiental por meio de palestras, seminários e publicações e promover o adequado desenvolvimento das empresas do setor (CEMPRE, 2014) (ABRELPE, 2014).

A Figura 2 apresenta os pontos de concentração de empresas que processam os REEE. Identifica-se a concentração destas empresas nas regiões sul e sudeste do Brasil, em especial no Estado de São Paulo.

Figura 2 - Mapa de concentração dos recicladores

Fonte: ABDI. Logística Reversa de EE.
Análise de viabilidade técnica e econômica, p.172.



2.2.2 Requisitos e considerações para a remanufatura de REEE

A etapa de recuperação ou preparação de equipamentos para reuso é de fundamental importância para o meio ambiente, pois reduz o consumo de energia e de matéria-prima necessária para a fabricação de um novo produto reduzindo a quantidade de resíduos gerados, trazendo benefícios ambientais e sociais.

O problema da reutilização está, muitas vezes, na baixa eficiência energética dos equipamentos antigos, com consequências ambientais, como: maior utilização das reservas naturais, devido ao maior consumo de energia; emissão de gases do efeito estufa (nocivos) no caso de aparelhos de ar condicionado e geladeira; possibilidade de contaminação do ambiente por metais tóxicos utilizados na remanufatura/produção de equipamentos com tecnologias obsoletas; e o reduzido ciclo de vida do produto reutilizado, transformando-se rapidamente em material descartável. Tais consequências devem ser avaliadas pelos legisladores e sociedade, estabelecendo-se padrões mínimos de desempenho para o adequado reuso de um equipamento, permitindo comparar seu desempenho a equipamento similar novo, que apresenta melhor eficiência energética, tecnologia limpa e consequente redução na geração de resíduos e de prejuízos para o meio ambiente (UNU, 2012, p. 35).

Outro aspecto a considerar se é que existe, para cada situação e local, um mercado para equipamentos usados. Em mercados onde a demanda é pequena, os custos para produção, adequação e venda pode tornar a operacionalização desinteressante. Mercados que possuem demandas para equipamentos de “segunda mão”, normalmente países em desenvolvimento, enfrentam a concorrência dos equipamentos novos, tecnologicamente superiores e com preços similares, pois aos equipamentos preparados para o reuso são agregados os custos de adaptação, revisão e transporte, o que pode tornar o produto pouco atrativo para o consumidor.

A segurança dos dados também é fator a ser considerado quando da preparação de equipamentos para reutilização. O uso indevido das informações armazenadas nas memórias ou discos de equipamentos eletrônicos, quando não tratadas corretamente (apagadas ou destruídas), pode ser utilizado de forma indevida pelo novo usuário. As empresas processadoras de resíduos devem realizar a descaracterização dos dados existentes, prevenindo o mau uso, garantindo o sigilo das informações. Também se deve eliminar qualquer identificação externa, como adesivos, logotipos e placas do ativo fixo (RECICLADORA URBANA, 2014).

As variáveis citadas devem ser objeto de normalização que especifique os requisitos técnicos aplicáveis a cada tecnologia envolvida na proposta de reutilização dos equipamentos eletroeletrônicos (UNU, 2012).

Os aspectos e limitações apresentados demonstram que a proposta de reuso não é de simples aplicação para todos os tipos e tecnologias de equipamentos eletroeletrônicos, sendo necessário estabelecer condições, devidamente padronizadas, para o reuso dos equipamentos e possíveis restrições técnicas, comerciais e ambientais.

2.3 Técnicas de reciclagem

A extração dos componentes ou materiais dos EEE exige procedimentos diferenciados, dependendo da categoria do equipamento e das frações de interesse econômico. Deste modo, as técnicas utilizadas na reciclagem possuem complexidade, custo e impacto ambiental conforme a eficiência da gestão, do processo e da tecnologia empregada (ABDI, 2013). As principais técnicas utilizadas na reciclagem são o processamento mecânico, a hidrometalurgia, a pirometallurgia e a eletrometallurgia. Tenório (2011) apresenta um gráfico onde inclui, além dos procedimentos citados, a técnica da biohidrometalurgia, caracterizando-a como o processo de lixiviação em presença de micro-organismos. A Figura 3 lista as principais técnicas.

Figura 3 - Principais técnicas de reciclagem

Tratamento mecânico	Pirometallurgia	Hidrometalurgia	Bio-hidrometalurgia	Eletrometallurgia
<ul style="list-style-type: none">•Cominuição•Classificação•Separação	<ul style="list-style-type: none">•Incineração•Fusão•Pirólise	<ul style="list-style-type: none">•Lixiviação•Purificação	<ul style="list-style-type: none">•Lixiviação em presença de micro-organismos	<ul style="list-style-type: none">•Reação eletroquímica para obtenção de metal

Fonte: adaptado de Tenório (2011)

A partir de informações coletadas de diversos autores, Kasper (2011) descreve em seu trabalho um detalhado levantamento dos principais procedimentos de tratamento de REEE. A apresentação resumida das técnicas de tratamento, a seguir descritas, representa, em sua maioria, a consolidação do pensamento da autora e das referências de autores informadas em seu trabalho.

2.3.1 Tratamento mecânico

No processamento dos REEE o tratamento mecânico representa um pré-tratamento para seleção e reaproveitamento de metais e componentes.

No tratamento mecânico podem-se fazer uso, sequencialmente ou de maneira exclusiva das técnicas de cominuição, classificação e separação. O procedimento de separação pode ser realizado por diferença de densidade, granulometria, propriedades magnéticas e propriedades elétricas, cor, entre outras.

2.3.1.1 Cominuição

A cominuição é a fragmentação dos resíduos pelo movimento de “martelos”, “bolas” ou “facas” dentro de um compartimento fechado. A ação de redução do tamanho dos resíduos pode ser pressão, impacto, abrasão ou corte. A redução com o uso de martelos é obtida por peças de metal que giram sobre um eixo. O material é fragmentado pelas peças móveis e pela colisão com as paredes do compartimento. Existe uma grade na parte inferior onde o material cai após ser suficientemente reduzido. Já na redução por corte o fracionamento do resíduo é obtido com o uso de facas montadas em um eixo ou em dois eixos girando em direções opostas. Esta técnica é eficiente especialmente para reduzir materiais elásticos. Assim, como no modelo de martelo existe uma grade na parte inferior para seleção do material.

2.3.1.2 Classificação granulométrica

A classificação granulométrica ocorre com o uso de superfícies perfuradas ou vazadas sobre a qual os resíduos previamente separados ou triturados se movimentam. As frações com dimensões menores que as perfurações passam pela superfície, enquanto as partículas maiores permanecem acima da superfície vazada. Este procedimento apenas separa os resíduos por tamanho, independente dos diferentes tipos de matérias que estão sendo processados.

2.3.1.3 Separação

Estão disponíveis várias tecnologias para a realização da separação dos diversos materiais que existem nos REEE. As principais técnicas são a separação por diferença de densidade (gravimétrica), granulométrica, propriedades magnéticas e propriedades elétricas.

A **separação gravimétrica** é baseada na diferença de densidade que existe entre os diversos tipos de materiais, para tanto se utilizam líquidos densos, polpas ou mesmo fluxo de ar. No caso dos líquidos densos, quando as partículas de resíduos são imersas, as frações com maior densidade se depositam no fundo do compartimento, enquanto as frações com menor densidade direcionam-se para a superfície ou permanecem em estágios intermediários do compartimento.

Todos os materiais são afetados de alguma maneira pela presença de um campo magnético. A **separação magnética** baseia-se no movimento diferencial dos materiais em um campo magnético. As propriedades magnéticas de um material são dependentes tanto da estrutura eletrônica dos elementos presentes na sua composição como do arranjo dos átomos. Quando uma fração de resíduo suscetível a um campo magnético é colocada em um separador magnético, uma força magnética irá agir sobre esta partícula possibilitando a sua separação das demais frações. Os materiais podem ser classificados como diamagnéticos (cobre, prata, chumbo, bismuto, entre outros), quando na presença de um campo magnético são repelidos e se movem para posições de mais baixa intensidade de campo; como paramagnéticos (alumínio, magnésio, entre outros) que são atraídos por um campo magnético e se movem para posições de mais alta intensidade de campo; e por ferromagnéticas (ferro, cobalto, níquel e ligas destes materiais) que alteram fortemente o valor da intensidade do campo magnético (SILVA, 2014).

A técnica de separação pelas **propriedades elétricas** ocorre quando as frações de resíduos são carregadas ou polarizadas em um campo elétrico. Cada material têm características elétricas específicas. Quando submetidas a um equipamento, que gera um campo elétrico, as partículas são carregadas eletricamente, neste momento, os materiais com diferentes condutividades, que estão sendo transportados em correias e rotores, sofrem desvio físico, ocorrendo a separação, especialmente entre condutores e não condutores. Técnica semelhante, utilizando a condutividade dos materiais, também pode ser aplicada para separar materiais ferrosos dos não ferrosos.

2.3.2 Tratamento pirometalúrgico

A pirometallurgia é o processo de aquecimento controlado de materiais, em atmosferas controladas ou mesmo na ausência de ar e em elevadas temperaturas. A elevação da temperatura permite separar os diversos metais através de diferentes processos de redução/oxidação, fusão ou vaporização dos materiais. Os tratamentos pirometalúrgicos

podem também ser utilizados para a recuperação de metais preciosos. Apresenta a vantagem operacional de aceitar qualquer tipo de REEE, não requerendo grandes etapas de pré-tratamento.

O processamento pirometalúrgico de REEE pode apresentar problemas para o meio ambiente e saúde, pois, caso as emissões gasosas geradas pelo processo não sejam adequadamente controladas, podem despejar na atmosfera dioxinas e furanos provenientes da queima de polímeros e outros materiais isolantes. Tal preocupação representa a realização de elevados investimentos pelas empresas na implantação desta tecnologia, devido, principalmente, aos cuidados ambientais necessários.

A incineração é o processo pirometalúrgico de queima de materiais orgânicos ou plásticos misturados com os concentrados de metais presentes nos REEE. Os resíduos, previamente triturados são colocados em um forno que destrói o material orgânico deixando livre o metal.

A pirólise é a decomposição química de materiais orgânicos por aquecimento em uma atmosfera com pouco ou nenhum oxigênio. Durante o tratamento os materiais orgânicos contidos nos resíduos formam óleos e gases que são utilizados como matérias-primas em outros processos.

2.3.3 Tratamento hidrometalúrgico

A hidrometallurgia consiste na aplicação de soluções ácidas ou cáusticas aos resíduos que reagem dissolvendo o material sólido. Após, a mistura (solução + resíduo) é submetida a procedimentos como de separação e purificação, precipitação de impurezas, a extração por solvente e a concentração dos metais por troca iônica.

As principais vantagens do processamento hidrometalúrgico, em relação à pirometallurgia, é a proteção ambiental, principalmente com relação à poluição atmosférica; a facilidade na separação dos componentes e menores custos operacionais. Como desvantagens deste tipo de processamento, pode-se citar a reciclagem de resíduos com grande diversidade de materiais; a necessidade de tratamento mecânico anterior para reduzir o volume dos resíduos e a geração de efluentes contendo elementos corrosivos ou tóxicos. Posteriormente, as soluções devem ser tratadas por processos eletrolíticos, redução/cimentação ou de cristalização para a recuperação de metais (KASPER, 2011).

2.3.4 Tratamento biohidrometalúrgico

A biohidrometalurgia é o ramo da metalurgia que utiliza bactérias para extrair os metais da fração sólida. As vantagens são o baixo consumo de energia e de reagentes (SERAFIN, COLLING e SILVA, 2009).

É utilizada quando a concentração de metais nobres é pequena, não compensando economicamente a utilização dos procedimentos convencionais de lixiviação para separação/extração. Trata-se de procedimento barato, de fácil aplicação e manutenção, sendo necessário, apenas ajustar a acidez de cada ambiente para que as bactérias possam se proliferar (JOHN, 2011).

2.3.5 Tratamento eletrometalúrgico

A eletrometalurgia é o processo de obtenção de metais através de eletrólise. Estes processos são usualmente efetuados em eletrólitos aquosos ou sais fundidos (KASPER, 2011). Na reciclagem, a maioria dos processamentos eletrometalúrgicos são processos de refino para recuperar o metal puro.

As principais vantagens do uso de procedimentos da eletrometalurgia na reciclagem de REEE, com objetivo de recuperar metais preciosos são: o reduzido número de etapas do processo; o resultado de metal separado que pode representar de 95-97% do material nobre existente no resíduo e a pequena quantidade de material misturado ao lodo resultante. Como limitação o procedimento apresenta a necessidade de uma pré-classificação e tratamento dos resíduos.

Para recuperação dos metais nobres existentes nos REEE, as técnicas de eletrometalurgia mais utilizadas são: eletro-obtenção e o eletrorrefino. Kasper (2011) em seu trabalho descreve a eletro-obtenção como “uma técnica na qual os íons metálicos dissolvidos na solução são convertidos em depósitos sólidos cristalinos. Em uma solução de um sal metálico, o sal é dissociado em um cátion carregado positivamente e um ânion carregado negativamente. Quando um potencial é aplicado entre dois eletrodos imersos nesta solução, o cátion carregado positivamente “migra” em direção ao cátodo e o ânion carregado negativamente em direção ao ânodo. No processo de eletrorrefino, a célula eletrolítica usada consiste de um ânodo fundido do metal a ser refinado, contendo impurezas, e um cátodo, que são colocados em um eletrólito contendo o metal em solução. O cátodo é normalmente uma

fina placa de metal puro. Íons metálicos são dissolvidos do ânodo impuro e passam através da solução para serem depositados no cátodo”.

2.4 Balanço de massa

Balanços de massa e ensaios de lote são métodos e ferramentas que permitem avaliar o cumprimento, pelos recicladores, dos objetivos de reciclagem.

O balanço de massa compara a entrada de um sistema de reciclagem com sua saída, ou seja, a produtividade da empresa que recebe os REEE para processamento e as frações, componentes ou produtos resultantes. Esta produtividade pode ser operacional, econômica ou de qualidade. O balanço de massa possibilita identificar a eficiência do sistema de gestão e a correta aplicação das tecnologias nas operações diárias da empresa. Anormalidades na operação podem ser detectadas com a análise de discrepâncias entre os montantes de entrada e saída (UNU, 2012).

Ensaios de lote avaliam a capacidade técnica dos operadores. No ensaio de lote, uma quantidade determinada de resíduo eletrônico de conhecida composição é tratado em um processo de reciclagem, como a Trituração e separação mecânica dos materiais em frações. As frações resultantes são então analisadas para determinar qual o material pode ser reciclado em operações à frente ou já ser considerado como produto reciclado comercializável. O resultado da análise indica se o reciclagem tem a capacidade tecnológica e os conhecimentos para atender as metas qualitativas e quantitativas do material reciclado.

O estudo de Rocha *et al.* (2009) utiliza o termo “fluxo de material” para o balanço de massa e descreve-o como um método para quantificar o fluxo de determinado sistema. O método inclui a definição de limites temporais e de espaço, o mapeamento dos processos, os insumos, os produtos e a análise dos resultados. O fluxo de massa apresenta-se como ferramenta para melhorar o controle e administração da organização, a partir do conhecimento de seu funcionamento.

Estas ferramentas foram utilizadas neste trabalho a fim de atender um dos objetivos específicos, que era conhecer o fluxo básico dos resíduos.

2.4.1 Fluxo de massa

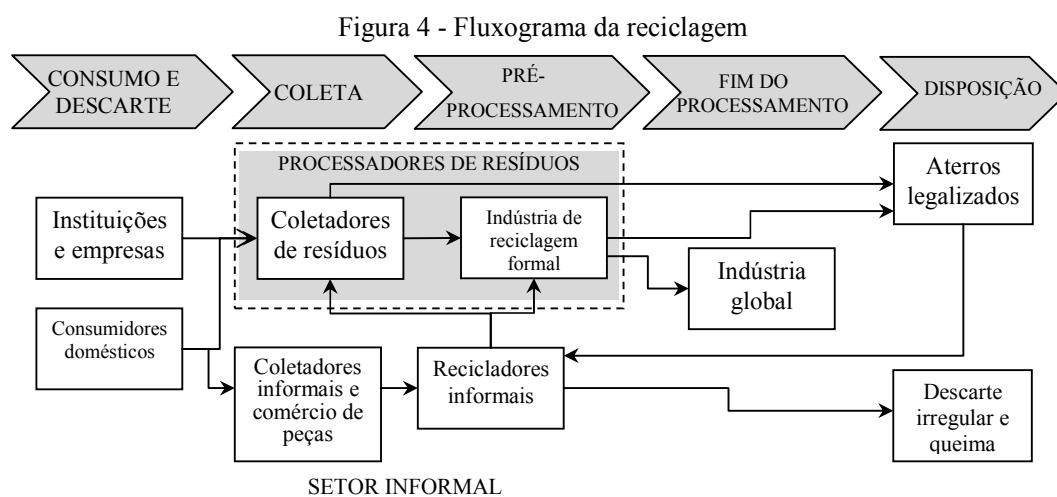
O método de “fluxo de massa” (EMPA, 2012) ou “balanço de massa” (UNU, 2012) permite avaliar o trânsito dos materiais, desde a colocação de um equipamento novo para venda no mercado até a destinação final dos resíduos, passando por todos os procedimentos de reciclagem. Com o método é possível mapear processos, quantificar dados e estabelecer tendências de geração de resíduos em certo período.

Tendo em vista a característica desta pesquisa, de investigar os volumes resultantes dos processos das empresas que operam com REEE, o estudo se concentrou em quantificar dados, mapeando apenas os processos diretos da reciclagem, abordando, de maneira complementar os demais *players*, seus fluxos e interações.

A Figura 4 mostra graficamente como os REEE circulam entre os diversos participantes deste setor. São identificadas as principais relações do setor e que representaram o interesse maior desta pesquisa. O grupo “Processadores de Resíduos” sinaliza os elementos e fluxos de interesse que compuseram a base de dados de informações.

O fluxo de massa é calculado com base nos dados coletados e limitados aos atores e etapas envolvidas no processamento dos resíduos, objeto deste estudo, a saber:

- A recepção dos REEE pelos “Processadores de Resíduos”, entendido como a entrada de material para processamento, originado de todos os segmentos da sociedade, independente da forma como foram transportados ou coletados.
- A entrega dos produtos resultantes do processamento dos REEE, compreendendo a destinação e disposição dos rejeitos.



Fonte: adaptado de EMPA (2012, p.22)

2.4.2 Parâmetros para cálculo do fluxo de massa

O método para quantificar o fluxo de massa do sistema é apresentado a seguir.

Definições:

P_i : processo de sistema

F_{ij} : fluxo, sendo i = origem e j =destino.

Variáveis de processo e fluxo:

P_1 = consumidor doméstico; indústria; comércio; instituição de ensino pública e privada; organismos governamentais federal, estadual e municipal; ONG's.

P_2 = pré-processamento; segmentação de equipamentos; desmontagem; reparo e venda de equipamentos usados; comércio de peças usadas; reciclagem; processamento; descaracterização e destinação.

P_3 = destinação final ou próxima destinação

P_4 = descarte; disposição final.

F_{12} = fluxo de equipamentos obsoletos ou com defeitos, enviados/coletados para reciclagem ou reuso.

F_{21} = equipamentos ou componentes recuperados retornando para os consumidores como produto de segunda mão.

F_{23} = resíduos segmentados vendidos ou enviados para diferentes recicladores; material reciclável bruto vendido para outros recicladores.

F_{24} = rejeitos produzidos durante a reciclagem enviados para disposição final ou para outros processadores de materiais.

Agrupamento das frações de produtos:

$$P_{2a} = P_{2a}$$

$$P_{2x} = P_{2b} + P_{2c} + P_{2d} + P_{2e} + P_{2f}$$

$$P_{2y} = P_{2g} + P_{2h} + P_{2i} + P_{2j} + P_{2k} + P_{2l}$$

$$P_{2m} = P_{2m}$$

Parâmetros do modelo para cálculo do fluxo:

$$F_{12} = P_{1a} + P_{1b} + P_{1c} + P_{1d} + P_{1e} + P_{1f} + F_{21}$$

$$F_{23} = F_{12} - F_{24} - F_{21}$$

$$F_{24} = F_{12} - F_{23} - F_{11}$$

$$F_{21} = F_{12} - F_{23} - F_{24}$$

A Equação (1) apresenta o modelo para cálculo de volume no processo, onde k_a pode representar o índice de equipamentos coletados por segmento da sociedade; o percentual de frações produzidas pelos processadores de resíduos; o percentual dos diversos destinados para as frações produzidas ou o percentual das disposições finais listadas.

$$P_i = k_a * F_{ij} \quad (1)$$

2.5 Logística Reversa

A Lei 12.305/10 regulamentada pelo Decreto 7.404 de 23/12/2010 conceitua logística reversa como um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (REIS, 2013, p. 19) (BRASIL, 2010).

Santos (2012, p. 30), com base em outros autores, descreve a logística reversa como um processo de planejamento, implantação e controle da eficiência e custo efetivo do fluxo de matérias primas, produtos em processo, produtos terminados e informações relacionadas ao produto, do ponto de consumo para o ponto de origem do produto, com a finalidade de recuperar o valor ou destinar à apropriada disposição.

Conforme o IPEA (2012, p. 11) a PNRS estabelece um conjunto de produtos cujos fabricantes possuem obrigação de adotar procedimentos para reciclagem e destinação adequada ao fim da vida útil, entre eles os EEE. Os produtos, descritos na seção II da Lei são os: I – agrotóxicos, seus resíduos e embalagens; II – pilhas e baterias; III – pneus; IV – óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; V – lâmpadas fluorescentes, de sódio, mistas ou mercúrio e; VI – produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

O PNRS também define a responsabilidade dos atores envolvidos no ciclo de vida dos produtos e da implantação do ciclo de recuperação e reciclagem ao final da vida útil.

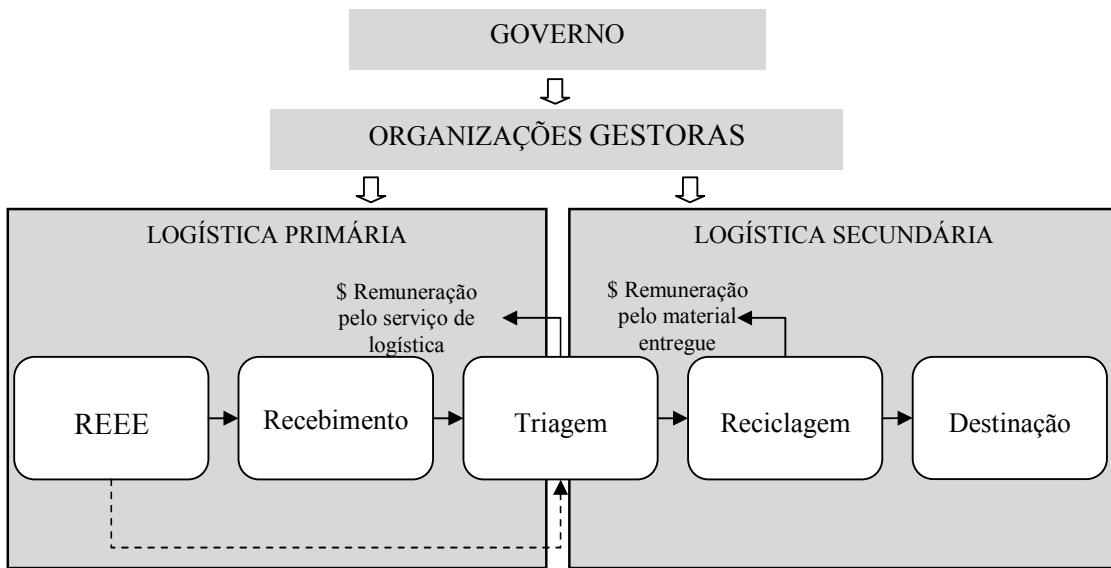
Determina que os responsáveis devam estruturar e implantar sistemas de logística reversa de forma independente do serviço público de limpeza urbana (IPEA, 2012).

Assim, a legislação obriga que os fabricantes, importadores e comerciantes de equipamentos eletroeletrônicos realizem investimentos para reduzir a geração de resíduos sólidos em seus processos de produção, orientada para um design construtivo que permita a reutilização e adequada reciclagem; que mantenham permanente canal de comunicação com os consumidores e os demais envolvidos, informando-os das ações para o correto descarte de embalagens e produtos ao fim da vida útil, e que participem dos planos públicos para a execução da gestão integrada de logística reversa. Ainda, devem estabelecer procedimentos para compra de produtos e embalagens usadas, pontos de coletas para produtos recicláveis e atuar em parceria com cooperativas e associações que realizam a coleta e triagem de REEE.

Em função da orientação citada, quando se analisa a logística de armazenamento, transporte, tratamento e disposição dos resíduos, e acrescenta-se o fator da extensão territorial brasileira, identifica-se o porquê de certa cautela dos empresários na implantação de um sistema de logística reversa. A dificuldade que se apresenta na implantação deste sistema de logística está na visão dos envolvidos sobre um aumento de seus custos operacionais. Neste sentido, a política governamental apresenta uma visão de planejamento para que os envolvidos entendam tais custos como ações que, forçosamente teriam de realizar em seus processos produtivos e comerciais, garantindo, com estes investimentos, o desenvolvimento sustentável para a sociedade e, em outro viés, o cumprimento da legislação e regulamentação deste tema (ABDI, 2013, p. 17).

A Figura 5 apresenta um modelo para a logística reversa no Brasil, com a descrição dos fundamentos do fluxo produtivo (ABDI, 2013).

Figura 5 - Modelo do fluxo da Logística Reversa



Fonte: ABDI, 2013

Neste modelo os EEE de pequeno porte são transportados e entregues pelo consumidor em pontos fixos de descarte e recebimento. Para os EEE de maior porte o consumidor entra em contato com o fabricante ou organização gestora para solicitar que seu produto seja retirado de sua casa, com custos para este consumidor.

O comércio disponibiliza pontos para descarte e recebimento e realiza a armazenagem. Além dos pontos de coleta tradicionais, assistências técnicas, cooperativas e outros parceiros logísticos podem ser definidos pela organização gestora como pontos de coleta.

O transporte dos resíduos até o centro de triagem é definido por meio de tratativas entre o comércio e a indústria. O comércio e a organização gestora realiza o transporte até o centro de triagem mais próximo. Prefeituras, cooperativas e recicladores podem realizar o transporte.

A triagem dos resíduos é coordenada e gerenciada pela organização gestora. Os centros de triagem podem ser próprios ou de prefeituras e nestes locais é realizada a separação, armazenagem e posterior despacho dos REEEE. Nestes centros também é realizada a gestão, com amostragens e monitoramento do processo.

O transporte até o reciclador é realizada por meio de contrato de serviço, havendo a possibilidade de o reciclador pagar pelo REEEE entregue. O reciclador realiza a descaracterização de marcas e dados, faz a rastreabilidade, recicla o REEEE e realiza o balanço

de massa, conforme contrato de serviço estabelecido com a organização gestora. O reciclador repõe o material reciclado no mercado e dá a devida destinação final ao rejeito.

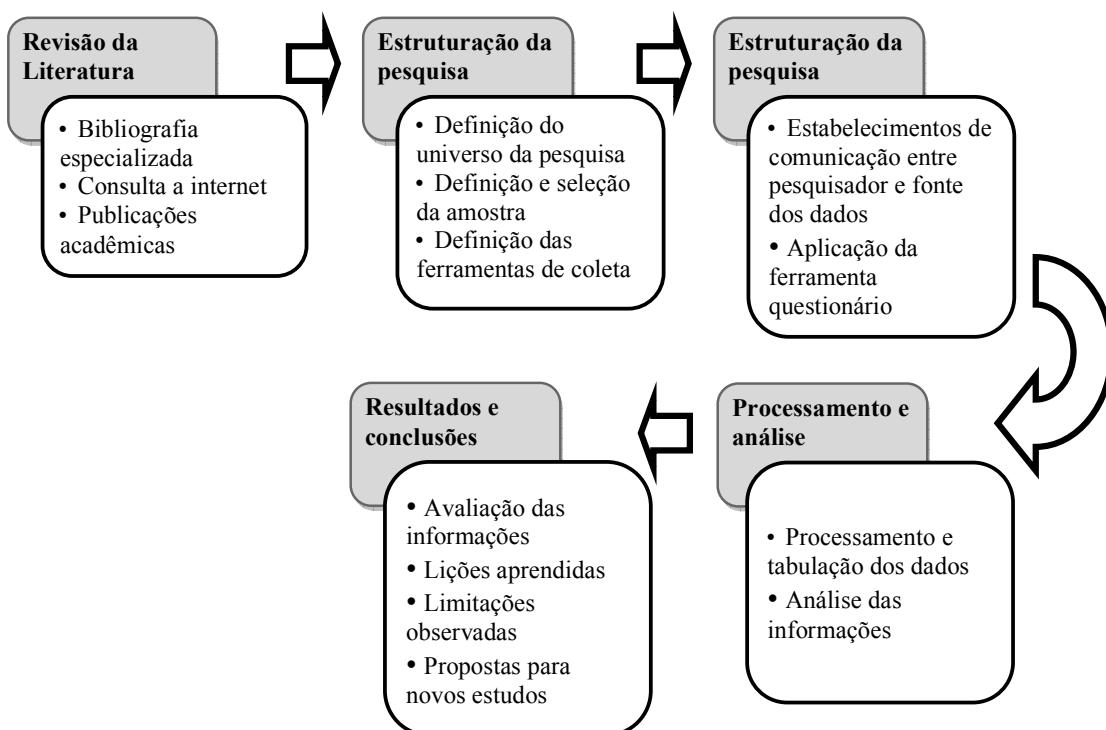
Neste modelo a organização gestora pode ser uma associação criada para esta finalidade ou a própria indústria. A organização gestora tem a finalidade de realizar o compartilhamento dos custos, gerenciar e custear a logística desde os centros de triagem até os recicladores, promover informações, realizar campanhas de coleta e apoio aos órgãos de fiscalização.

3 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

Este capítulo descreve os métodos e procedimentos utilizados no desenvolvimento da pesquisa. As categorias dos equipamentos pesquisados, os tipos de materiais envolvidos e os produtos resultantes do processamento dos resíduos são inicialmente apresentados. Em seguida, descrevem-se os elementos que deram sustentação metodológica, como a revisão bibliográfica e o tipo de abordagem. Após, descreve-se como se desenvolveu a aquisição do conhecimento do universo pesquisado, com a identificação das fontes de informações e suas limitações. Conclui-se com as etapas e procedimentos realizados para obtenção dos dados e no tratamento das informações.

O fluxograma da Figura 6 mostra as etapas metodológicas adotadas no trabalho.

Figura 6 - Sequência metodológica da pesquisa



3.1 Métodos

Os procedimentos de obtenção das informações foram precedidos de uma completa revisão da literatura sobre o assunto, com a consulta à bibliografia especializada em publicações nacionais e internacionais, como UNU-StEP, UNEP (*United Nations Environmental Programme*), EMPA, *Science Direct Elsevier*, IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), ABDI (Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial), CAPES e biblioteca da UFRGS. As informações coletadas permitiram um aprofundamento do conhecimento e uma visão abrangente de todas as variáveis e elementos no tratamento dos REEE.

Para o atendimento do objetivo geral deste trabalho são aplicados os referenciais da pesquisa qualitativa e quantitativa (SIENA, 2007, p. 62):

Conforme Siena (2007, p. 60) a pesquisa qualitativa é o tipo de abordagem onde o pesquisador é o elemento-chave e a fonte principal de dados é o ambiente natural. O foco, neste caso, não é a quantificação, mas a interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados. A técnica mostrou-se adequada para o entendimento de informações apresentadas pelos respondentes de maneira incompleta ou subjetiva, principalmente nas respostas discursivas ou nas conversas telefônicas. Ao mesmo tempo, o autor comenta que na pesquisa quantitativa ocorre a busca pelas relações de casualidade e características de um fenômeno, com coleta de informações e tratamento com técnica estatística.

Em complemento às técnicas de abordagem qualitativa e quantitativa a EMPA (2012, p. 22) descreve na publicação “*e-Waste Assessment Methodology Training & Reference Manual*” o método denominado “fluxo de massa”, que permite quantificar o fluxo de materiais de um determinado sistema, avaliando o processo e os materiais envolvidos.

O conceito do método “fluxo de massa” foi adaptado e aplicado nesta pesquisa com o objetivo de avaliar e quantificar o fluxo dos resíduos nas empresas que coletam ou reciclam estes materiais. Esta ferramenta já foi utilizada em alguns estudos semelhantes no Brasil e em outros países como Colômbia, Peru e Chile (ROCHA, GOMES, *et al.*, 2009).

O estudo dos volumes de REEE recebidos e processados permite explorar, de maneira abrangente, o fluxo produtivo deste segmento, estabelecendo informações econômicas do negócio e uma visão do processo de transformação dos REEE com a agregação de valor na matéria-prima resultante.

Considerando a característica qualitativa, com objetivos exploratórios, a pesquisa aborda, de forma complementar a gestão do negócio e demais interações ambientais e sociais. Tais temas são de relevante importância no dia a dia destas empresas, por impactarem na sobrevivência do negócio. Estes aspectos surgem como complemento às respostas quantitativas e são tratados de maneira secundária, por não representarem o foco da pesquisa.

3.1.1 Nomenclatura e classificação

3.1.1.1 Grupos de resíduos

A investigação dos montantes de REEE movimentados considerou as 10 (dez) categorias dos resíduos da Diretiva 2012/19/EU do Parlamento Europeu (2012) (EMPA, 2012, p. 12), conforme Quadro 3. Estas categorias segmentam os materiais possibilitando a identificação das principais fontes de descarte, a partir de suas características de fabricação e uso.

A abrangência de equipamentos incluídos nas dez categorias exigiu uma adaptação nesta classificação, elaborando-se uma lista com “grupos de equipamentos” estabelecendo-se uma relação entre as duas. Esta adequação foi necessária tendo em vista o foco da pesquisa e o desconhecimento das linhas de atuação das empresas. Também se busca facilitar a classificação dos resíduos coletados com a simplificação das opções de respostas. O Quadro 9 apresenta a relação estabelecida.

Quadro 9 - Grupos de Equipamentos pesquisados e categorias

Cat.	Equipamentos nas categorias (EU Directive 2012/19/UE)	Grupo de equipamentos (adaptado para a pesquisa)
1	Aparelhos domésticos grandes	Linha branca
2	Aparelhos domésticos pequenos	Linha azul
3	Equipamentos de informática e telecomunicações	Computador/notebook Celulares/tablet/smartphones Impressoras/escâner
4	Equipamentos de áudio e vídeo	Monitores/televisores
5	Equipamentos de/para iluminação	-
6	Ferramentas elétricas e eletrônicas	Equipamentos industriais/comerciais
7	Brinquedos e equipamentos esportivos	-
8	Aparelhos médicos	-
9	Instrumentos de monitoramento e controle	Equipamentos industriais/comerciais
10	Equipamentos automatizados	Equipamentos industriais/comerciais

Foram estabelecidos sete grupos de equipamentos. Cada grupo recebeu como título uma identificação com o nome dos principais equipamentos, havendo um conjunto maior de equipamentos vinculados a cada um destes grupos. O Quadro 10 resume os equipamentos que compõem os sete grupos de resíduos definidos na pesquisa.

Quadro 10 - Equipamentos participantes de cada grupo de resíduos

Grupo de resíduos	Equipamentos
Computador/notebooks	Desktop, notebooks, mouse, teclados, fontes estabilizadoras, cabos, moduladores, roteadores.
Monitores/Televisores	Monitores plasma, LCD, LED e CRT, televisores de todos os tipos, DVD, VHS, equipamentos de áudio.
Celulares/Tablets/Smartphones	Telefones celulares, carregadores, tablets, aparelhos de telefonia fixa.
Impressoras/Scanner	Impressoras jato de tinta, laser, matricial, escâner, máquinas de escrever, fax e copiadoras.
Equipamentos industriais/comerciais	Máquinas para serrar, máquinas de costura, máquinas de cortar grama, detectores de fumaça, sensores, termostatos, distribuidores automáticos de dinheiro, de bebidas ou de outros produtos sólidos, equipamentos de telecomunicações.
Linha branca	Refrigeradores e congeladores, fogões, lavadoras de roupa e louça, secadoras, condicionadores de ar.
Linha azul	Batedeiras, liquidificadores, ferros elétricos, furadeiras, secadores de cabelo, espremedores de frutas, aspiradores de pó, cafeteiras.

Os equipamentos pertencentes às categorias um e dois foram caracterizados pela classificação das linhas de produtos, ou Linha Branca e Linha Azul. Conforme a ABDI (2013) existem quatro linhas de produtos (Quadro 11)**Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Quadro 11 - Linhas de Produtos

Linhas de Produtos	Equipamentos
Linha Verde	Desktops Notebooks Aparelhos celulares Impressoras
Linha Marrom	Televisores CRT Televisores plasma, LCD, LED DVD / VHS Equipamentos de áudio em geral

Linhas de Produtos	Equipamentos
Linha Branca	Geladeiras Refrigeradores Congeladores Fogões Lava roupas Ar condicionado
Linha Azul	Batedeiras Liquidificadores Ferro elétrico Furadeiras

Fonte: ABDI (2013)

Para a resposta aos questionamentos da pesquisa foi estabelecido como referência para mensuração a massa ou o volume do material circulante. Assim, unidades como toneladas, kg e m³ foram fixadas como padrão para as respostas em determinada temporalidade. O parâmetro “quantidade de peças/equipamentos” não foi oferecido como opção, mas identifica-se que esta forma de mensurar os volumes é utilizada nos negócios entre as empresas que coletam ou recebem resíduos das fontes geradoras e nas transações comerciais destes com os recicladores.

3.1.1.2 Grupos de produtos do processamento

Para coletar informações sobre os resultados físico e financeiro dos processos realizados pelas empresas foi listado um conjunto de componentes e materiais que representassem as frações de produtos resultantes destes procedimentos.

O Quadro 12, lista na primeira coluna a forma como foram sintetizados os diversos tipos de equipamentos a serem processados. Cada grupo de equipamentos abrange um conjunto de resíduos, conforme detalhado no Quadro 10. A segunda coluna apresenta a lista com as frações selecionadas para identificar os produtos. Estas duas colunas podem ser entendidas como o “in” e “out” de um processo, onde os equipamentos representam os insumos na entrada do processo e os componentes/ materiais os produtos da transformação.

Quadro 12 – Equipamentos e produtos do processamento

Entrada Grupo de equipamentos	Saída Grupo de componentes/ materiais
Computadores/ <i>notebooks</i> Celulares/ <i>tablets</i> / <i>smartphones</i> Monitores/televisores Impressoras/escâner Equipamentos industriais Equipamentos comerciais Linha Branca Linha Azul	PCI (placa de circuito impresso) Al = alumínio Cu = cobre Aço = aço-carbono/ferro Inox = aço inoxidável Metal = outros tipos de metais PE = polietileno PP = polipropileno ABS = acrilonitrila butadieno estireno PC = policarbonato PVC = policloreto de vinila Plásticos = outros polímeros Vd = vidro Outros = materiais não listados

3.1.1.3 Origem dos resíduos coletados/ recebidos

Para identificar a origem e caracterizar os resíduos coletados pelas empresas processadoras foi estabelecido grupos da sociedade que representassem os diversos setores. Em caso de desconhecimento da origem dos resíduos foi ofertada a opção de resposta “origem não determinada”.

O Quadro 13 apresenta a lista de fontes geradoras de resíduos consideradas na pesquisa, representando os principais segmentos da sociedade.

Quadro 13 - Grupos da sociedade que descartam resíduos considerados na pesquisa

Fonte Geradora de REEE
Comércio
Indústria
Doméstico
Universidades particulares
Universidades públicas
Governo Federal
Governo Estadual
Governo Municipal
Não determinado

3.2 Ferramenta de pesquisa

Como ferramenta de pesquisa utilizou-se um questionário estruturado, que conforme Siena (2007, p. 108) é um instrumento contendo questões para respostas escritas pelo informante sem a presença do pesquisador. O questionário contou com perguntas abertas, que permitem a resposta livre do respondente e questões fechadas contendo escalas.

O instrumento de coleta de dados (questionário) foi estruturado de maneira a captar as informações necessárias ao objetivo da pesquisa, abordando elementos da qualidade dos processos e da mensuração dos insumos e produtos.

A abrangência nacional do trabalho e a característica do universo de empresas pesquisadas estarem situadas fora da localidade base do pesquisador inviabilizou a realização de entrevista presencial com os representantes das empresas. Como alternativa a esta situação o telefone e a internet mostraram-se ferramentas adequadas.

O acesso das empresas ao questionário deu-se de forma *online*, ou seja, os respondentes tiveram acesso direto às questões pela internet. Foi utilizada ferramenta específica do Google para criação de formulário e disponibilização na internet. O questionário ficou armazenado nos servidores desta empresa, tendo acesso somente às pessoas indicadas pelo desenvolvedor do documento. A disponibilização aos respondentes ocorreu por e-mail, com o envio de orientações complementares sobre a pesquisa e do *link* autorizando o acesso.

A ferramenta questionário, utilizada para a coleta de dados é estruturada em divisões e subdivisões, separando questões com foco gerencial das questões que buscam quantificar o processo. A segmentação das questões e o teor das perguntas estão direcionados ao cumprimento dos objetivos específicos da pesquisa. O instrumento é composto de 24 (vinte e quatro) questões subdivididas em quatro grupos, além das informações gerais sobre a empresa. As subseções seguintes descrevem, para cada um dos grupos, os objetivos propostos com os questionamentos.

3.2.1 Informações sobre a empresa e o respondente

Grupo de perguntas para identificar a localização geográfica da organização e o perfil profissional do respondente. Estabelece, também, condições para futuros contatos.

3.2.2 Fontes geradoras de resíduos eletroeletrônicos e tipos produzidos

Grupo de questões sobre as fontes geradoras de resíduos eletroeletrônicos e os tipos de resíduos produzidos nestes setores da sociedade. O objetivo é identificar os setores da sociedade que mais encaminham/entregam resíduos para processamento. O respondente deve assinalar o percentual de resíduos originados nos diversos setores da sociedade, tendo como referência o total recebido em um determinado período. A soma dos percentuais marcados não deve ultrapassar 100%.

No questionamento sobre os tipos de resíduos produzidos, busca-se identificar qual segmento mais utiliza e, após seu ciclo de vida, descarta determinado tipo de equipamento. Com relação ao aspecto temporal esperado para as respostas, houve a orientação para informações de média mensal processada. Podendo ser utilizada a temporalidade anual, quando informada.

3.2.3 Capacidade de processamento instalada e utilizada

Este conjunto de questões busca identificar os volumes processados e a capacidade produtiva da empresa. Pretende-se conhecer o volume de cada tipo de equipamento recebido para processamento em um dado período. Tal questionamento permite um estudo dos tipos de resíduos que a empresa mais recebe para processamento, possibilitando inferir sobre o fluxo de reciclagem de cada tipo de resíduo a partir da sua origem.

Neste mesmo grupo de questões inserem-se duas perguntas sobre a capacidade produtiva da empresa, permitindo uma visão do porte industrial, ou seja, o que é possível processar e o que realmente a empresa processa em determinado prazo. Avalia se o fluxo de resíduos recebidos pela organização está além ou aquém da estrutura operacional existente.

3.2.4 Volumes processados, produtos e destinação

Grupo de questões que permite conhecer, percentualmente, a capacidade de processamento de cada tipo de equipamento, quais são os volumes de produtos/materiais/componentes resultantes do tratamento de cada tipo de resíduo. Este grupo apresenta também questões sobre o percentual gerado de rejeitos e qual a destinação final.

Com os questionamentos pretende-se avaliar e inferir sobre a produtividade do processo, considerando a entrada do equipamento/resíduo em uma determinada etapa do fluxo de produção e a saída deste material em frações ou produtos passíveis de comercialização.

Com uma visão dos equipamentos/resíduos que apresentam um melhor índice de processamento, as informações obtidas poderão servir de ferramenta para as empresas do setor na escolha e segmentação das categorias e tipos de resíduos que apresentem valor agregado e consequente melhoria no desempenho financeiro.

É apresentada também questão que estabelece um contraponto a parcela aproveitável, onde se busca conhecer o percentual não comercializável dos diversos tipos de resíduos listados. Esta pergunta possibilita inferir sobre os rejeitos gerados, suas características, destinação ou disposição final. Permite ainda cruzamentos dos volumes de resíduos recebidos com os percentuais de produtos e rejeitos resultantes, estabelecendo um conjunto de informações sobre o fluxo de massa do processo.

Conhecer as frações resultantes do tratamento dos diversos tipos de resíduos é o objetivo de outro questionamento. Pretende-se coletar informações relevantes sobre os volumes dos produtos acabados, ou seja, em fim de processo, e conhecer o que é ou será passível de comercialização. A análise destes dados em conjunto com o preço de mercado dos diversos tipos de frações produzidas permitirá a construção de uma matriz do cenário econômico deste segmento de negócio.

3.2.5 Aspectos gerenciais, econômicos e do fluxo da produção.

Conjunto de questões que possibilita uma análise abrangente dos aspectos operacionais e de logística das empresas, permitindo uma visão dos mecanismos de negociação e do trânsito dos resíduos/produtos dentro de um contexto global. Permite também um estudo do fluxo de massa e dos resultados financeiros alcançados.

3.2.5.1 Fatores gerenciais

Perguntas com foco gerencial possibilitam inferir sobre o atendimento da regulamentação vigente e sobre o envolvimento da empresa no trato aos produtos perigosos à saúde contidos nos resíduos e nas ações de impacto ambiental. Questionamentos sobre o reprocessamento de equipamentos eletroeletrônicos para inserção novamente no mercado, caracterizando o prolongamento da vida útil, também fazem parte do conjunto de informações gerenciais solicitadas.

3.2.5.2 Cadeia produtiva

Conhecer como os resíduos e seus produtos abastecem os *players* deste processo é de fundamental importância para entender como acontece o fluxo da produção e qual a

produtividade resultante. Perguntas sobre este tema têm como objetivo visualizar alguns dos elementos da logística deste segmento e como se relacionam economicamente com os fornecedores de insumos gerados pela sociedade.

3.2.5.3 Fatores econômicos e financeiros

O conjunto de questões que abordam os fatores econômicos do negócio é o mais abrangente e com o maior número de questionamentos. Esta condição é necessária, por estabelecer relação direta entre a fonte dos dados e a pretensão deste trabalho, que é possibilitar uma visão dos fatores quantitativos envolvidos no processo, tanto em relação aos volumes transitados, como das condições econômico/financeiras.

As principais variáveis que se pretende analisar dizem respeito aos preços praticados por unidade de referência para cada tipo de resíduo adquirido/coletado, fornecendo um panorama dos resíduos de maior interesse nas empresas pesquisadas.

Outro aspecto relevante neste conjunto de questões diz respeito ao impacto dos custos de operação do negócio. Pretende-se ter uma visão das condições econômicas do setor e de sua viabilidade.

São formuladas questões para conhecer os preços de referência que as empresas utilizam para a comercialização das frações de produtos resultantes do processamento, o que permite inferir sobre os resultados econômicos quando comparados com os volumes produzidos de cada fração de produto. E questões sobre o impacto percentual dos tipos de resíduos no faturamento.

Em seguida se formula questionamento sobre o impacto percentual de cada produto resultante do processamento no faturamento global da empresa. Ou seja, busca-se conhecer como é construída a matriz de resultado financeiro da organização a partir das frações/produtos de fim da cadeia produtiva dentro da organização pesquisada.

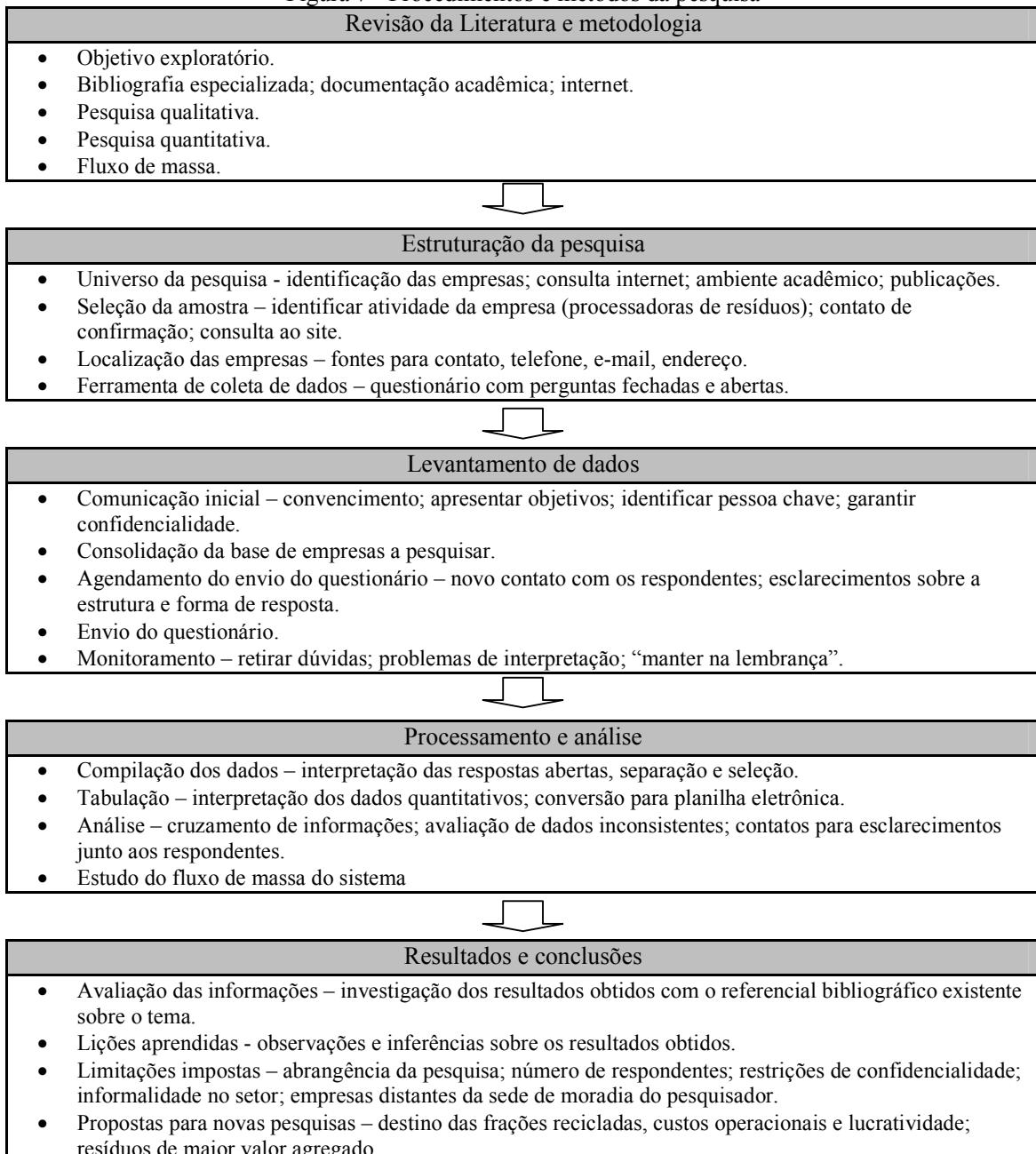
Com estas informações acredita-se ser possível atingir o objetivo final pretendido com a pesquisa: um diagnóstico qualitativo e quantitativo do setor.

O questionário, em sua formatação original, é apresentado no Apêndice I.

3.3 Procedimentos

A Figura 7 segmenta as ferramentas e métodos aplicados nas etapas metodológicas da pesquisa.

Figura 7 - Procedimentos e métodos da pesquisa



As empresas foram, em sua maioria, contatadas antecipadamente, e informadas do objetivo do questionário, estabelecendo-se um primeiro contato entre o pesquisador e as

organizações detentoras dos dados. Também foi momento de convencimento na garantia de confidencialidade das informações e dúvidas sobre a finalidade da pesquisa.

A complexidade das questões formuladas, que demandam conhecimento do fluxo produtivo e de seus resultados, exigiu, como condição fundamental, o correto direcionamento do questionário, demandando uma etapa de negociação até a identificação/indicação de pessoa capacitada com o tema, para posterior e correto direcionamento do questionário. Esta condição gerou a necessidade de um controle intenso e periódico, já que nem sempre a pessoa com quem se estabeleceu o contato ou que recebeu o questionário estava habilitada ou possuía o conhecimento esperado. A frequente troca de informações com as empresas respondentes foi fundamental para o resultado da pesquisa.

Considerando o objetivo da pesquisa de realizar um diagnóstico do setor (identificar o fluxo produtivo dos REEE), a coleta de dados concentrou-se em empresas que atuam como processadoras destes materiais. Ou seja, neste conceito foram inseridas as **empresas que coletam, reciclam, processam ou simplesmente são empresas concentradoras**, que realizam a estocagem dos REEE para posterior envio e comercialização.

Identificar e separar no universo de empresas as que efetivamente atuam como processadora de REEE compreendeu mais uma etapa do trabalho. A técnica de pesquisa utilizada para esta fase foi o **levantamento de dados**, com a pesquisa em sites da internet e literatura. Conforme Siena (2007, p. 68) a pesquisa de levantamento ou enquete “é um tipo de pesquisa social, como censos, enquete de opinião, estudos de mercado, que envolve a interrogação direta das pessoas, grupos, etc., cujo comportamento se deseja conhecer”.

Foram listadas as empresas existentes no Brasil que atuam no segmento de reciclagem. Esta informação foi obtida, principalmente, em sites de associações que possuem como função a promoção dos conceitos de reciclagem, e que buscam conscientizar a sociedade sobre a redução, reutilização e reciclagem do lixo (CEMPRE, 2014). Estas associações disponibilizam uma relação de seus associados ou cadastrados, estabelecendo fonte adequada para a construção de uma base para a coleta de dados.

As organizações que serviram de referência para esta etapa da pesquisa foram:

CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem), associação com sede na cidade de São Paulo e que possui como elementos de sua missão: promover o conceito de

gerenciamento integrado de resíduos sólidos; promover a reciclagem pós-consumo e difundir a educação ambiental com foco na teoria dos três R's (reduzir, reutilizar e reciclar).

ABREE (Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos), associação também com sede em São Paulo que tem como objetivos organizar a gestão de resíduos sólidos de seus associados. Trabalha no cumprimento da PNRS, realizando serviços de fiscalização, auditoria e de sistemas coletivos de logística reversa.

Outras ferramentas utilizadas para a identificação de empresas do segmento foram: o ambiente acadêmico e a consulta à internet. Estas formas de consulta complementares se mostraram muito eficientes na construção da base inicial da pesquisa, visto que muitas empresas indicadas não faziam parte das listas das associações de recicladores, principalmente quando localizadas no Estado do Rio Grande do Sul.

Uma nova etapa na construção da lista de empresas que seriam convidadas a participar da pesquisa foi separar as que efetivamente operam no processamento de REEE. Muitas empresas arroladas possuíam como foco a prestação de serviços de consultoria ou desenvolvimento de softwares de gestão para controles administrativos e de impactos ambientais, tendo como um dos motes principais a adequação ao PNRS.

Com a lista completa, as empresas foram novamente contatadas (via telefone e/ou e-mail) na tentativa de convencimento e aceitação de resposta ao questionário. Esta fase demandou um maior envolvimento do pesquisador, já que diversas dificuldades tiveram de ser sanadas, como:

- Identificar e localizar dentro da empresa a pessoa que detinha o conhecimento para responder o questionário. E, em muitos casos, obter a concordância dos superiores imediatos ou da direção;
- Informação segmentada dentro da empresa, - cada setor só conhece seus dados - não havendo interesse ou disponibilidade do respondente em compilar os dados, e;
- Receio em divulgar informação considerada confidencial, principalmente, quando o respondente exercia cargo gerencial.

Após nova consolidação houve o envio, por meio eletrônico, do questionário da pesquisa.

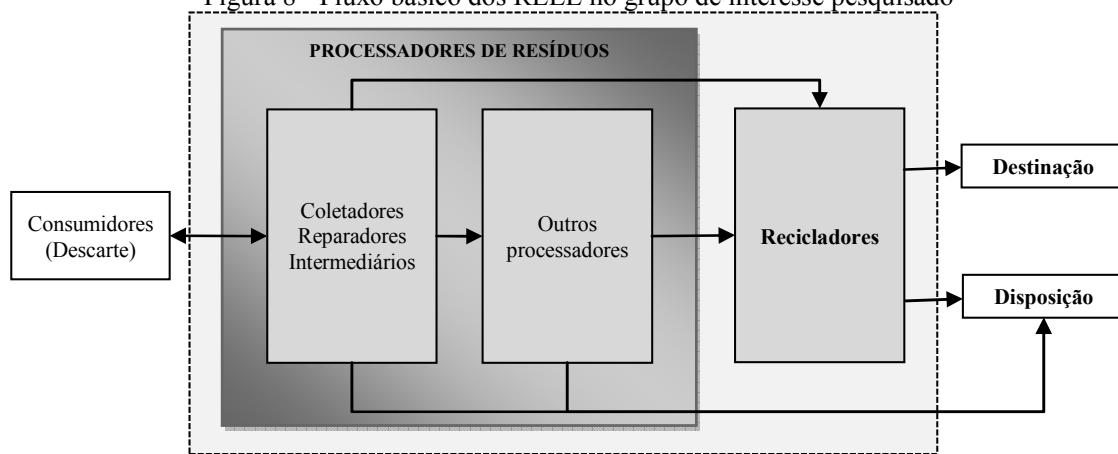
3.3.1 Fluxo dos resíduos nas categorias de empresas pesquisadas

A Figura 8 descreve como as empresas processadoras de resíduos interagem com a sociedade e demais empresas do setor. Os diversos segmentos da sociedade, estabelecidos na pesquisa (Quadro 13), descartam os REEE que são coletados ou recebidos pelas empresas processadoras. As empresas processadoras realizam o fracionamento e separação das partes dos equipamentos, com a utilização de equipamentos automáticos ou de forma manual. Algumas empresas operam como intermediários, atuando, exclusivamente, como polos coletores ou centralizadores de determinados tipos de resíduos.

A recuperação ou remoção de partes dos equipamentos para posterior comercialização, retornando à sociedade como equipamento usado é uma prática de algumas empresas processadoras de resíduos. Conforme Blaser & Schluep (2012, p. 6) a recuperação/reparo de equipamentos para nova inserção no mercado como de “segunda mão” apresenta maior retorno financeiro quando comparado com a reciclagem, entretanto, não se identificou na pesquisa, empresas com foco exclusivo nesta atividade.

A característica das empresas processadoras, de extraírem as partes dos equipamentos de interesse para seu negócio, estabelece um fluxo onde os resíduos não aproveitados são enviados (comercializados) para outros processadores, e destes, para as empresas recicladoras. Em todas as etapas do fluxo as empresas descartam parcela dos resíduos que são dispostas em aterros ou incineradas.

Figura 8 - Fluxo básico dos REEE no grupo de interesse pesquisado



Fonte: autor

3.3.2 Processadores de REEE mapeados

O Quadro 14 apresenta o universo de empresas pesquisadas. São listadas as organizações processadoras de REEE identificadas em sites de associações do setor, em pesquisa direta na internet e da bibliografia acadêmica. Entre as empresas listadas encontram-se as que responderam o questionário. Os aspectos pactuados de confidencialidade impedem que sejam identificadas.

Quadro 14 - Lista de empresas selecionadas para participar da pesquisa

Empresa	Município	Estado
Ambe Ambiental	Caxias do Sul	Rio Grande do Sul
Ativa Reciclagem de Materiais Ltda.	Guarulhos	São Paulo
Belmont Trading Comercial Exportadora Ltda.	Campinas	São Paulo
Cedir – Centro De Descarte de Resíduos Da USP	São Paulo	São Paulo
Coopermiti - Cooperativa de Resíduos Sólidos Eletroeletrônicos	São Paulo	São Paulo
DDF Reciclagem	São Paulo	São Paulo
Descarte Certo - Gestão De Resíduos Pós Consumo	São Paulo	São Paulo
Ecoassist	São Paulo	São Paulo
Ecobras Reciclagem	São Paulo	São Paulo
Ecobrasil	Varginha	Minas Gerais
Ecotronic Manufatura Reversa	Pinheiral	Rio de Janeiro
Eletrolixo Logística Reversa Ltda.	Bauru	São Paulo
E-Mile Reciclagem	Betim	Minas Gerais
Es Ambiental Reciclagem	Linhares	Espírito Santo
Fundação Proamb	Bento Gonçalves	Rio Grande do Sul
Indústria e Comércio Fox de Reciclagem e Proteção ao Clima	Cabreúva	São Paulo
Interamerican Ltda.	São B. do Campo	São Paulo
Invertt Manufatura Reversa	São Paulo	São Paulo
Izn Recicle Brasil	Porto Alegre	Rio Grande do Sul
Lorene Importação E Exportação Ltda.	São Paulo	São Paulo
Lorni Comércio de Sucatas	Canoas	Rio Grande do Sul
Mundo Ambiental	Ponta Grossa	Paraná
Nova Cascavel Reciclagem	Cascavel	Paraná
Orbital Coleta de E-Lixo	Mogi Guaçu	São Paulo
Otser – Gestão de Resíduos Eletrônicos	Campo Bom	Rio Grande do Sul
Oxil – Manufatura Reversa	Paulínia	São Paulo
Parcs Resíduos Eletrônicos	Curitiba	Paraná
Quimea Soluções Ambientais – Santa Maria	Santa Maria	Rio Grande do Sul
Recicla Eletrônicos	Curitiba	Paraná
Reciclainfo	São Paulo	São Paulo
Reciclawag	Jundiaí	São Paulo
Reciclo Ambiental Consultoria E Serviços	São Paulo	São Paulo
Reciclo Metais Com. de Resíduos Sólidos	São Paulo	São Paulo
Reciclo eletrônicos	Jundiaí	São Paulo
Recicladora Urbana	São Paulo	São Paulo
Reverse - Gerenciamento de Resíduos Tecnológicos	Novo Hamburgo	Rio Grande do Sul
Sanlien Exportação Ltda.	São Paulo	São Paulo
Silcon Ambiental	São Paulo	São Paulo
Sir Company Comércio e Reciclagem Ltda.	São Paulo	São Paulo
Sucata Digital	São Paulo	São Paulo
Sucata Eletroinfo	São Paulo	São Paulo
Sucata Eletrônica	São Paulo	São Paulo
Target Trading S.A	São Paulo	São Paulo
Tcg Brasil Reciclagem Ltda	Americana	São Paulo

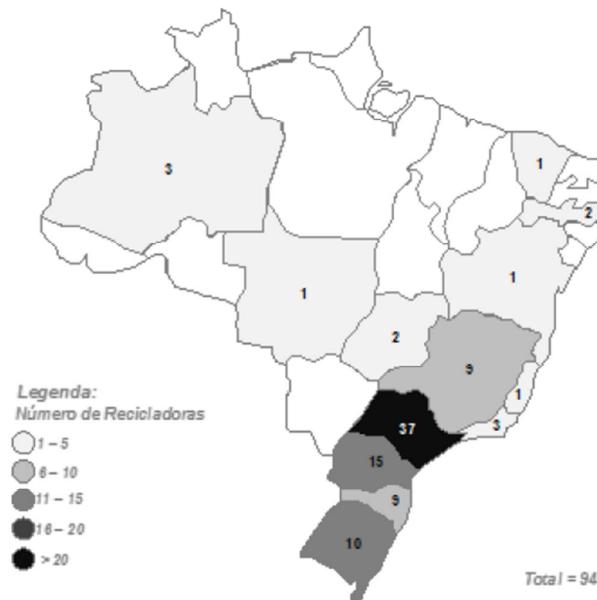
Empresa	Município	Estado
Trade Recycle – Gestão de Resíduos Eletrônicos	Cachoeirinha	Rio Grande do Sul
Umicore	Guarulhos	São Paulo
Vertas - Gerenciamento e Transformação de Resíduos Tecnológicos	Mauá	São Paulo
WN Recicla	São Paulo	São Paulo
Xerox Comércio e Indústria Ltda.	São Paulo	São Paulo

3.3.3 Localização das empresas

As empresas que atenderam à pesquisa estão localizadas, em sua maioria, no Estado de São Paulo. Tal fato é compreensível dada à concentração de empresas deste segmento estabelecidas nesta unidade da federação. A investigação também observou, neste Estado, uma maior aceitação em participar da pesquisa do que em outras regiões do país. O outro Estado que também contribuiu com resposta para a pesquisa foi o do Rio Grande do Sul.

A Figura 9 apresenta o mapa do Brasil onde é possível identificar as principais regiões com concentração de empresas recicladoras. A pesquisa não localizou a totalidade de empresas citadas no mapa, identificando um conjunto menor, resultando em 46 empresas convidadas a responder ao questionário.

Figura 9 - Mapa de concentração dos recicladores



Fonte: ABDI. Logística Reversa de EE. (2013)
Análise de viabilidade técnica e econômica, p.36.

3.4 Cálculo do fluxo de massa

Para o cálculo do fluxo de massa foram adotadas as seguintes premissas.

O fluxo de massa foi estruturado com as informações de volumes e percentuais das variáveis e elementos que compuseram a pesquisa, tais como os grupos de resíduos, produtos resultantes, destinos dos materiais/ produtos e setores da sociedade.

Foram consideradas as informações que permitiram identificar os volumes manuseados desde o recebimento/coleta dos equipamentos até a sua destinação final. Duas empresas (B e E) forneceram dados completos para realização da análise.

Os volumes dos resíduos coletados, bem como das frações de materiais produzidos foram somados, estabelecendo-se montantes que serviram de referência (base) para os cálculos.

Visando permitir que o cálculo do fluxo de massa espelhasse o cenário da reciclagem no escopo geral estabelecido pela pesquisa, foram considerados os percentuais gerais consolidados na pesquisa para as diversas origens dos resíduos coletados, ou seja, de todas as empresas que participaram da pesquisa.

Os percentuais de frações produzidas consideram os valores informados pelas empresas respondentes. Os volumes das frações das empresas foram somados, estabelecendo as porcentagens individuais de cada fração.

As frações produzidas foram aglutinadas em grupos de características semelhantes (PCI, metálicos, polímeros/plásticos e vidro), visando simplificar a demonstração dos fluxos. As frações representam a soma dos dados das empresas respondentes.

Os percentuais de destinação dos produtos foram os encontrados na pesquisa e não os valores individualizados das empresas respondentes, por representar uma visão mais abrangente do setor.

Estabeleceram-se como percentuais da destinação dos rejeitos resultantes das etapas de processamento os valores gerais coletados pela pesquisa, abrangendo todo o cenário investigado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo está subdividido em 9 (nove) seções, que conjuntamente atendem os objetivos específicos e geral da pesquisa. Em um primeiro momento (seção 4.1) realiza-se uma descrição do perfil identificado nas empresas convidadas e nas empresas que atenderam à pesquisa, bem como das restrições resultantes. Na seção 4.2 avalia-se a geração dos resíduos, tanto do tipo gerado como da fonte que produziu ou coletou o equipamento/resíduo. A seção 4.3 apresenta e discute os volumes de resíduos coletados. Os produtos e compostos resultantes do processamento são estudados na seção 4.4. A capacidade operacional das empresas é objeto de avaliação na seção 4.5. A seção 4.6 avalia a parcela reciclável e de rejeitos dos REEE. Os resultados da seção 4.7 permitem inferir sobre os aspectos econômicos do negócio. Na seção 4.8 realiza-se uma investigação da destinação dos produtos e rejeitos do processamento. Complementando este capítulo desenvolve-se um estudo do balanço de massa do sistema na seção 4.9.

4.1 Análise do Cenário

Os fatores limitantes da pesquisa são analisados nesta seção. Avaliam-se as características das empresas do setor, o perfil das empresas respondentes e os elementos que compuseram as fronteiras do universo pesquisado.

4.1.1 Perfil de atividade das empresas que lidam com REEE

Os contatos realizados, durante a fase de coleta de dados, mostraram que muitas empresas, principalmente de menor porte, não possuem um eficiente sistema de gestão de seus dados. Nestas empresas as informações estão dispersas nas pessoas que respondem pelas diversas etapas do processo. Questionamentos que envolviam volumes recebidos e processados foram respondidos parcialmente ou não respondidos por algumas organizações, deixando transparecer, nos contatos preliminares, possuírem pouco controle de suas operações. Ainda, algumas empresas não aceitaram responder o questionário, evidenciando, na pré-entrevista, existir informalidade na contabilização de materiais e produtos. A EMPA (2012, p. 17,18), em seu manual sobre metodologia para a pesquisa de REEE, relaciona as organizações que operam na informalidade como *players* dos processos de reciclagem e coleta, podendo ser incluídas no universo da pesquisa.

A realização de contatos prévios, também demonstrou que as empresas de grande porte possuem um sistema de gestão bem organizado. Suas informações são suportadas por softwares empresariais e possuem funcionários com elevado grau de conhecimento dos processos e da legislação sobre REEE. Possuem vínculos contratuais com outras empresas nacionais ou são filiais de outras empresas nacionais ou multinacionais. Em sua maioria estas organizações executam a coleta e centralização dos REEE para posterior envio a outras unidades de reciclagem no Brasil ou exterior. Neste segmento, a atividade para coleta de dados identificou uma preocupação muito grande das empresas com o repasse de informações consideradas confidenciais. Muitos questionários tiveram suas perguntas parcialmente respondidas dadas a esta condição. Nota-se, também, uma preocupação com os possíveis impactos ambientais do processo e para o cumprimento da legislação.

Os fatos citados geraram dificuldades esperadas durante o transcorrer da pesquisa. Tal situação é compreensível, pois é crescente o interesse econômico por este segmento, principalmente se for considerado as estimativas de geração de REEE's para os próximos anos. Desta forma, novas empresas estão ingressando neste mercado competitivo, nem sempre com um adequado sistema de gestão. Depreendeu-se, dos contatos realizados, que muitas destas empresas ingressantes apresentam estrutura deficiente e procedimentos não formais. Estes aspectos, associados a falhas gerenciais e restrições impostas pela administração para o fornecimento de dados considerados sigilosos, limitaram o número de empresas que responderam o questionário.

4.1.2 Perfil das empresas respondentes

As empresas respondentes possuem como atividades base a captação/ descaracterização/ segregação/ desmontagem/ reciclagem/ armazenamento de EEE ou de REEE. Poucas respondentes informam agir sobre o equipamento na remanufatura, ou seja, recuperar ou transformar o equipamento, devolvendo-o a sociedade como material usável e consequente prolongamento de sua vida útil.

A tabela abaixo descreve o número de empresas pesquisadas e a quantidade de respostas obtidas. O quadro apresenta as principais características de operação das respondentes. Pela condição de confidencialidade o nome das empresas que responderam ao questionário não é divulgado, sendo substituídos por letras de A a H.

Tabela 1 – Empresas pesquisadas, empresas respondentes e atividade.

Empresa	Quantidade	Estado	Atividade principal
<i>Questionários enviados</i>			
	46	Diversos	
<i>Questionários respondidos</i>			
A	RS	CaptAÇÃO de resíduos	
B	RS	CaptAÇÃO e desmontagem	
C	SP	ProcessAMENTO dos resíduos	
D	SP	ProcessAMENTO dos resíduos	
E	SP	CaptAÇÃO e desmontagem	
F	SP	ProcessAMENTO dos resíduos	
G	RS	CaptAÇÃO e processAMENTO	
H	SP	CaptAÇÃO e desmontagem	
Total	8		

Fonte: ferramenta questionário elaborada pelo autor

4.2 Fontes e tipos de resíduos

Foram analisados os setores da sociedade que produzem maior quantidade de resíduos e qual o tipo de equipamento é descartado. Os quantitativos informados têm como referência a visão das empresas quando recebem ou coletam o equipamento para posterior armazenamento ou processamento.

4.2.1 Parcela de resíduos gerados por segmento econômico

A partir do Quadro 13 que definiu os grupos da sociedade que fornecem resíduos, a Tabela 2 apresenta o percentual de resíduos recebidos de cada segmento da sociedade listado. O setor da indústria é o que mais disponibiliza material para as empresas processadoras (41,25%) seguido do comércio com 27,5%. Nota-se a pequena participação dos segmentos de governo, exceto do governo municipal com participação de 4,37%. Este percentual mais elevado (governo municipal) pode ser avaliado em conjunto com a opção de resposta “Outros” (1,25%), podendo-se inferir que este percentual maior é devido às empresas receberem equipamentos que foram coletados por ONG’s e de campanhas de conscientização, normalmente no âmbito municipal.

Tabela 2 - Geração de resíduos eletroeletrônicos por segmento da sociedade

Fonte Geradora	Participação (%)
Comércio	27,5
Indústria	41,25
Doméstico	18,75
Universidades particulares	3,13
Universidades públicas	1,88
Governo Federal	0,62
Governo Estadual	0
Governo Municipal	4,37
Não determinado	1,25
Outras origens não listadas	1,25
	100

Fonte: questionário da pesquisa

A participação de cada fonte geradora foi obtida a partir das contribuições percentuais informadas pelas empresas respondentes. Os percentuais individuais de participação para cada fonte geradora foi somado e depois dividido pelo número de participantes que responderam ao questionamento da pesquisa (cinco do Estado de São Paulo e três do Estado do Rio Grande do Sul). A Tabela 3 apresenta a distribuição percentual informada.

Tabela 3 – Contribuição percentual das fontes geradoras nos resíduos coletados

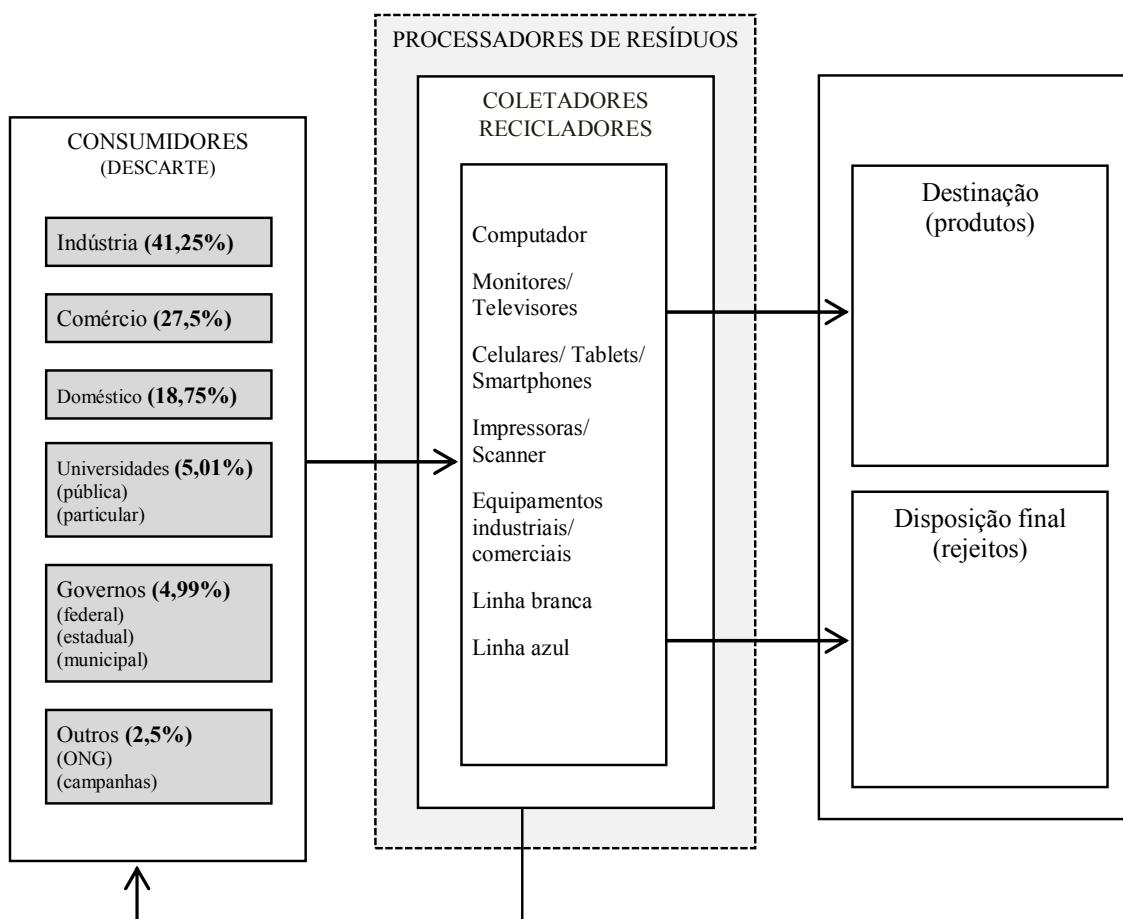
Empresa	Comércio	Indústria	Doméstico	Universidades Particulares	Universidades Públicas	Governo Federal	Governo Estadual	Governo Municipal	Não determinado	Outras origens	%
A	5,00	90,00	5,00	-	-	-	-	-	-	-	100
B	30,00	30,00	30,00	5,00	-	-	-	-	-	5,00	100
C	30,00	40,00	5,00	5,00	10,00	-	-	10,00	-	-	100
D	20,00	60,00	10,00	5,00	-	5,00	-	-	-	-	100
E	-	90,00	-	-	-	-	-	10,00	-	-	100
F	80,00	10,00	-	-	-	-	-	10,00	-	-	100
G	5,00	10,00	60,00	5,00	5,00	-	-	5,00	5,00	5,00	100
H	50,00	-	40,00	5,00	-	-	-	-	5,00	-	100
Participação	27,50	41,25	18,75	3,13	1,88	0,62	0	4,37	1,25	1,25	100

A Figura 10 apresenta a participação de cada segmento da sociedade no total de resíduos coletados pelos processadores. Estes segmentos representam os consumidores de EEE, que após o ciclo de vida dos equipamentos, efetuam o seu descarte.

Os percentuais refletem a visão das oito empresas respondentes da pesquisa sobre a origem dos resíduos recebidos ou coletados pelos processadores (cinco empresas de SP e

três do RS). Os resíduos originados de universidades públicas e privados, bem como de escolas destes setores foram agrupados, compondo o segmento denominado na pesquisa como “universidades”. As organizações governamentais, em suas diversas esferas legislativas, foram agrupadas no segmento denominado “governos”. O segmento “outros” contempla diferentes origens de resíduos informados pelos respondentes, como de campanhas desenvolvidas pela sociedade para o correto descarte ou de organismos não governamentais. Apesar de haver a possibilidade das empresas respondentes identificarem a origem do resíduo, quando assinalada a alternativa “outros”, poucas informaram, inviabilizando um resultado consistente.

Figura 10 – Participação dos setores da sociedade nos resíduos descartados/coletados



4.2.2 Parcota de resíduos gerados por tipo de equipamento

Busca-se conhecer o percentual por tipo de resíduo gerado em cada segmento da sociedade (Quadro 13). A lista dos resíduos/equipamentos é dividida em sete tipos (Quadro

10), com a pretensão de abranger os resíduos pertencentes às categorias três, quatro, seis, nove e dez da Diretiva 2012/19/EU (2012) (Quadro 9). Os resíduos das categorias um e dois da Diretiva 2012/19/EU (2012), são caracterizados como das Linhas Branca e Azul (ABDI, 2013), e englobam as geladeiras, fogões, ar-condicionado, batedeiras, ferro elétrico, cafeteira, aspirador de pó e outros. As alternativas para respostas foram estruturadas buscando obter informações do maior número de categorias, devido ao desconhecimento prévio do tipo de resíduo processado nas empresas pesquisadas. Os equipamentos que compõem cada uma das categorias consideradas na pesquisa são detalhados nos Quadro 10 e Quadro 11.

Tabela 4 - Tipo de resíduo x Fonte Geradora

Resíduo / equipamento (categorias)	Fonte Geradora								%	
	Comércio	Indústria	Doméstico	Univer. particulares	Universidades públicas	Governo Federal	Governo Estadual	Governo Municipal		
Computador/ <i>notebook</i>	26	32	16	16	5	0	0	0	5	100
Monitores/Televisores	18	24	24	14	5	5	0	5	0	100
Celulares/ <i>Tablets/Smartphones</i>	27	32	27	7	0	0	0	0	7	100
Impressoras/ <i>Scanner</i>	25	30	15	15	5	0	0	5	0	100
Equipamentos industriais/comerciais	27	37	5	16	5	5	0	0	5	100
Linha branca	0	0	67	0	0	0	0	17	16	0
Linha azul	0	22	55	0	0	0	0	12	0	11

Fonte: questionário

A investigação buscou conhecer os principais geradores de resíduos, ou seja, a fonte dos recursos de materiais dos processadores, não existindo um parâmetro, claramente definido, para os valores informados, podendo a empresa ter utilizado referências, como: a frequência com que recebeu / coletou determinado tipo de equipamento; a quantidade de equipamento coletado em um período, ou haver, ainda, considerado em sua resposta o volume recebido. Independente do aspecto teórico das respostas, os percentuais relatados representam a sensibilidade das empresas que responderam ao questionário (8) quanto às quantidades manuseadas.

Independentemente do tipo de resíduo é possível constatar na Tabela 4 que o comércio, indústria, universidades particulares e o uso doméstico são as principais fontes dos resíduos recebidos. A indústria aparece como importante fonte de EEE/REEE, com 32% dos computadores, 32% de celulares e 37% de equipamentos descartados por este setor. Com

relação aos resíduos da linha branca e azul identifica-se a significativa participação dos segmentos “domésticos”, “governo municipal” e “outros” (ONG e campanhas), em consonância com a característica destes tipos de resíduos.

4.3 Volume de resíduos coletados/ recebidos

A Tabela 5 apresenta a quantidade, em toneladas/mês de resíduos recebidos para processamento. A primeira coluna lista os resíduos agrupados por tipos de equipamentos. No topo da tabela são apresentadas, em letras maiúsculas, as empresas que responderam ao questionamento, relacionadas anteriormente na Tabela 1.

Tabela 5 - Volume de REEE recebidos para processamento por tipo de equipamento

Empresas	B	C	E	F	G
Grupo de resíduos	toneladas / mês				
Computador/ <i>notebooks</i>	3,83	1,66	4,20	0,52	12,00
Monitores/Televisores	10,42	3,33	16,70	2,02	6,00
Celulares/ <i>Tablets/Smartphones</i>	0,042	0,25	0,83	0,16	1,50
Impressoras/ <i>Scanner</i>	1,83	1,66	18,33	0,26	4,50
Equip. industriais/comerciais	1,25	0,42	41,66	0,24	1,50
Linha branca	0,042	0,25	0	2,00	3,00
Linha azul	0,067	0,042	1,66	1,00	1,50

Fonte: questionário

A empresa B forneceu os dados de processamento em kg/ano. Esta empresa informa processar 25 toneladas/mês de resíduos. A soma dos diversos tipos de resíduos totaliza 17,48 t/mês apresentando razoável coerência nas informações prestadas.

A empresa C informa processar 10 toneladas/mês. As quantidades individuais de resíduos somam 7,612 t/mês, ou 24% de diferença.

A empresa E informa processar 83 toneladas/mês. Os diversos tipos de resíduos processados mensalmente somam 83,38 toneladas, confirmando as informações.

As respostas apresentadas pela empresa G, em cada tipo de resíduo, foram em percentuais do total mensal. Assim, o resultado das frações de resíduos nos diversos grupos confirmou o valor total mensal processado, ou seja, 30 toneladas.

A empresa F apresenta seus resultados em metros cúbicos (m³). Para que se mantivesse a mesma unidade de medida para análise e comparação dos dados, houve a conversão dos valores de m³ para toneladas. Conforme o estudo da UNEP (2012, p. 108) para

o dimensionamento de áreas de armazenamento de resíduos cada tonelada de equipamento descartado ocupa um determinado espaço. O volume ocupado por tonelada de resíduo é apresentado no Quadro 15.

Quadro 15 – Relação entre o volume de resíduo e a massa

Tipo de resíduo	m³/tonelada
Celulares	0,613
Aparelhos telefônicos	2,08
Aparelhos de som	6,502
Computadores	3,851
Monitores	4,952
Periféricos	4,049
TV	6,146

Fonte: UNEP. E-waste. Manual 3. 2012

Os diversos tipos de resíduos foram devidamente ajustados para possibilitar o uso das informações do Quadro 15. As adequações realizadas foram: (i) o grupo de resíduo impressora/scanner foi considerado como resíduo de computador; (ii) monitores e TV participam como resíduo de monitores; (iii) o grupo de resíduos caracterizados como equipamentos industriais/ comerciais foi incluído na categoria dos aparelhos telefônicos. Para os grupos da Linha Branca e Azul a conversão foi de 1 m³ → 1 t.

Assim, os resíduos de computadores recebidos pela empresa F, no período de um mês, apresenta uma média de 2m³. Utilizando-se a tabela: uma tonelada = 3,851 m³, então 2m³ = 0,52 tonelada. A mesma sequência de cálculo foi utilizada para os demais valores informados, com 10 m³ para o grupo “monitores”, 0,1m³ para “celulares”, 1m³ para “impressoras”, 0,5m³ para “equipamentos industriais”, 2 m³ para Linha Branca e 1m³ para Linha Azul. Resultando em 6,2 toneladas/mês, sendo que o total informado pela empresa, processado no mês foi de 20 a 25 toneladas. Considerando a informação do menor valor de resíduos processados a divergência na informação é de 69 %. Este percentual elevado pode ser atribuído à imprecisão na metodologia de conversão utilizada ou nas informações prestadas pela empresa.

Os resultados apresentam-se coerente quando se compara os volumes totais processados, informados pelas empresas, com os dados dos volumes coletados por grupos de resíduos. As cinco empresas que responderam a este questionamento (B, C, E, F, G) processam um total de 168 t/mês, e o resultado encontrado na soma dos volumes dos grupos de resíduos é de 144,68 t/mês (Tabela 6). A diferença entre a soma dos grupos de resíduos pelo total processado pelas empresas resulta percentual inferior a 14% (13,88%). A quantidade de equipamentos recebido/processado mensalmente também apresenta

singularidade entre as empresas, demonstrando operações de porte semelhantes, com faixa em 10 a 30 toneladas/mês excluindo-se a “empresa E”, com valores processados muito superiores às demais. Esta empresa (E) informa valores significativos de processamento em impressoras/scanner e equipamentos industriais quando comparada aos outros respondentes.

Com a soma dos volumes de resíduos recebidos por todas as empresas, em cada grupo de resíduos, constantes da Tabela 5, é possível calcular a representatividade de cada grupo no volume total de material recebido mensalmente.

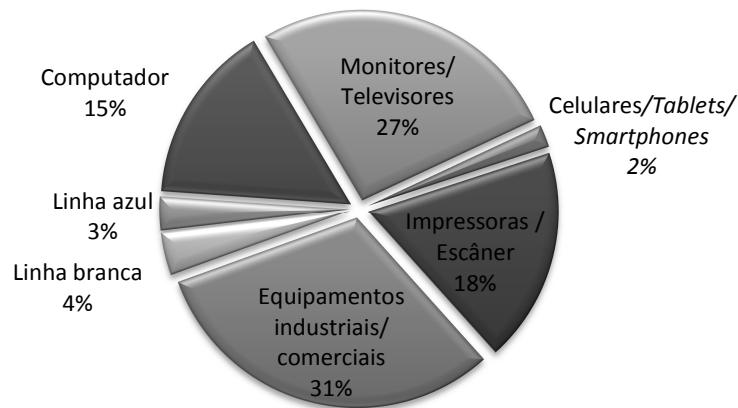
A partir dos dados da Tabela 5, realiza-se a consolidação dos volumes para cada grupo de equipamentos/ resíduos (Tabela 6).

Tabela 6 - Volume mensal consolidado de REEE

Grupo de resíduos	Total (toneladas/mês)
Computador/ <i>notebooks</i>	22,21
Monitores/Televisores	38,47
Celulares/ <i>Tablets/Smartphones</i>	2,78
Impressoras/ <i>Scanner</i>	26,58
Equipamentos industriais/comerciais	45,07
Linha branca	5,29
Linha azul	4,27
Total	144,68

Como o cálculo da participação de cada grupo de resíduo no volume total coletado mensalmente pelas empresas que responderam ao questionamento, estabelecesse os percentuais de participação de cada grupo (Figura 11). Esta informação permite inferir sobre os volumes manipulados pelas empresas processadores nos grupos de resíduos coletados/recebidos. Os Equipamentos industriais/ comerciais representam o maior volume, em toneladas/mês, de resíduo recebido para processamento com 31%. Monitores/televisores também possuem significativa participação (27%). Os volumes da Linha Azul e Branca mostram-se pouco representativos, confirmando as características das empresas processadoras, já descritas, para o negócio de resíduos de equipamentos eletrônicos em detrimento dos equipamentos chamados de eletrodomésticos. Os grupos computadores e impressoras representam parcela de 33% do volume total registrado.

Figura 11 - Participação dos grupos de resíduos no volume mensal coletado

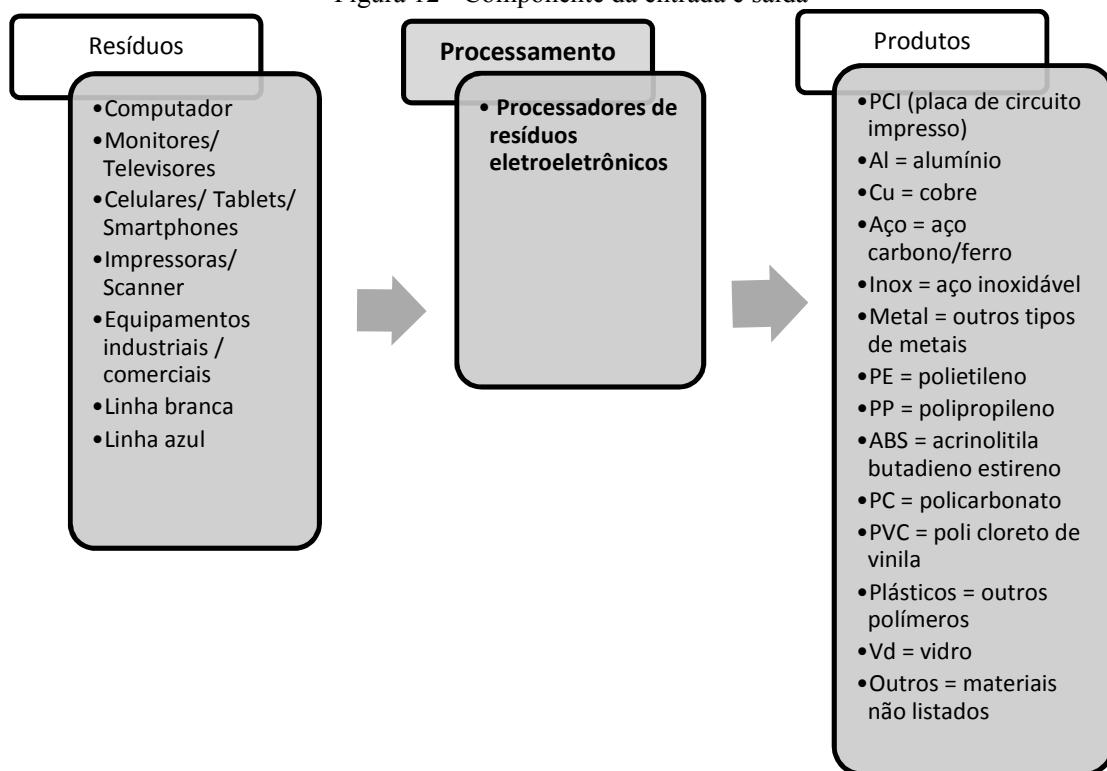


4.4 Frações produzidas dos equipamentos processados

Os materiais que resultaram do processamento foram caracterizados como frações de produtos. A lista dos materiais/ produtos busca contemplar, de forma abrangente, os segmentos dos negócios do setor (Quadro 12).

O elemento da investigação foi conhecer o volume de cada fração de material produzido resultante do processamento, permitindo uma avaliação dos balanços de massa do processo, dos fatores econômicos e destinação dos produtos. O fluxo de entrada e saída encontra-se na Figura 12.

Figura 12 - Componente da entrada e saída



Fonte: autor

A Tabela 7 descreve as informações obtidas sobre os volumes médios produzidos mensalmente. Agrupando os principais tipos de produtos é possível inferir que para a empresa B as PCI representam 59,22% do volume produzido; metálicos (Al, Cu, Aço, Inox e outros) contribuem com 30,85%; materiais poliméricos (PE, PP, ABS, PC, PVC e outros) com 8,87%; vidro com 1,06%. No caso da empresa E os percentuais são de PCI 4,64%; metálicos 75,21%; materiais poliméricos 20,06% e vidro 0,09%.

Tabela 7 - Frações de materiais produzidos (t/mês)

Tipo de produto	Empresa B	Empresa E
	Toneladas/mês	
PCI – placas de circuito impresso	3,34	2,5
Al - alumínio	0,21	5,00
Cu - cobre	0,34	0,50
Aço – aço carbono, ferro	1,00	35,0
Inox – aço inoxidável	0,17	-
Metais (outros metais)	0,02	-
PE - polietileno	-	-
PP - polipropileno	-	-
ABS - acrilonitrila butadieno estireno	-	4,0
PC - policarbonato	-	0,8
PVC = poli cloreto de vinila	-	-
Plástico = outros polímeros	0,50	6,0
Vd - vidro	0,06	0,05
Outros produtos	-	-
Total produzido	5,64	53,85

Comparando-se os percentuais das frações produzidas com o impacto destas mesmas frações no faturamento das empresas (Tabela 13) é possível obter uma visão da relação existente entre a parcela de massa do tipo de produto e a representatividade no faturamento. (Tabela 8).

Tabela 8 - Comparativo da participação no faturamento x volume produzido por fração

Tipo de produto	% de participação no faturamento (% médio) TODAS AS EMPRESAS	% de participação no volume produzido EMPRESA B	% de participação no volume produzido EMPRESA E
PCI – placas de circuito impresso	70,0	59,22	4,64
Al - alumínio	3,30	3,72	9,28
Cu - cobre	1,70	6,03	0,93
Aço – aço carbono, ferro	9,00	17,73	65,00
Inox – aço inoxidável	2,00	3,01	-
Metais	3,30	0,36	-
PE - polietileno	-	-	-
PP - polipropileno	-	-	-
ABS - acrilonitrila butadieno estireno	-	-	7,43
PC - policarbonato	-	-	1,49
PVC = poli cloreto de vinila	-	-	-
Plástico = outros polímeros	5,00	8,87	11,14
Vd - vidro	3,70	1,06	0,09
Outros produtos	2,00	-	-
	100%	100%	100%

Com relação à empresa B é possível identificar similaridade entre os percentuais quando se compara a representação das frações dos produtos no faturamento com a participação no volume produzido. Pode-se inferir que existe uma relação entre o volume de material que circula dentro da organização nas diversas etapas do processamento e a representatividade deste material na composição da receita. Como exemplo, o processamento de PCI (placas de circuito impresso) representa em média 70% do faturamento das empresas. Para a empresa B a participação das PCI no volume total de material produzido corresponde a 59,22%.

Para a empresa E não é possível confirmar a existência de uma relação entre participação no faturamento e volume, dada a grande diferença entre as variáveis analisadas.

Conclui-se que, apesar de haver uma significativa semelhança entre os percentuais analisados para as variáveis na Empresa B, esta condição não se repete na Empresa E, talvez por apresentar uma característica acentuada para o processamento de material ferroso.

4.5 Capacidade instalada e utilizada (capacidade de processar resíduos)

Com as informações sobre a capacidade instalada das empresas e volumes processados, é possível obter uma visão abrangente do porte das organizações do setor (que participaram da pesquisa). Conhecer a capacidade máxima de resíduos que as empresas conseguem processar em determinado tempo e o que efetivamente processam em suas plantas de operação é o objetivo desta seção.

4.5.1 Capacidade instalada para processar resíduos

O setor de reciclagem de EEE/REEE no Brasil opera com empresas das mais diversificadas, desde grandes organizações com abrangência internacional, até empresas que operam na informalidade. Este tema foi amplamente apresentado no capítulo que descreve os procedimentos adotados para estruturação da pesquisa, onde durante a fase de convencimento das empresas em participar da pesquisa, muitas deixaram transparecer não possuir controle sobre a operação e principalmente sobre a contabilização destes montantes. Por outro lado, constatou-se, em conversa com representantes de organizações renomadas no mercado, um elevado grau de formalização dos processos, atendimento a legislação e preocupação com as questões ambientais. Isto permitiu identificar, que, no universo pesquisado, operam diversos modelos de gestão e tamanhos de planta de processamento de resíduos. A Tabela 9 -

Capacidade de processamento lista as empresas que informam possuir estrutura física e de mão de obra para processar resíduos em toneladas/mensais. Também apresenta a informação sobre a quantidade média processada por mês.

Tabela 9 - Capacidade de processamento

Empresa	Capacidade (t/mês)	Processamento (t/mês)
A	20	12
B	30	25
C	250	10
D	250	250
E	150	84
F	100	25
G	100	30

Fonte: ferramenta questionário elaborada pelo autor

Buscando caracterizar os modelos de atuação e o tamanho das plantas de processamento das empresas o Portal de Resíduos Sólidos (2013) descreve três tipos de empresas, em relação à suas atividades.

Usina de reciclagem pequena: se limitam a separar os componentes eletrônicos em partes pequenas e comercializá-los no mercado local. Margem de lucro pequena se comparada aos outros setores. Não necessita de grandes espaços e maquinários, composta por pequeno grupo de pessoas que realizam a separação manual das partes dos componentes eletrônicos.

Usina de reciclagem média: além do processo de separação, também fazem o processamento de materiais, como o uso de extrusoras e trituradoras. Seus clientes são empresas maiores compradoras de resíduos eletrônicos, localizadas em todo o território nacional.

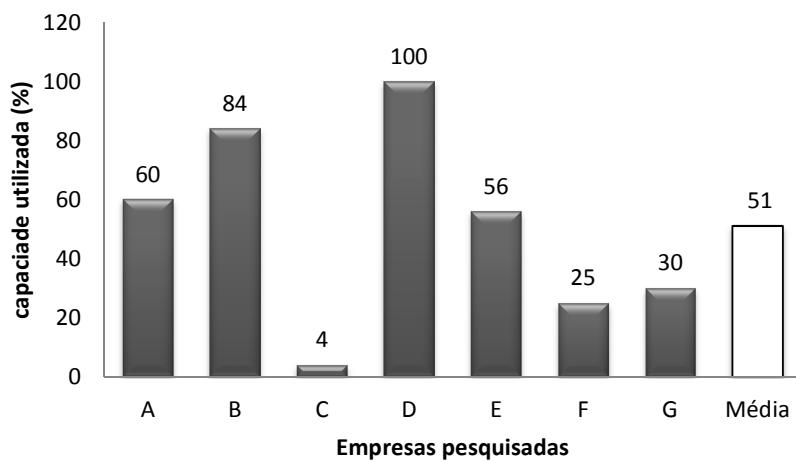
Usina de reciclagem grande: realizam o processo completo de separação e reciclagem dos equipamentos eletrônicos, incluindo processos complexos como técnicas de fundição, pirólise e processamento de dissolução para a obtenção de materiais mais nobres como ouro, prata e cobre. Operam em âmbito internacional fornecendo matéria prima para grandes fabricantes de produtos em todo o planeta.

Pode-se inferir que esta pesquisa abordou todos os níveis de recicladores, sendo a maioria das empresas de médio porte pela classificação apresentada. Também é possível identificar, na leitura da investigação realizada, que uma empresa pode ser enquadrada na categoria pequena e uma na grande.

4.5.2 Capacidade utilizada para processar resíduos

Com as informações individuais das empresas que responderam a pesquisa (Figura 13) calcula-se a capacidade média utilizada de processamento. Desconsiderando os picos superior e inferior de utilização, é possível estimar que as empresas operem com 51% da capacidade de suas plantas. Refazendo o cálculo com as empresas que se situam no limite superior e inferior o valor é de 51,28%, muito próximo do percentual anterior. Ou seja, os processadores de resíduos eletroeletrônicos utilizam, em média, a metade da infraestrutura disponível.

Figura 13 - Capacidade de processamento utilizada



4.6 Parcela reciclável e de rejeitos

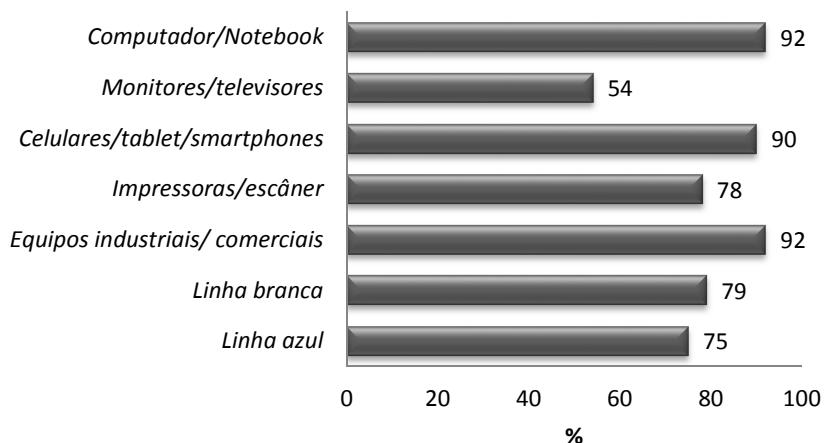
Nesta seção avalia-se o percentual reciclável de determinado equipamento/resíduo e o que resulta em rejeito a ser descartado após o processamento. O cruzamento destas informações possibilita identificar os equipamentos/resíduos que apresentam maior índice de recicabilidade e os percentuais não aproveitáveis, com frações de produtos que sofrerão novos processos ou serão caracterizados como rejeitos e encaminhados para disposição final.

4.6.1 Tipos de resíduos – percentuais processados

A Figura 14 lista os sete grupos de resíduos, estruturada a partir das categorias de REEE (PARLAMENTO EUROPEU, 2012), e fornece o percentual médio reciclável dos equipamentos incluídos em cada grupo. Os resíduos com maior índice de aproveitamento são os grupos dos computadores/notebooks e equipamentos industriais e comerciais com um percentual de reciclagem de 92% respectivamente. O grupo composto por resíduos de celulares, *tablets* e *smartphones* apresenta o segundo melhor percentual com 90%. Os dados demonstram que os resíduos de monitores/televisores, que incluem telas de LCD, plasma, LED e CRT possuem um índice médio de reciclagem de apenas 54%, supondo resultar significativa parcela de rejeitos.

O percentual reciclável de cada grupo de resíduo é formatado a partir da média aritmética simples dos percentuais informados pelas empresas.

Figura 14 - Parcela reciclável



A Tabela 10 apresenta a faixa percentual em que se situa a reciclagem de cada grupo, conforme os dados fornecidos por cada empresa. Com relação ao grupo monitores/televisores identifica-se uma abrangente faixa de reciclagem. Isto pode ser explicado pelas diferentes características das empresas, com foco em diferentes tipos de resíduos e de distintas categorias de serviço. Não havendo informações complementares que permitam inferir sobre a destinação dos rejeitos ou frações não aproveitáveis deste grupo. Os resultados dos grupos da Linha Branca e Azul apontam a faixa de 50% a 95% de reciclagem. Nestes grupos uma empresa informou aproveitar apenas 1% do material. Esta

empresa processa exclusivamente resíduos da categoria 1 e 2 e sua resposta contemplou a fração aproveitável para seu negócio.

Tabela 10 - Faixa reciclável dos resíduos

Grupo de resíduos	Faixa reciclável (%)
Computador/ <i>notebooks</i>	80 a 100%
Monitores/televisores	15 a 100%
Celulares/ <i>tablets/smartphones</i>	80 a 100%
Impressoras/escâner	50 a 100%
Equipamentos industriais/comerciais	80 a 100%
Linha branca	50 a 95%
Linha azul	50 a 95%

Segundo o estudo de Rocha *et al.* (2009) a obtenção de elevadas taxas de reciclagem de REEE exigem que os programas de coleta e tecnologias para processamentos dos resíduos estejam em um nível de amadurecimento adequado. Considerando como percentuais adequados para o atual estágio da reciclagem no Brasil taxas de 75% para equipamentos de grande porte (Linha Branca e Azul) e de 65% para os de pequeno porte (grupos dos computadores, monitores, celulares, impressoras, equipamentos industriais e comerciais). A comparação destas taxas com os dados da pesquisa encontram similaridade nos grupos de equipamentos da Linha Branca e Azul, valores na faixa de 75%. Para os grupos de equipamentos considerados de pequeno porte a pesquisa apresenta índices de recicabilidade bem superiores, com exceção do grupo “monitores/TV”.

A UNEP (jul 2009, p. 12) relata que as taxas de reciclagem dependem da eficiência de cada etapa e de como cada interface é gerenciada, citando um exemplo para determinado tipo de equipamentos: os processos de desmontagem apresentam uma eficiência de 70% e de forma otimista a recuperação de material deste equipamento é de 95%, o que resulta em 66,5% de produto, se for considerado como início da cadeia a recepção dos resíduos pelas empresas.

Pode-se inferir que os dados coletados apresentam consistência, pois as respostas consideraram, exclusivamente, os processos realizados dentro das empresas e não a produtividade da cadeia de reciclagem.

4.6.2 Rejeitos pós-processamento dos resíduos

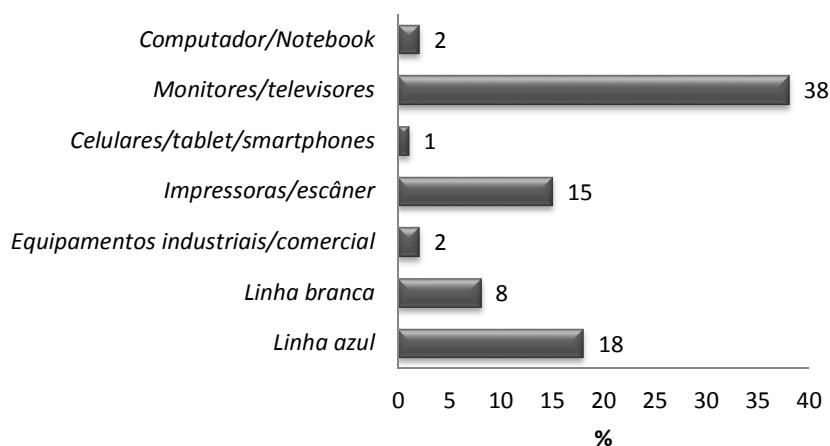
O percentual das frações rejeitadas dos equipamentos processados está vinculado a diversos fatores, como: o grupo/categoria a qual pertence o resíduo, o nicho de negócio da empresa, quase sempre estruturada para determinados tipos de resíduos e a própria qualidade dos processos de desmontagem e segmentação.

A Figura 15 apresenta o percentual médio rejeitado pelas empresas para os grupos de resíduos listados.

O índice de rejeitos do grupo dos computadores/notebooks é extremamente baixo. Praticamente todo o resíduo deste grupo é processado. A pesquisa identificou que 80% das empresas informam que a fração rejeitada deste tipo de resíduo se situa entre zero e dois por cento. Outros grupos, como dos celulares e equipamentos industriais também apresentam um alto índice de processamento, apresentando valores de frações rejeitadas entre um e dois por cento.

O grupo monitores/televisores apresenta o maior índice de rejeitos gerados, ou seja, o material descartado será destinado para um novo tipo de tratamento ou para disposição final. Sessenta por cento das empresas pesquisadas informam que entre 50% e 70% do material não é processado. O percentual de 38% do grupo monitores/televisores, apresentado na Figura 15 representa a média aritmética dos percentuais de rejeitos do conjunto de empresas pesquisadas.

Figura 15 - Fração rejeitada após processamento



Com o cruzamento das informações da Figura 15 com os dados do potencial reciclável de cada grupo de resíduos apresentado na Figura 14 identifica-se que:

- Os valores apresentam coerência entre o que é processado e o que é descartado em cada grupo;
- A diferença entre o percentual reciclável e descartado no grupo monitores/televisores deveu-se a uma empresa informar reciclar cem por cento dos equipamentos deste grupo, ou seja, não existe geração de rejeitos no processo. A empresa tem como foco principal de atuação a coleta de material para posterior destinação a empresas especializadas. Não considerando a informação desta empresa no cálculo, haja vista que o objetivo é conhecer o que é rejeitado da etapa de processamento, o que não ocorre neste caso, o percentual de rejeitos para o grupo monitores/televisores situa-se em 48%, estabelecendo similaridade com as informações dos índices de reciclagem.

4.7 Processo produtivo das empresas

Conhecer os aspectos do negócio “reciclagem de REEE” é o objetivo de análise nesta seção. Avaliam-se como as empresas que processam os resíduos estabelecem a negociação comercial com outros recicladores, organismos públicos, coletores, organizações que desenvolvem campanhas de coleta e com os próprios consumidores que adquirem equipamentos e depois descartam. Os valores monetários de comercialização aplicados nesta etapa do fluxo de reciclagem dos REEE também são analisados. Busca-se uma visão abrangente dos custos e preços envolvidos em toda a cadeia produtiva, desde a negociação para coleta e recebimento dos resíduos gerados pela sociedade, passando pelos custos internos das empresas para realizar o processamento dos resíduos, até o preço referência de mercado utilizado nas frações resultantes do processamento. Concluindo com uma análise da participação de cada tipo de resíduo e dos produtos resultantes no faturamento das empresas.

4.7.1 Coleta – custos de aquisição

Estabeleceram-se três alternativas de respostas sobre como são realizadas as transações comerciais para aquisição de resíduos pelas empresas. As opções disponibilizadas foram: a possibilidade de pagar por porção de resíduo recebido na empresa, de cobrar para receber/coletar o material e não haver pagamento na transação comercial. Foram coletadas

informações para cada grupo de resíduos listados, conforme detalhamento apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Forma de negociação para os grupos de resíduos

Grupo de resíduos	Compra ou paga pelo resíduo (%)	Cobra para receber/recolher o resíduo (%)	Movimentações sem custo (%)
Computador/ <i>notebook</i>	0	50	50
Monitores/Televisores	0	75	25
Celulares/ <i>Tablets/Smartphones</i>	0	75	25
Impressoras/ <i>Scanner</i>	0	62,5	37,5
Equipamentos industriais/comerciais	0	62,5	37,5
Linha branca	0	83	17
Linha azul	0	86	14

Fonte: ferramenta questionário elaborada pelo autor

Nenhuma empresa pesquisada informa comprar resíduos, ou seja, pagar pela unidade de resíduo recebido ou coletado. O trânsito do material sem custo, quando a empresa não cobra para receber o resíduo é usual no grupo dos computadores/notebooks e corresponde a 50% do fluxo. As transações que ocorrem nos grupos da Linha branca e Linha azul são as que apresentam os menores índices de negociação sem contrapartida financeira.

A Figura 16 apresenta uma visão geral da distribuição percentual do tipo de negociação que ocorre entre a empresa e os demais setores envolvidos no descarte, coleta e transporte de resíduos. Pode-se inferir que mais de 71% das movimentações de resíduos ocorrem com a cobrança de valores. Entende-se por “cobrar para receber ou coletar” a ação da empresa em se deslocar até pontos de descarte (domicílios, empresas, pontos de coleta) e negociar preço para remoção. Também quando o resíduo é recebido na empresa, antecedido de contrato ou negociação para realizar o processamento ou destinação final. “Operação sem custos” caracteriza-se como o fluxo de resíduos entre a sociedade e a empresa sem envolver pagamento. Ocorre nos casos de campanhas privadas ou públicas de coleta, na entrega de resíduos por consumidores ou coletas e entregas realizadas por organismos envolvidos em questões ambientais e sociais. A alternativa de “pagar pelos resíduos” diz respeito à empresa que processa resíduos pagar pelo material recebido. Houve o entendimento que empresas poderiam comprar determinado tipo de resíduo, como forma de captar material de seu interesse ou restrito no mercado. Tal visão não se confirmou. Nenhuma empresa informou pagar pelos resíduos em qualquer grupo/categoria.

Figura 16 - Modelo de negócio com resíduos eletroeletrônicos



4.7.2 Valor médio cobrado por tipo de resíduo recebido

O Quadro 16 descreve os valores informados pelas empresas processadoras de resíduos e que são utilizados como referência nas negociações que envolvem o comércio destes materiais. A investigação demonstrou que independente do grupo de resíduos os valores negociados, por quilo de resíduo, sofrem pequena variação. A pesquisa coletou apenas oito respostas para este questionamento, inviabilizando uma avaliação consistente. Os dados tabulados são apresentados abaixo e servem de parâmetro para as demais análises do fluxo de reciclagem. O valor médio dos resíduos é de R\$ 2,13 por quilo comercializado. Empresas que informaram diferentes valores para os grupos de resíduos são citadas mais de uma vez.

Quadro 16 - Preço referência para quilo de REEE comercializado

Empresa	Valores de comercialização de resíduos
	R\$ / kg (base jul/14)
C	0,50
G	1,05
C	1,25
G	1,90
B	3,00
A	3,50
A	3,70
Média = R\$ 2,13/ kg	

Blaser (2012, p. 26) em seu estudo “*Economic Feasibility Study for e-Waste Recyclin in Tanzania*” descreve um cenário onde apresenta uma tabela com os preços de

compra de REEE, separando os resíduos com origem em organizações oficiais e com origem no mercado informal. O valor médio resultante da compra ou coleta em empresas ou instituições formais é de U\$ 0,871 e do setor informal de U\$ 0,674. Convertendo estes valores para reais (R\$ 2,29, cotação de 11 de setembro de 2014), encontramos respectivamente R\$ 1,99 e R\$ 1,54. Apesar das características distintas das duas pesquisas, com cenários econômicos diferentes, diferenças temporais e de metodologia o resultado do valor médio utilizado para comercialização de resíduos no Brasil, investigado neste estudo, apresenta consistência.

4.7.3 Custo de processamento por tipo de resíduo

A investigação buscou conhecer os custos para processamento dos resíduos, e assim, avaliar aspectos sobre a viabilidade econômica do setor e de sua lucratividade.

O questionamento formulado não permitiu que os custos fossem segmentados, limitando as respostas ao custo médio para processar cada grupo de resíduos listados.

Na composição do custo para processar resíduos vários elementos são considerados, e estão vinculados às características operacionais de cada empresa. Fator determinante da lucratividade é a capacidade de processamento com a garantia de volume mínimo de material em determinada unidade de tempo, o que estabelece uma melhor distribuição do trabalho com consequente ganho de produtividade. Os custos de processamento também estão vinculados ao preço de comercialização dos produtos, principalmente dos considerados commodities, como as PCI e metais (BLASER e SCHLUEP, 2012). O correto dimensionamento e conhecimento destes fatores econômicos estabelece o ponto de equilíbrio entre os custos operacionais e o faturamento.

Blaser (2012) identifica em seu estudo os seguintes processos para composição dos custos:

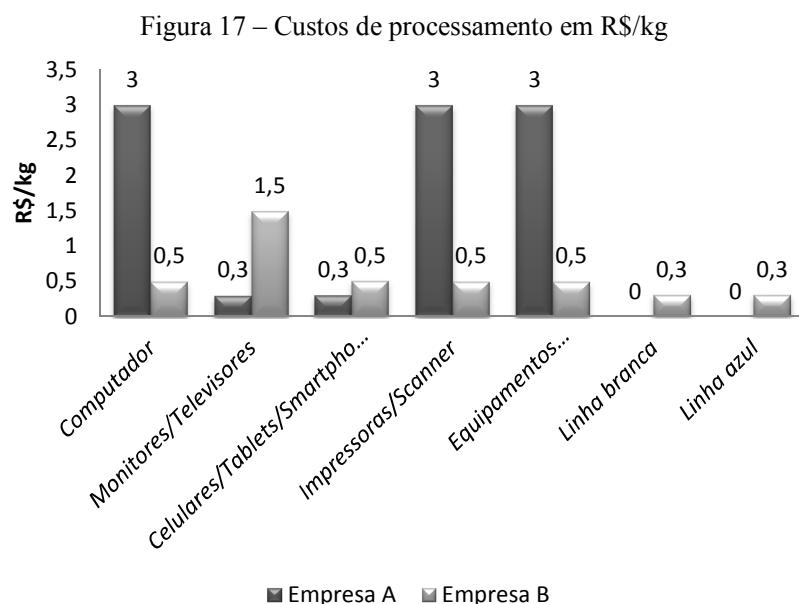
- Desmantelamento/desmontagem – mão de obra própria e temporária;
- Transporte – na coleta e na destinação;
- Custos do processo – manutenção, disposição final, cuidados e tratamento de produtos perigosos;
- Administração – gestão e aluguéis.

O mesmo estudo conclui que um sistema de reciclagem é lucrativo e se sustenta quando processa de 200 a 300 toneladas/ano, apresentando a seguinte distribuição do custo total:

34,6 % administração;
 28,9% custos de coleta;
 24% custo do processo para tratamento e controle dos resíduos e disposição;
 12,5% mão de obra.

O estudo não permite uma avaliação precisa da formação dos custos, podendo-se depreender das informações gráficas disponibilizadas que para processar 100 toneladas/ano de material existem custos da ordem dos 80.000 dólares. A divisão destes montantes possibilita estabelecer em 0,80 dólares o custo do quilo de resíduo processado. A conversão deste valor em reais pela cotação do dia 26/09/2014 resulta em R\$ 1,93/kg.

A comparação do custo para processamento de um quilo de resíduos apresentada por Blaser (2012) é muito próxima do custo médio para processamento de todos os grupos de resíduos da Empresa A, coletados nesta pesquisa, que se situa em R\$ 1,92. Para a Empresa B o custo médio é de R\$ 0,59 por quilo de resíduo, valor que não apresenta relação entre as pesquisas. O custo médio, considerando as empresas que responderam ao questionamento, conforme Figura 17 é de R\$ 1,14.



4.7.4 Valor/preço de comercialização por produto/material

Os aspectos de confidencialidade limitaram as informações sobre os preços de comercialização dos produtos resultantes do processamento. Conforme mencionado no capítulo sobre a metodologia utilizada na pesquisa, nos primeiros contatos realizados as empresas manifestavam dificuldades em disponibilizar informações consideradas estratégicas ou de cunho comercial. É de se supor, visão já detalhada nos procedimentos realizados para a obtenção dos dados, que além da preocupação concorrencial muitas das empresas que participaram da pesquisa são representadas ou filiais de organizações maiores, não possuindo acesso aos valores de comercialização. Outro fator a considerar é que algumas empresas operam na coleta, desmontagem e descaracterização dos resíduos não realizando o processo completo de fragmentação/segmentação, enviando a outras empresas os equipamentos parcialmente desmontados. Apenas duas organizações se dispuseram a fornecer dados sobre o preço de comercialização de seus produtos, listados no Quadro 17 em reais por quilo. É possível inferir que os valores apresentados, podem, com cautela, representar o que é praticado no mercado já que existe coerência entre os números das duas empresas.

Quadro 17 - Preço de comercialização das frações resultantes do processamento

Tipo de produto	Empresa B (R\$/kg)	Empresa C (R\$/kg)
PCI – placas de circuito impresso	2,50	5,00
Al - alumínio	2,50	2,00
Cu - cobre	12,00	12,00
Aço – aço carbono, ferro	0,20	0,30
Inox – aço inoxidável	3,00	5,00
Metais	-	-
PE - polietileno	-	-
PP - polipropileno	-	-
ABS - acrilonitrila butadieno estireno	0,50	-
PC - policarbonato	-	-
PVC = poli cloreto de vinila	-	-
Plástico = outros polímeros	0,20	-
Vd - vidro	-	-
Outros produtos	-	-

4.7.5 Tipos de resíduos – representatividade no faturamento

Com as informações da Tabela 12 torna-se possível investigar a contribuição que cada grupo de resíduos tem na composição do faturamento das empresas. Os dados permitem conhecer os equipamentos descartados pela sociedade que apresentam maior valor agregado e consequente interesse das empresas.

Com relação ao grupo “computadores/notebooks” a representatividade no faturamento situa-se na faixa de 30% a 70%, com uma média ponderada de 41% de participação deste grupo de resíduos no resultado financeiro da empresa. O grupo monitores/televisores, que engloba os tubos de CRT, LCD, LED e plasma impacta em média 17% no faturamento. Celulares/tablets/smartphones possuem pequena participação, com média de 6%. Impressoras/scanner com 7%. O grupo de resíduos com origem na indústria/comércio apresenta uma participação um pouco maior no faturamento das empresas com média de 24%. Resíduos da Linha Branca e Azul, que incluem geladeiras, fogões, micro-ondas, furadeiras, batedeiras, etc. possuem participação inferior a 3%.

Tabela 12 - Participação dos tipos de resíduos no faturamento

Grupo de resíduos	(% médio)
Computador/notebooks	41
Monitores/Televisores	17
Celulares/Tablets/Smartphones	6
Impressoras/Scanner	7
Equipamentos industriais/comerciais	24
Linha branca	3
Linha azul	2

Os percentuais de participação de cada grupo de resíduos foram ajustados para compor o total do faturamento, já que algumas empresas informaram percentual superior ou inferior a cem por cento.

4.7.6 Produto/frações – participação no faturamento

Avaliar como os produtos resultantes dos processamentos se distribuem no faturamento das empresas é objeto de avaliação nesta seção. A partir de uma lista de produtos, ou seja, das frações resultantes do processamento (fragmentos de PCI - placas de circuito impresso, metais, plásticos, vidro e outros materiais) busca-se conhecer como é construído o

resultado financeiro da empresa. As informações da Tabela 13 lista a participação percentual média de cada produto no faturamento das empresas.

Tabela 13 - Lista de produtos e participação no faturamento

Tipo de produto	Percentual de participação (% médio)
PCI – placas de circuito impresso	70,0
Al - alumínio	3,3
Cu - cobre	1,7
Aço – aço-carbono, ferro	9,0
Inox – aço inoxidável	2,0
Metais (outros metais)	3,3
PE - polietileno	0
PP - polipropileno	0
ABS - acrilonitrila butadieno estireno	0
PC - policarbonato	0
PVC = poli cloreto de vinila	0
Plástico = outros polímeros	5,0
Vd - vidro	3,7
Outros produtos	2,0

O valor médio de participação do produto é obtido com a soma dos percentuais informados dividido pelo número de respondentes. Como exemplo, as respostas para o produto PCI situaram-se na faixa de 60 a 80%, três empresas participaram com respostas, sendo calculada a média 70% como a influência deste tipo de material no faturamento das empresas. Não houve por parte dos respondentes a identificação de itens para a opção “outros produtos” que representou 2% de participação.

Conforme mencionado, o produto PCI representa 70% do faturamento, sendo o percentual restante distribuído entre outros produtos. A segunda maior participação é representada pelo produto aço (aço-carbono, ferro) com 9%. Adicionando a este percentual os itens “alumínio”, “cobre”, “aço inoxidável” e “metais (outros metais)”, com 3,3; 1,7; 2 e 3,3% respectivamente, podemos considerar que os materiais metálicos participam com 19,3% no faturamento. Polímeros específicos não apresentaram participação e outros polímeros não identificados representaram 5%. A Tabela 14 apresenta os percentuais consolidados dos principais produtos e seu impacto no resultado financeiro das empresas.

Tabela 14 - Lista de produtos consolidada e participação no faturamento

Tipo de produto	Percentual de participação no faturamento (% médio)
PCI – placas de circuito impresso	70,00
Materiais Metálicos	19,30
Materiais Poliméricos	5,00
Outros produtos	5,70

Estes percentuais encontram referência no estudo realizado por Blaser (2012), citando que alguns produtos são cruciais para o lucro das empresas, como as PCI, o cobre e ferro, que em conjunto representam 90% do faturamento. O autor também comenta a importância da existência de lotes mínimos para comercialização de PCI e que tal material representa, sozinho, 60% do faturamento das empresas. Os percentuais das pesquisas apresentam similaridade.

4.8 Destinação dos produtos e rejeitos

Os processamentos realizados resultam em materiais ou produtos passíveis de comercialização. Porém, também produz uma quantidade de materiais não aproveitáveis, considerados como rejeitos do processo. Estes materiais - produtos e rejeitos - possuem destinação específica. Esta seção analisa o fluxo de encaminhamento destes materiais e os percentuais de participação. Também se discute as atividades de conserto e remanufatura dos resíduos para posterior venda.

4.8.1 Destino das frações/produtos resultantes do processamento

O processamento dos resíduos resulta em uma extensa gama de produtos, com características e composição que depende dos insumos utilizados e dos objetivos de cada empresa. Conforme já mencionado muitas apenas realizam a desmontagem e descaracterização dos resíduos, não utilizando processos adicionais para fragmentação ou segmentação de frações específicas. Agindo como concentradoras dos resíduos coletados com origem diretamente da sociedade ou de empresas associadas/ vinculadas.

A Tabela 15 descreve a lista das frações de produtos resultantes dos processamentos e qual a destinação final. São apresentados 13 tipos de frações produzidas e são listados três destinos. Foram oferecidas aos respondentes outras opções de destinos, não havendo a escolha.

Os percentuais obtidos representam a participação de cada produto no total dos destinos informados pelos respondentes, não possuindo relação com a quantidade/volume de material movimentado.

O produto PCI – placa de circuito impresso possui como destinos recicladores fora do Brasil no percentual de 78%. Caracterizando-se, dentro da lista de frações oferecida, como o mais exportado.

Alumínio e vidro são 100% processados dentro do Brasil não ocorrendo exportação. Outros produtos metálicos como: ferro, aço inoxidável, cobre e outros metais apresentam um alto índice de reciclagem dentro do Brasil, com exportação inferior a 10%.

As frações de polímeros também possuem elevado índice de reciclagem no país, com um resultado um pouco inferior aos metálicos. São aplicados e manufaturados, em nível nacional, 82,5% dos produtos/frações que resultaram das etapas de processamento.

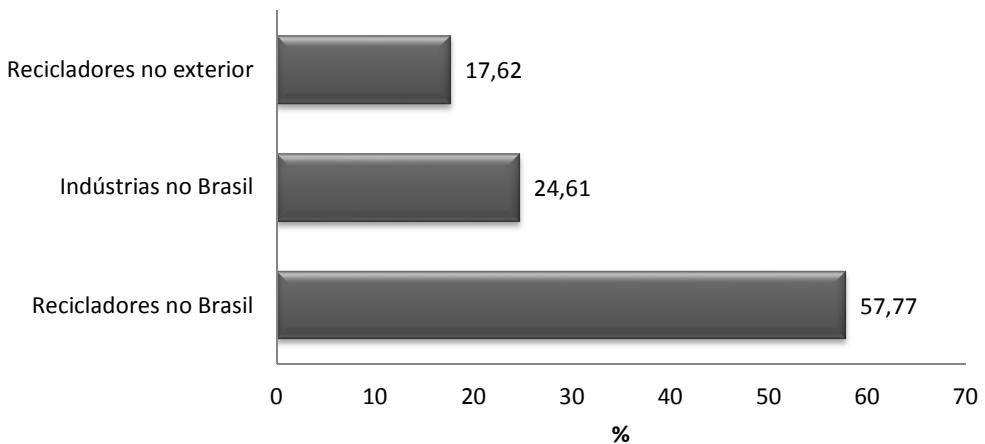
Tabela 15 - Destinação das frações resultantes do processamento

Tipo de produto	Recicladores no Brasil	Recicladores no exterior	Indústrias no Brasil	% Destino (%)
PCI – placas de circuito impresso	11	78	11	100
Al - alumínio	80	0	20	100
Cu - cobre	70	10	20	100
Aço – aço carbono, ferro	66	11	23	100
Inox – aço inoxidável	66	11	23	100
Metais (outros metais)	72	14	14	100
PE - polietileno	50	17	33	100
PP - polipropileno	50	17	33	100
ABS - acrilonitrila butadieno estireno	43	14	43	100
PC - policarbonato	60	20	20	100
PVC = poli cloreto de vinila	60	20	20	100
Plástico = outros polímeros	66	17	17	100
Vd - vidro	57	0	43	100

Em uma visão global dos produtos resultantes, pode-se estimar que 82,38% do material são negociados com outros recicladores ou tem sua destinação final no país. A proporção do material exportado é de 17,62% (Figura 18).

A Figura 18 apresenta a média de destinação considerando todas as frações listadas. Os percentuais representam a visão dos respondentes do destino seguinte, ou do fluxo do negócio para o material comercializável. Não existindo comprovada relação com a massa de material transitado, podendo-se, entretanto, pressupor possível relação entre as informações.

Figura 18 - Destinação dos produtos resultantes

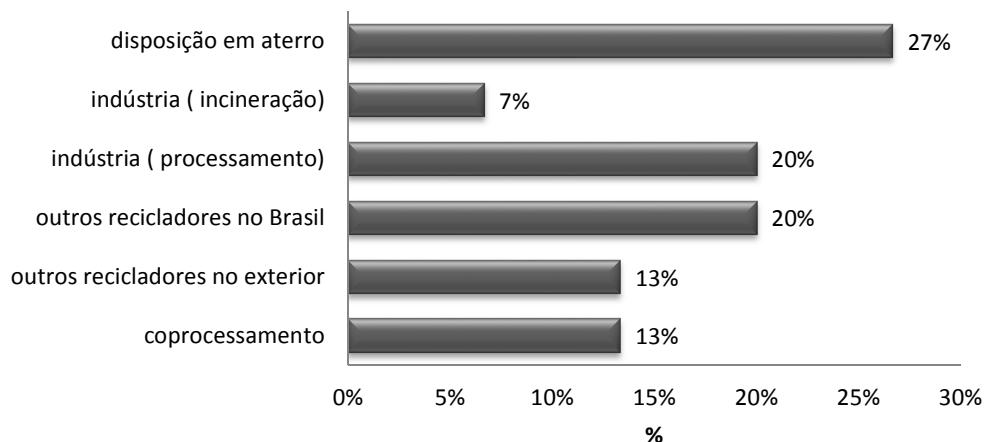


Fonte: questionário elaborado pelo autor da pesquisa

4.8.2 Destino dos rejeitos do processamento

O parâmetro investigado foi conhecer a destino do material caracterizado como não aproveitável (rejeito), após todas as etapas de trato dos REEE realizados pelas empresas processadoras que responderam a pesquisa. A formulação da pergunta não possibilitou identificar se o coprocessamento dos materiais tidos como rejeitos ocorre dentro do país ou é enviado para o exterior. Também não é possível estabelecer se o procedimento de incineração resulta em geração de energia. Uma das alternativas de resposta buscava conhecer se os rejeitos seriam aproveitados ou processados na própria empresa, porém nenhuma empresa manifestou realizar este procedimento. A Figura 19 apresenta os resultados, com a distribuição percentual das alternativas de destinação final informada.

Figura 19 - Destinação dos rejeitos



Fonte: empresas processadoras de resíduos que responderam a pesquisa

4.8.3 Destinação – remanufatura e revenda

A recuperação de equipamentos para posterior revenda e reuso é uma prática dentre as atividades do setor de REEE. A reutilização de equipamentos prolonga a vida útil do bem, minimizando a geração de resíduos e consequentes impactos ambientais.

As empresas que operam neste segmento avaliam se existe demanda para determinados tipos de equipamentos, buscam no mercado estes equipamentos que após a recuperação e descaracterização são novamente vendidos.

Além de uma avaliação econômica, a ser realizada pelas empresas, o reuso de equipamentos apresenta aspectos a serem considerados, como: a garantia da eliminação de informações em memórias e discos rígidos, a baixa eficiência dos equipamentos antigos e a destinação final deste material.

A prática de recuperação de equipamentos não apresenta unanimidade entre as empresas como atividade lucrativa e ambientalmente correta.

O questionamento apresentado na pesquisa diz respeito ao reaproveitamento de equipamentos para posterior retorno ao mercado, ou seja, a empresa recolhe, recupera e descaracteriza o equipamento deixando-o novamente operacional, sendo vendido ao mercado de usados.

O Quadro 18 apresenta um conjunto de informações prestadas pelos respondentes sobre seus procedimentos quanto ao reaproveitamento/recuperação de REEE. As empresas que relataram negociar equipamentos para reutilização operam no mercado como cooperativa e gestora de resíduos.

Quadro 18 - Reaproveitamento ou recuperação de REEE pelas empresas

Empresa	Respostas das empresas
A	Não realiza a atividade de recuperação.
B	Nenhum equipamento é reaproveitado.
C	Sim, normalmente monitores LCD, notebooks e CPU,s.
D	Sim, principalmente computadores.
E	Nenhum item é testado. Tudo é tratado como resíduo a fim de eliminar o passivo ambiental
F	Somos contrários ao repasse de quaisquer produtos a terceiros.

O estudo demonstra que 67 % dos respondentes informam não realizar a recuperação de equipamentos eletroeletrônicos recolhidos/recebidos, e 33 % das empresas relatam realizar procedimentos de seleção e recuperação de equipamentos que possuam interesse no mercado de “segunda mão” (Figura 20).

Figura 20 - Distribuição percentual das empresas com procedimentos de recuperação de REEE
(empresas processadoras que responderam a pesquisa)



4.9 Análise do fluxo dos resíduos

Nesta seção é realizada uma análise do fluxo dos resíduos com o uso da metodologia de fluxo de massa (EMPA, 2012). Os conceitos, parâmetros e premissas aplicadas são apresentados na seção 2.4. Conclui-se com a discussão dos resultados sobre a base de dados da pesquisa. Como premissa limita-se o fluxo do estudo aos atores diretamente relacionados aos processos que antecedem a chegada/coleta de resíduos aos processadores de resíduos e o fluxo posterior a estes, de destinação dos produtos.

4.9.1 Processos, sistemas e variáveis do fluxo

A Figura 21 apresenta os sistemas, as variáveis e os fluxos dentro de um cenário padrão para cálculo dos volumes de materiais transitados no processo de reciclagem. Os sistemas contemplam as etapas do processamento e são definidas como: consumidores, processadores de resíduos e destinação. As variáveis representam as origens dos resíduos na sociedade, os produtos que resultam do processamento e da destinação dos produtos e rejeitos. Os fluxos definem o caminho percorrido pelos materiais/ equipamentos em todos os sistemas.

O grupo dos consumidores representa os setores da sociedade, selecionados na pesquisa, que descartam equipamentos eletroeletrônicos, por defeito, obsolescência ou fim da vida útil.

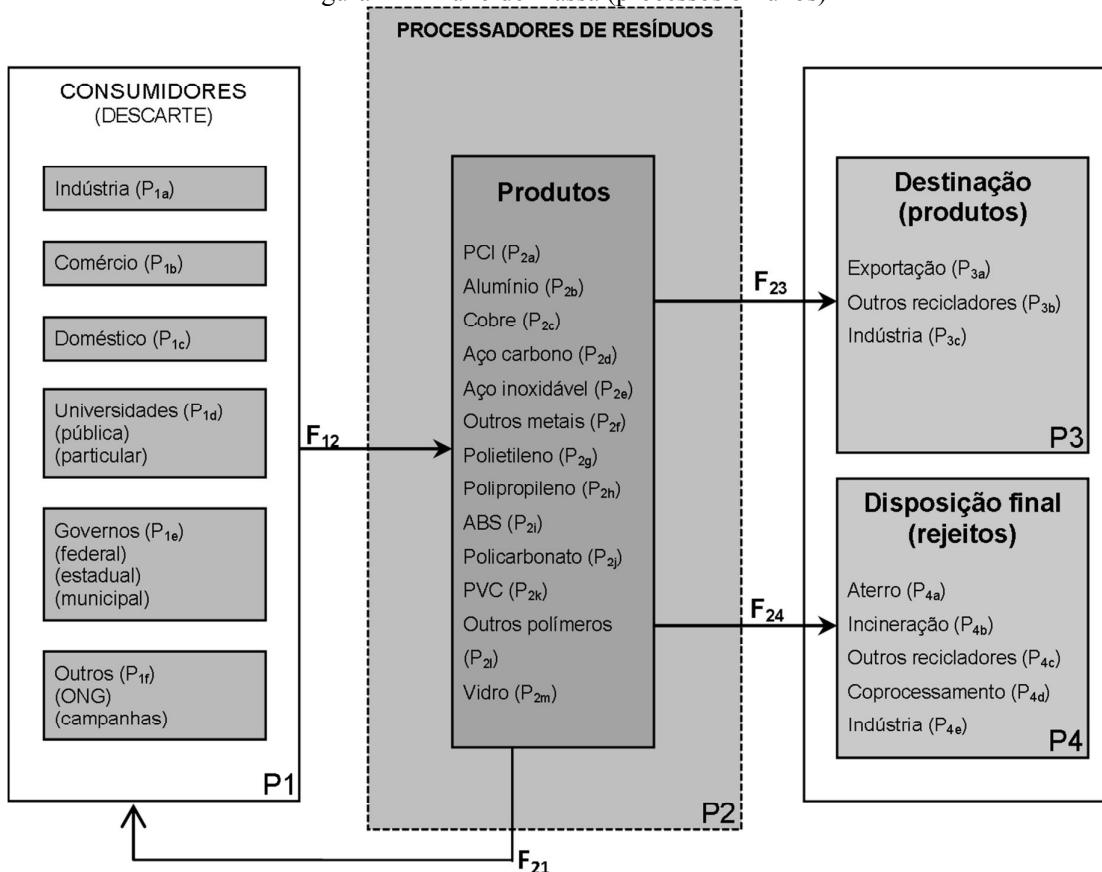
Os processadores de resíduos representam as empresas que realizam a descaracterização, desmontagem, reparo, armazenamento parcial, classificação, segmentação, separação e todas demais atividades, que para efeito desta pesquisa, caracterizam-se como atividades de reciclagem.

O grupo da destinação inclui os fluxos para entrega dos produtos processados e envio dos rejeitos para disposição final ou tratamento em processos a frente.

Poucas empresas informam realizar procedimentos de recuperação ou reaproveitamento de peças ou equipamentos para posterior inserção no mercado de produtos de segunda mão (Quadro 18), assim, para efeitos de cálculos é considerado como nulo o fluxo F_{21} .

As variáveis de processos e fluxos foram apresentadas nas seções anteriores.

Figura 21 - Fluxo de massa (processos e fluxos)



4.9.2 Quantificação dos resultados

Para o cálculo do fluxo de massa foram consideradas as empresas processadoras, que responderam a pesquisa com informações completas sobre os volumes coletados/recebidos e produzidos ou descartados. As empresas B e E atenderam a esta condição.

A Tabela 16 apresenta os volumes de resíduos e produtos que consistiram na base de informações para o cálculo do fluxo de massa.

A coluna da esquerda contempla os “grupos de resíduos” definidos pela pesquisa, e sintetiza o rol de equipamentos passíveis de descarte (Quadro 10). Os volumes, em toneladas/mês, são totalizados ao final da tabela e importa em 100,86 t/mês.

As colunas à direita apresentam os volumes produzidos em suas diversas frações de produtos identificados e listados pela pesquisa. O volume total produzido informado pelas empresas respondentes é de 59,49 toneladas/mês.

Tabela 16 - Fluxo de massa (volumes considerados)

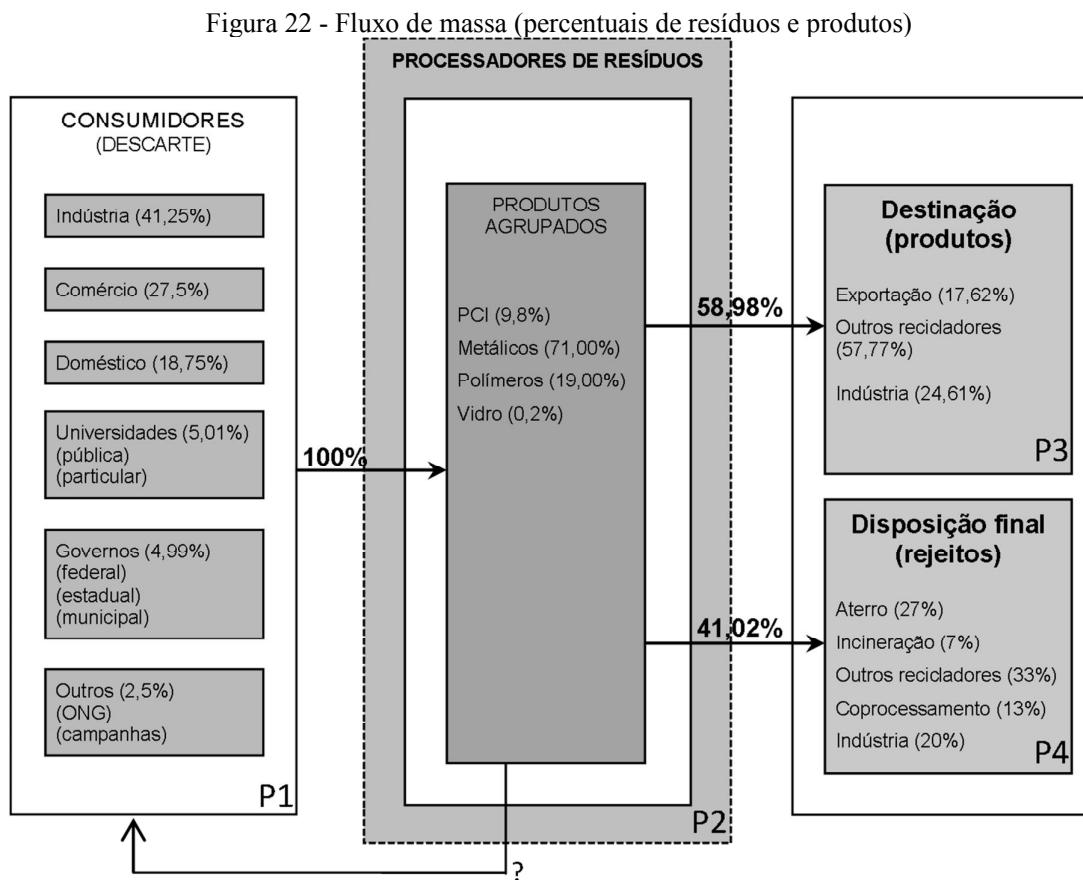
Grupo de resíduos	Empresa B		Empresa E	
	Toneladas/mês		Toneladas/mês	
Computador	3,83	4,20	PCI – placas de circuito impresso	3,34 2,5
Monitores/Televisores	10,42	16,70	Al - alumínio	0,21 5,00
Celulares/ Tablets/ <i>Smartphones</i>	0,042	0,83	Cu - cobre	0,34 0,50
Impressoras/ Scanner	1,83	18,33	Aço – aço carbono, ferro	1,00 35,0
Equipamentos industriais/comerciais	1,25	41,66	Inox – aço inoxidável	0,17 -
Linha branca	0,042	0	Metais (outros metais)	0,02 -
Linha azul	0,067	1,66	PE - polietileno	- -
			PP - polipropileno	- -
			ABS - acrilonitrila butadieno estireno	- 4,0
			PC - policarbonato	- 0,8
			PVC = poli cloreto de vinila	- -
			Plástico = outros polímeros	0,50 6,0
			Vd - vidro	0,06 0,05
			Outros produtos	- -
Total coletado/recebido	17,48	83,38	Total produzido	5,64 53,85
Quantidade de equipamentos coletado/recebido pelos processadores de resíduos	100,86 t/mês		Quantidade total de produtos produzidos pelos processadores de resíduos	59,49 t/mês

Para tornar mais adequado ao estudo e facilitar a visualização e compreensão dos montantes circulantes, as frações dos produtos foram agrupadas por suas características e totalizadas em quatro grupos, conforme apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 – Agrupamento das frações de produtos

Grupo de produtos	Volume toneladas/mês	%
PCI	5,84	9,8
Metálicos	42,24	71,00
Polímeros	11,30	19,00
Vidro	0,11	0,2
	59,49	100%

Os percentuais dos volumes circulantes são apresentados na Figura 22. O fluxo segmenta as parcelas de movimentação dos resíduos, desde a geração pelos consumidores nos diversos setores da sociedade até as parcelas de destinação dos rejeitos. Estas etapas são intercaladas pela demonstração dos percentuais de processamento dos resíduos e da transformação em produtos comercializáveis e dos percentuais de destinação para as linhas do negócio.



Os percentuais de REEE gerados pelos diversos segmentos da sociedade são amplamente discutidos na seção 4.2 deste trabalho e representam, exclusivamente, a visão das empresas que participaram da pesquisa. O total de resíduo gerado representado pela variável de fluxo F_{12} (100%) é a referência (a base) para os cálculos do fluxo de massa deste sistema.

Os volumes apresentados na Tabela 17 e caracterizados na Figura 22 descrevem os percentuais resultantes das etapas de processamento, sendo os produtos comercializáveis

do processo. Estes valores correspondem à visão e volumes informados pelas empresas respondentes.

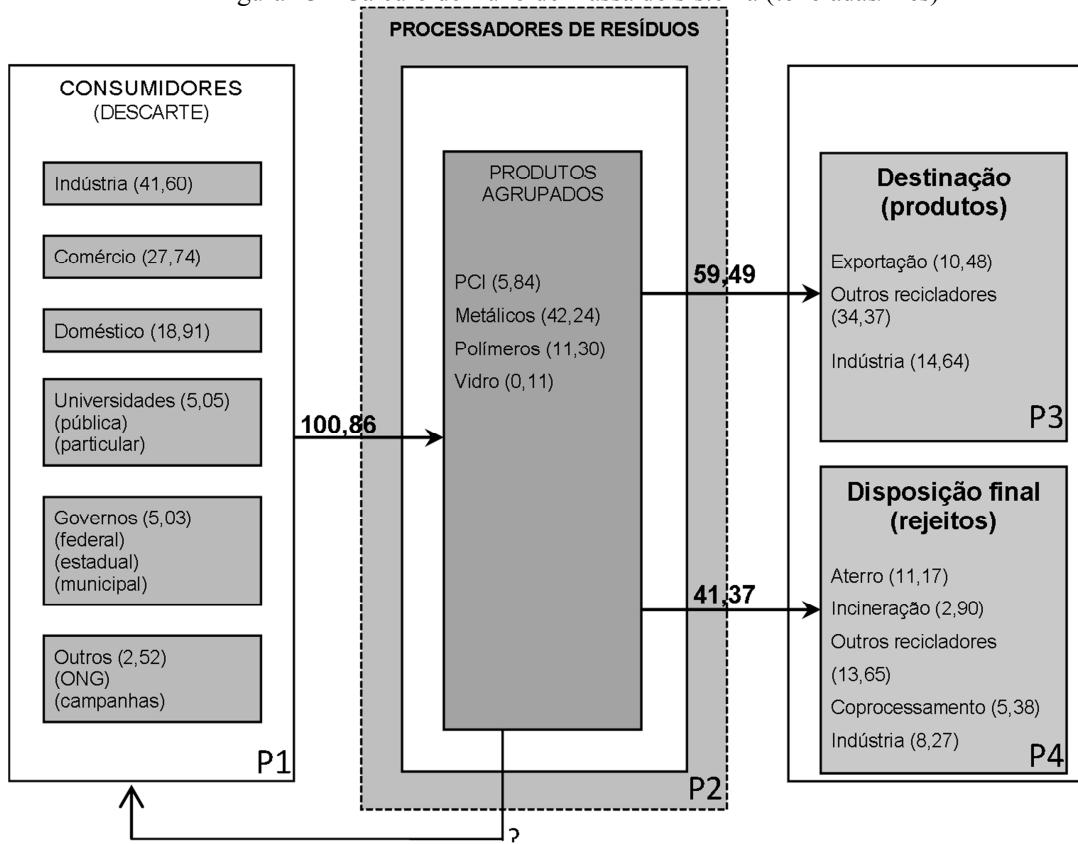
As informações sobre destinação final e disposição final correspondem aos dados globais, coletados na pesquisa, e são discutidos na seção 4.8.

Com relação ao fluxo do sistema é possível estabelecer a seguinte relação: para cada unidade de referência de volume de equipamento/resíduo a ser processado, 58,98% (F_{23}) resulta em parcela comercializável e 41,02% (F_{24}) em material a ser descartado ou destinado para novos processos (Figura 22).

O fluxo F_{21} , recuperação/manutenção de REEE e seu posterior retorno ao mercado de peças usadas ou de segunda mão não apresentam dados consistentes, não sendo a participação desta atividade considerada na análise.

A Figura 23 apresenta os resultados de cálculo do fluxo de massa do sistema considerado, em toneladas/mês.

Figura 23 - Cálculo de fluxo de massa do sistema (toneladas/mês)



Para a realização dos cálculos de balanço de massa dos subsistemas aplicou-se a Equação (1), $P_i = k_a * F_{ij}$, onde “ k_a ” representa o percentual de contribuição do setor ou atividade para o fluxo, e F_{ij} o volume do fluxo de saída ou entrada no processo, conforme a disponibilização das informações.

A Tabela 16 demonstra que o volume de material recebido ou coletado pelas empresas consideradas neste cálculo é de 100,86 toneladas/mês, e corresponde à soma dos grupos de resíduos definidos na coleta dos dados. A parcela de contribuição de cada setor da sociedade na construção do volume total coletado é obtida a partir da visão dos processadores de resíduos e discutida na seção 4.2 deste trabalho.

Aplicando-se a Equação (1) da seção 2.4.2 é calculado o fluxo de massa com origem nos setores econômicos definidos pela pesquisa, e detalhados na Figura 23.

A partir dos volumes das frações produzidas pelas empresas respondentes calcula-se o montante de produtos comercializáveis pelos processadores de resíduos. A Tabela 17 consolida os volumes produzidos em 59,49 toneladas/mês e os percentuais correspondentes às frações agrupadas dos produtos.

Para o cálculo do fluxo de massa de destinação das frações produzidas aplica-se a Equação (1) da 2.4.2, onde “ k_a ” é o percentual atribuído a cada destino, conforme apresentado na Figura 22, sendo a variável F_{ij} o fluxo F_{23} , já estabelecida em 59,49 toneladas/mês. Os fluxos de massa são calculados para os processos P_{3a} = “exportação”, P_{3b} = “outros recicladores” e P_{3c} = “indústria”, conforme Figura 21.

O cálculo do fluxo de destinação dos rejeitos considera a mesma formulação e metodologia da destinação das frações produzidas. Os percentuais “ k_a ” de destinação são obtidos da investigação deste fluxo (Figura 22). Calcula-se o parâmetro do processo, $P_{2a} + P_{2x} + P_{2y} + P_{2m} - F_{21} - F_{12}$ do fluxo F_{24} , em $5,84 + 42,24 + 11,30 + 0,11 - 0 - 100,86 = F_{24} = 41,37 \text{ t/mês}$.

Para os parâmetros de cálculos de massa apresentados na seção 2.4.2 identifica-se que para os fluxos F_{12} e F_{23} os valores foram fornecidos pela pesquisa; F_{24} foi calculado a partir das informações dos resultados dos demais fluxos e F_{21} não mensurado.

4.9.3 Análise dos resultados do fluxo de massa

A investigação dos resultados das parcelas recicláveis e de rejeitos nas atividades de processamento foi discutida na seção 4.6. Os gráficos das Figura 14 e Figura 15 apresentam as parcelas (reciclável e rejeitada) segmentadas por grupos de resíduos.

Realizando-se a média aritmética simples dos grupos de resíduos, é possível estimar em 80% o percentual dos equipamentos/resíduos que resulta produto comercializável. Para as informações dos rejeitos temos o percentual de 12%.

O estudo do fluxo de massa (Figura 22) demonstra que 33% dos produtos rejeitados são enviados ou comercializados para outras empresas. Os demais destinos, coprocessamento (13%) e indústria (20%), também permitem inferir sobre uma nova etapa de aproveitamento do material. Resultando que, efetivamente, 14,07 t/mês de material são encaminhados para disposição final em aterros ou incineração. Conclui-se que do montante de material que é coletado pelos processadores de resíduos (100,86 t/mês), e considerado no balanço de massa, 13,95% ($100,86 - 59,49 - 13,65 - 5,38 - 8,27 = 14,07$ t/mês; $14,07/100,86\%$) resulta em material rejeitado com disposição final.

As taxas de reciclagem dependem da eficiência de cada etapa e de como cada interface é gerenciada. Conforme a UNEP (jul 2009, p. 12) a cadeia completa de reciclagem, desde a coleta até a destinação final, resulta em 33% do material reciclado. Considerando a eficiência do fluxo a partir da etapa de coleta e desmontagem até a destinação final o percentual reciclável é de 66,5%, ou seja, 33,5% dos resíduos sofrem outra destinação. Tais índices demonstram direta relação com o cálculo do fluxo de massa, já que muitas empresas que participaram da pesquisa atuam como compradoras de resíduos, separando as frações de materiais de interesse ao negócio e disponibilizando o restante dos componentes a outros recicladores.

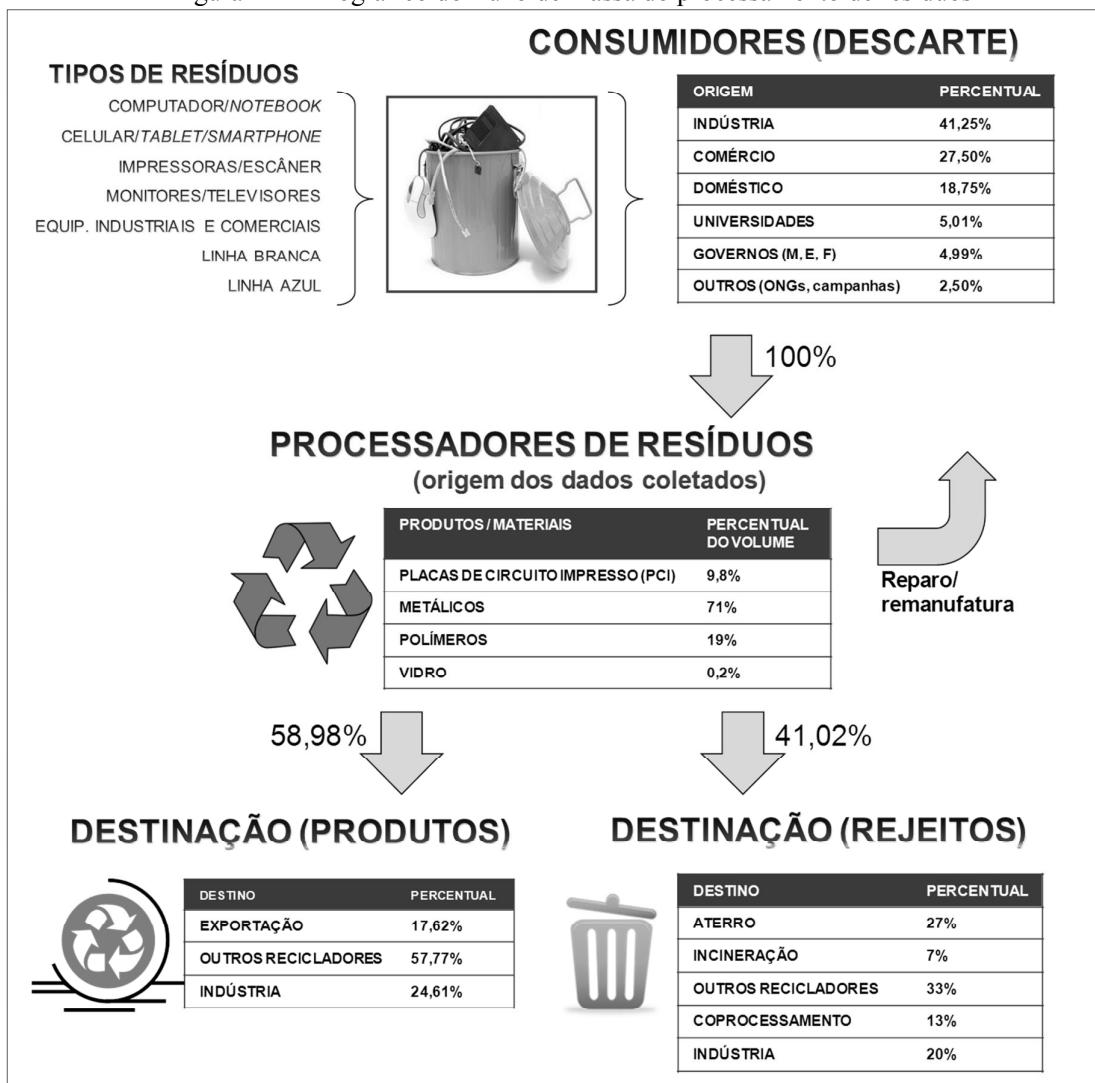
O estudo elaborado por Rocha *et al.* (2009), apresenta como percentuais adequados para a reciclagem no Brasil, na época de sua pesquisa, taxas de 75% para equipamentos de grande porte (Linha Branca e Azul) e de 65% para os de pequeno porte (grupos dos computadores, monitores, celulares, impressoras, equipamentos industriais e comerciais).

A EMPA (2012, p. 24) descreve a cadeia de reciclagem de computadores na Nigéria, onde o mercado informal de reciclagem destina para aterros e incineração 47,22 % do material coletado. O mesmo estudo não disponibiliza informações para o mercado formal.

4.9.4 Consolidação do fluxo de massa da cadeia

O infográfico da Figura 24 apresenta o fluxo e os percentuais do processo de reciclagem dos equipamentos eletroeletrônicos. Os percentuais descritos foram consolidados a partir das informações das empresas que participaram da pesquisa.

Figura 24 – Infográfico do fluxo de massa do processamento de resíduos



O fluxo inicia com a caracterização dos grupos de resíduos considerados na pesquisa. Os EEE são descartados pelos diversos setores da sociedade, caracterizados como consumidores. A proporção de resíduos recebidos ou coletados pelas empresas processadoras, com origem nos diversos setores da sociedade é apresentada na tabela “consumidores –

descarte”, onde se identifica como principal fornecedor de material o grupo da “indústria” com 41,25%.

A proporção, em relação ao volume, do tipo de material que compõem os resíduos recebidos ou coletados pelos processadores é descrito em outro quadro. Estes materiais foram separados em quatro grupos (PCI, metálicos, polímeros e vidro). O volume de material mais significativo é dos metálicos com 71%.

Do total de EEE recebidos/ coletados pelos processadores 58,98% resulta em componentes, materiais ou frações de equipamentos que possuem valor agregado e são diretamente comercializados pelas empresas processadoras. O restante (41,02%) não apresenta interesse para o foco do negócio, sendo caracterizado, na pesquisa, como material não aproveitado ou rejeito. Parte significativa do material rejeitado (66%) é revendida para outras empresas do setor, havendo disposição final ou incineração da outra parcela. Tomando como referência o volume total de material recebido para processamento, considerado na pesquisa, 13,95% são incinerado ou sofre disposição final em aterros.

A característica das empresas pesquisadas – processadoras de resíduos - fica evidenciada no quadro da destinação dos produtos de seus processos, com 57,77% do material comercializado com outras empresas recicadoras.

5 CONCLUSÕES

Com a realização deste trabalho foi possível obter informações sobre a complexa cadeia de reciclagem e mais pontualmente sobre as empresas processadoras de resíduos. O estudo forneceu elementos para conhecer a operação do negócio e o reaproveitamento de resíduos eletroeletrônicos descartados. Considerando o número reduzido de respostas (oito empresas em dois Estados), os resultados encontrados podem representar, com a devida limitação e cuidado, a visão do setor no Brasil. O objetivo geral foi atingido a partir da investigação de um conjunto de questionamentos listados nos objetivos específicos da pesquisa.

A partir do cenário imposto pela pesquisa, das limitações e da análise dos resultados foi desenvolvido um diagnóstico da cadeia da reciclagem, possibilitando conhecer, parcialmente, os elementos qualitativos e quantitativos do setor e as demandas para sua operação eficiente e eficaz. As considerações e conclusões, a seguir, resumem os elementos e variáveis observadas neste estudo.

Com relação às limitações salienta-se a dificuldade em obter informações. No caso das organizações formais foi evidenciado o receio na divulgação de dados considerados confidenciais e estratégicas. Outra constatação foi a dificuldade das empresas em disponibilizar estes dados de forma consolidada, já que organizações de maior porte operam com diversas plantas, onde cada uma realiza funções operacionais distintas dentro da cadeia, na maioria das vezes em diferentes cidades, estados ou até continentes.

Verifica-se que muitas organizações oficiais possuem contratos com outras empresas do setor para o fornecimento/coleta de volumes mínimos de materiais. Tal premissa foi discutida na pesquisa, onde a lucratividade do negócio, firmada na relação do volume de material produzido comercializado e dos custos globais de processamento, estabelece o ponto de equilíbrio para as operações das empresas em seus diversos tamanhos. Outras empresas evidenciaram atuar na quase informalidade, mostrando-se relutantes em responder o questionário. Quando questionadas responderam que recebem material de várias origens e que apenas armazenam o material até obter um volume passível de comercialização. Os materiais que não possuem interesse são revendidos para outros processadores de resíduos ou descartados, nem sempre de maneira regular.

O aspecto geográfico também representou elemento limitante para a metodologia adotada na pesquisa, que por não ser presencial exigiu a consolidação de um canal de comunicação com representantes das empresas. Esclarecimentos adicionais sobre o teor dos questionamentos foram necessários. A falta de registro fotográfico apresenta-se como outra consequência do universo pesquisado, pois a grande maioria das empresas situa-se fora do Estado do Rio Grande do Sul ou no interior do Estado. Cabe salientar que empresas com sede na cidade local do pesquisador, Porto Alegre, não se dispuseram a responder o questionário. Durante a etapa de convencimento foi proposta visita ao local para a realização da entrevista e registro, condição não aceita pelos representantes. Conforme apresentado na pesquisa o maior número de empresas do setor está localizado no Estado de São Paulo.

A escolha da área de abrangência da pesquisa estabeleceu, de forma positiva, uma visão geral do setor, mas restringiu a qualidade dos resultados por considerar informações de fontes com características de atividades distintas, diferentes tamanhos e gestão. Impactaram, também, os aspectos regionais e econômicos. Apesar deste cenário, estabeleceu-se um bom índice de qualidade das informações, possibilitando, com os resultados, obter um panorama do setor, e assim, o objetivo geral do trabalho.

Não foram identificadas empresas que realizam todas as etapas de reciclagem, ou de procedimentos mais complexos de refino como de pirometalurgia e eletrometalurgia. As organizações, em sua maioria, operam no pré-processamento, ou seja, no tratamento mecânico, com a desmontagem, descaracterização, classificação e separação dos resíduos, muitas se limitam a coleta, armazenagem e posterior envio de frações ou metais para outros *players* do setor. Considerando o objetivo quantitativo da pesquisa e da metodologia adotada não foi possível conhecer as estruturas de operação das empresas.

Outro aspecto é a incerteza dos respondentes quanto aos volumes processados por tipo de resíduo. Poucas empresas demonstraram possuir real controle sobre as frações produzidas, ou, talvez, não tenha havido disposição em coletar os dados por representar trabalho adicional. Nenhuma das empresas participantes da pesquisa respondeu integralmente todos os questionamentos.

A pesquisa permitiu conhecer e compreender algumas das características básicas das empresas objeto de estudo neste trabalho - os processadores de resíduos. Confirmando que os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos percorrem inúmeras empresas processadoras, onde cada uma extrai os materiais/itens/frações de interesse para o seu

negócio, vendendo estes materiais para outros processadores ou recicladores, que realizam novamente esta atividade, até a destinação para as indústrias de reciclagem. Parte dos materiais não aproveitados é, também, destinada para outros processadores ou sofre disposição final. Neste fluxo estabelecesse ramificações formais e não formais, criando uma rede secundária de pequenos negócios. É perceptível a dependência econômica e a consequente sobrevivência das empresas deste setor com as grandes organizações recicladoras.

Validando as afirmações do parágrafo anterior, a análise da destinação dos materiais considerados como rejeitos pelas empresas permite constatar que 66% do material rejeitado têm como destino outros recicladores e que a parcela disposta em aterros é de 34%. A parcela rejeitada no montante de resíduos processados é de 41,37%, conforme o estudo do fluxo de massa.

O interesse comercial e a importância econômica da reciclagem de PCI (placas de circuito impresso) ficaram evidenciados neste estudo. O processamento deste material representa em média 70% do faturamento das empresas. Outro elemento identificado é a expressiva parcela deste material enviada para processamento em outros países, situando-se em 78%. O percentual restante (22%) é distribuído entre indústria e outros recicladores no Brasil. A presente pesquisa não aprofundou a coleta de informações sobre a existência de empresa no Brasil que realize a reciclagem completa dos materiais e metais de PCI's.

A bibliografia existente sobre o assunto reciclagem descreve dois caminhos de interesse econômico. A própria reciclagem e o reuso, entendido como a recuperação ou transformação de um equipamento descartado em produto comercializável. A recuperação para reuso é citada como um mercado lucrativo e realizado por empresas formais e informais no início da cadeia de reciclagem. Identificou-se, entretanto, que a maioria das empresas que participaram da pesquisa não possui a recuperação de equipamentos para posterior uso como vetor principal de suas operações (67%).

Com relação aos setores da sociedade que mais contribuem com resíduos para reciclagem encontra-se a indústria com 41,25%, seguido do comércio com 27,5% e a contribuição dos EEE domésticos com 18,75%.

Quanto à capacidade instalada para processamento de resíduos, a maioria das empresas que participaram da pesquisa se enquadra na categoria de médios recicladores ou de “operação secundária” com estrutura física disponível para processar em média 100

toneladas/mês. Os dados coletados demonstram que as oito empresas que responderam à pesquisa, utilizam, em média 51,28% da planta instalada.

A parcela reciclável dos resíduos é em média 80% do total do material coletado. Este percentual é médio para todas as categorias de resíduos, sendo que a pesquisa apresenta a parcela aproveitável para cada uma das categorias. Como exemplo, podemos citar os computadores/notebooks com reciclagem de 92% e monitores CRT com 54%.

As empresas manifestaram não comprar resíduos e que 29% das operações comerciais ocorrem sem custo, ou seja, os resíduos são entregues na empresa recicladora sem nenhum ônus para esta. As empresas informam coletar e transportar resíduos cobrando por este serviço representando 71% das operações. A análise destas informações permite inferir que as empresas pesquisadas não buscam suprir seu fluxo para operação adquirindo insumos. Condição questionável e passível de aprofundamento em outras pesquisas.

Conforme mencionado, a comercialização das frações de PCI representam 70% do faturamento. Outros produtos metálicos contribuem com 19,3%, polímeros com 5% e outros materiais com 5,7%.

Quanto ao destino da comercialização dos produtos da reciclagem temos que 57,77% são direcionados a outros recicladores no Brasil, 24,61% tem como destino as indústrias de processamento no país e 17,62% são comercializados com organizações sediadas no exterior.

Os resultados apresentados neste estudo correspondem às informações prestadas por um reduzido número de empresas recicladoras, quando comparados às listas disponibilizadas em sites de entidades e associações deste setor. Com relação ao número de organizações convidadas a participar da pesquisa e as que atenderam a solicitação o percentual é de 17,39 % (oito empresas de 46 convidadas).

Finalizando, é possível, a partir das informações qualitativas e quantitativas coletadas e analisadas nesta pesquisa, e, principalmente, do contato telefônico com as pessoas que trabalham nestas empresas, estabelecer uma visão particular do ambiente de negócio onde operam as empresas processadoras de resíduos eletroeletrônicos. A comunicação entre pesquisador e empresa permitiu conhecer elementos, que mesmo não sendo o foco do trabalho, possuem importante relação e justificam, ou possibilitam entender, os resultados e aspectos envolvidos neste cenário. Entre estes elementos, pode-se citar: a característica

amadora como muitas empresas realizam seus procedimentos de operação, demonstrando, ainda estarem tentando encontrar o melhor caminho para o negócio. Em algumas o sistema de gestão é deficiente, deixam transparecer informalidade em alguns processos. Poucas se posicionam sobre as questões ambientais, e, quando provocados sobre o tema, descrevem a legislação como um entrave ao lucro e ao negócio. Por outro lado, empresas processadoras de médio porte demonstram preocupação com as questões ambientais e observância da legislação. Identifica-se a existência de fluxos secundários e não formais para o recebimento dos resíduos, bem como do empenho das empresas em estabelecer parcerias e contratos de exclusividade com grandes organizações que descartam resíduos. Muitas empresas manifestam dificuldade em cumprir requisitos de lotes mínimos, de segurança e da legislação, definidos pelos grandes recicladores para comercialização de seus produtos.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A investigação desenvolvida nesta pesquisa estabeleceu como referência os processadores de resíduos, ou seja, empresas que efetivamente realizam procedimentos de transformação dos REEE. Assim, o estudo concentrou-se nestes atores do negócio e em seus fluxos de entrada e saída. A cadeia de reciclagem, como um todo, foi analisada parcialmente e muitos fluxos e processos não integraram o universo pesquisado ou foram avaliados superficialmente ou de maneira complementar. No estudo identificou-se um conjunto de atividades e processos de grande complexidade, abrindo caminho para novas investigações nos campos tecnológicos, econômicos e de gestão deste setor.

A recuperação de equipamentos eletroeletrônicos descartadas e o retorno ao mercado como peças usadas ou equipamentos de segunda mão foi um tema recorrente nesta pesquisa, sem sofrer o devido aprofundamento. Conhecer a participação desta atividade no setor, seus mecanismos e volumes surge como sugestão para um novo estudo.

A lucratividade do setor pode ser mais bem explorada, desenvolvendo-se um estudo com aprofundamento mais econômico, investigando-se as características específicas de aproveitamento de cada tipo de resíduo, os preços praticados para os produtos e a segmentação dos custos operacionais para reciclagem que tornam o negócio viável.

Diversos estudos já foram realizados sobre o aumento da geração de resíduos e seu impacto na atividade de reciclagem e nas questões ambientais. Dentro deste mote a realização de um estudo a partir da visão dos recicladores, sobre a perpetuação do negócio, da concorrência e da legislação são variáveis interessantes de serem investigadas.

Outro tema relevante, evidenciado na pesquisa, diz respeito à complexa cadeia percorrida pelos resíduos. A realização de um balanço de massa de todo o fluxo agregaria conhecimento, fornecendo dados de interesse para as empresas do setor.

REFERÊNCIAS

- ABDI. **Logística Reversa de Equipamentos Eletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica.** Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Brasília. 2013.
- ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública. **Abrelpe**, 2014. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/abrelpe_quemsomos.cfm>. Acesso em: 16 nov. 2014.
- ARAÚJO.M.G et al. Waste Management. **A model for estimation of potencial generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil**, Rio de Janeiro. Brasil, 335-342, n. SciVerse Science Direct. ELSEVIER. 2011, 2012.
- BLASER, F.; SCHLUEP, M. **Economic Feasibility of e-Waste Treatment in Tanzania**. Swiss Federal Institute for Materials Science and Technology (Empa). [S.I.]. 2012.
- BRASIL. **ABNT NBR 10004 - Resíduos Sólidos - classificação**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2004.
- BRASIL. **Lei 12.305 PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília. 2010.
- CEMPRE. Compromisso Empresarial para Reciclagem, 2014. Disponível em: <<http://cempre.org.br>>. Acesso em: 16 jul. 2014.
- CUI, J.; FORSSBERG, E. Journal of Hazardous Materials. **Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review**, 243-263, 2003. www.elsevier.com/locate/jhazmat.
- DUAN, H. et al. **Quantitative Characterization of Domestic and Transboundary Flows of Used Electronics**. MIT - Massachusetts Institute of Technology. [S.I.], p. 121. 2013.
- E.U. DIRECTIVE 2002/96/EC. **The European Parliament and of the Council on waste electrical and electronic equipment (WEEE)**. [S.I.]. 2002.
- EMPA. **e-Waste Assessment Methodology Training & Reference Manual**. Eindgenössische Materialprüfungs und Forschungs Anstalt (Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research. [S.I.], p. 35. 2012.
- FONSECA, G.; BUENO, R. **Lixo eletrônico uma responsabilidade de todos (Artigo de Revista Eletrônica)**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2013.
- HAMADA, J. Universidade Estadual Paulista. **Caracterização de Resíduos Sólidos - Planejamento e Gestão de Resíduos**, 2015. Disponível em: <www.feb.unesp.br/joha/carac_res_sol_fol.pdf>. Acesso em: 12 maio 2015.
- HUSMAN, J.; LUEPSCHEN, C.; WANG, F. StEP-Initiative. **Overview of e-waste information**, 2014. Disponível em: <<http://www.step-initiative.org/index.php/overview-world.html>>. Acesso em: 20 out. 2014.
- IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos de Logística Reversa Obrigatória**. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Brasília, p. 23. 2012.
- JOHN, L. Abril Editora - Planeta Sustentável. **Biodiversa - O rapa das bactérias mineradoras**, 04 jul. 2011. Disponível em: <http://www.planetasustentavel.abril.com.br/blog/biodiversa/rapa_bacterias_mineradoras_286615>. Acesso em: 14 nov. 2014.
- KASPER, A. C. **Caracterização e Reciclagem de Materiais Presentes em Sucatas de Telefones Celulares (Dissertação de Mestrado)**. UFRGS. Porto Alegre. 2011.

MENAD, N.; GUIGNOT, S.; VAN HOUWELINGEN, J. **New characterisation method of electrical and electronic equipment wastes (WEEE)**. [S.l.]: Waste Management, v. 33(3), 706–713, 2013.

NATUME, R. Y.; SANT'ANNA, F. S. P. **Resíduos Eletrônicos**: Um desafio para o desenvolvimento sustentável e a nova lei da PNRS. São Paulo: [s.n.]. 2011. p. 9.

NNOROM, I. C.; OSIBANJO, O. **Electronic waste: Material flows and management practices in Nigeria**. Department of Industrial Chemistry. Uturu. 2008. (28 (2008) 1472 - 1479).

OLIVEIRA, C. R.; BERNARDES, A. M.; GERBASE, A. E. **Collection and recycling of electronic scrap: A worldwide overview and comparison with the Brazilian situation**. UFRGS. Porto Alegre, p. 32. 2012. (1592 - 1610).

ONGONDO.F.O; WILLIAMS.I.D; CHERRETT.T.J. Waste Management. **How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes. (art)**, 714-730, n. SciVerse Science Direct. ELSEVIER. School of Civil Engeineering and Environment, 2011.

PARLAMENTO EUROPEU. Jornal Oficial do Parlamento Europeu e do Conselho. **Diretiva 2012/19/UE**, Estrasburgo, v. L197/38, 4 julho 2012.

PINHEIRO, E. L. et al. **Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos**. Belo Horizonte, p. 44. 2009.

PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS. **Reciclagem de Resíduos Sólidos**, 17 dez. 2013. Disponível em: <www.portalresiduossolidos.com>. Acesso em: 26 set. 2014.

RECICLADORA URBANA. Descaracterização. **Gestão sustentável de resíduos eletrônicos**, 2014. Disponível em: <http://www.recicladoraurbana.com.br/index.php?option=com_=243>. Acesso em: 05 nov. 2014.

REIS, R. P. **Gestão dos Resíduos Eletroeletrônicos no Município de Santa Maria-RS: Proposta de Política Pública (Dissertação de Mestrado)**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, p. 83. 2013.

ROCHA, G. H. T. et al. **Diagnóstico da Geração de Resíduos Eletroeletrônicos no Estado de Minas Gerais**. EMPA / FEAM. Belo Horizonte, p. 80. 2009.

RODRIGUES, A. C. **Fluxo domiciliar de geração e destinação de REEE no município de São Paulo/SP: caracterização e subsídios para políticas públicas (tese de doutorado)**. USP. São Paulo. 2012.

SALEHABADI, D. **Transboundary Movements of Discarded Electrical and Electronic Equipment**. STEP - Solving the E-waste Problem. [S.l.]. 2013. Green Paper.

SANTOS, C. A. F. **A Gestão dos resíduos eletroeletrônicos e suas consequências para a sustentabilidade: Um estudo de múltiplos casos na região metropolitana de Porto Alegre (Dissertação de Mestrado)**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 131f. 2012.

SCHLUEP, M. et al. **Recycling – From e-waste to resources, Final report**, 2009. Disponível em: <www.unep.org/PDF/.E-waste_publication_screen_FINALVERSION-sml.pdf>. Acesso em: ago. 2014. United Nations Environment Programme e United Nations University.

SERAFIN, B. M. T.; COLLING, A. V.; SILVA, R. A. **Biohidrometalurgia: uma alternativa para a produção de materiais com alto valor agregado a partir da Piritita**. UFRGS. Porto Alegre. 2009.

SIENA, O. **Metodologia da pesquisa científica: elementos para elaboração e apresentação de trabalhos acadêmicos**. Fundação Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho, p. 200. 2007.

SILVA, B. D. D.; MARTINS, D. L.; OLIVEIRA, F. C. **Resíduos Eletroeletrônicos no Brasil**. Santo André. 2007.

SILVA, M. A. Brasil Escola. **Materiais paramagnéticos, diamagnéticos e ferromagnéticos**, 2014. Disponível em: <www.brasilescola.com/fisica/materiais-paramagneticos-diamagneticos-ferromagneticos.htm>. Acesso em: 25 nov. 2014.

STEUBING, B. et al. **Assessing computer waste generation in Chile using material flow analysis**. Santiago de Chile. 2010. (30 (2010) 473 - 482). www.elsevier.com/locate/wasmar.

TCHOBANOGLUOS, G.; KREITH, F. **Computer and Other Electronics Solid Waste. Handbook of Solid Waste Management**. Second Edition. ed. [S.I.]: McGraw-Hill, v. Chapter 11E, 2002. p. 49-6 p.

TENÓRIO, J. A. S. **Reciclagem de Resíduos Eletroeletrônicos (Aula)**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Engenharia Metalúrgica e de Materiais. São Paulo. 2011.

UMICORE. Umicore Brasil. **Reciclagem de Sucata Eletrônica**, 2014. Disponível em: <<http://www.umincore.com.br/nossosNegocios/recycling/pmr/sucataeletronica/>>. Acesso em: 20 out. 2014.

UNEP. **E-waste Management Manual**. International Environmental Technology Centre. Osaka/Shiga. 2007. (E-waste; Volume II).

UNEP. **Inventory Assessment Manual**. UNEP - United Nations Environmental Programme. [S.I.], p. E-waste. Volume I. 2007.

UNEP. **Manual 3: WEEE/E-waste Take Back System**. [S.I.]. 2012.

UNEP. **Recyclin from e-waste to resources - final version**. UNU / EMPA. Berlin, p. 90. jul 2009.

UNU. **Recommendations on Standards for Collection, Storage, Transport and Treatment of E-waste**. United Nations University. Bonn, Germany, p. 41-42. 2012.

APÊNDICE I

Este anexo apresenta o conjunto de perguntas do questionário *online*, disponibilizado para as empresas processadoras de resíduos. As perguntas são apresentadas na mesma formatação como foram visualizadas pelos respondentes. Algumas questões são mostradas de forma parcial. Os objetivos esperados com as respostas de cada grupo de questões estão descritos na seção 3.2.

QUAIS SÃO OS PRINCIPAIS GERADORES (FONTE PRIMÁRIAS) DE RESÍDUOS ELETRO-ELETRÔNICOS?											
	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Comércio	<input type="radio"/>										
Indústria	<input type="radio"/>										
Doméstico	<input type="radio"/>										
Escolas/universidades particulares	<input type="radio"/>										
Escolas/universidade públicas	<input type="radio"/>										
Governo federal	<input type="radio"/>										
Governo estadual	<input type="radio"/>										
Governo municipal	<input type="radio"/>										
Não determinado	<input type="radio"/>										
Outras origens não listadas	<input type="radio"/>										

Cite origens não listadas na tabela acima:

1 = Computador/Notebook

O objetivo é identificar os principais geradores deste tipo de resíduo. Você pode assinalar mais de uma origem.

- Comércio
- Indústria
- Doméstico
- Escolas/universidades particulares
- Escolas/universidades públicas
- Governo Federal
- Governo Estadual
- Governo Municipal
- Não determinado
- Outro:

QUAL A QUANTIDADE (VOLUME/PESO) DE CADA TIPO DE RESÍDUO RECEBIDO PARA PROCESSAMENTO EM UM DETERMINADO PERÍODO? (MÊS OU ANO)

O objetivo da pergunta é segmentar, por tipo de resíduo, o volume/peso total médio de material recebido para processamento pela empresa em um determinado período.
Para cada item, informe o valor e a unidade (kg, tonelada, m³, outra)

1 = Computador/Notebook (informe valor e unidade)

2 = Monitores/Televisores (CRT, LCD, LED, Plasma) (informe valor e unidade de medida)

3 = Celulares/Tablet/Smartphones (informe valor e unidade de medida)

4 = Impressoras/Scanner e similares (informe valor e unidade de medida)

5 = Equipamentos industriais/comerciais (centrais telefônicas, nobreaks, leitores de cartão, servidores, etc.)

6 = Linha branca (geladeira, fogão, lava-louça, micro-ondas, etc.)

7 = Linha azul (furadeira, batedeira, liquidificador, etc.)

QUAL A CAPACIDADE TOTAL DE PROCESSAMENTO (VOLUME/PESO POR UNIDADE DE TEMPO) DA EMPRESA?

O objetivo da pergunta é identificar o volume de resíduos que a empresa tem capacidade de processar em um determinado período (mês ou ano).

QUAL O VOLUME/PESO MÉDIO PROCESSADO PELA EMPRESA?

Identificar qual o volume/peso médio de resíduos a empresa consegue processar em determinado período (mês). Permite identificar se o volume de resíduos recebidos é superior ou inferior a capacidade total de processamento.

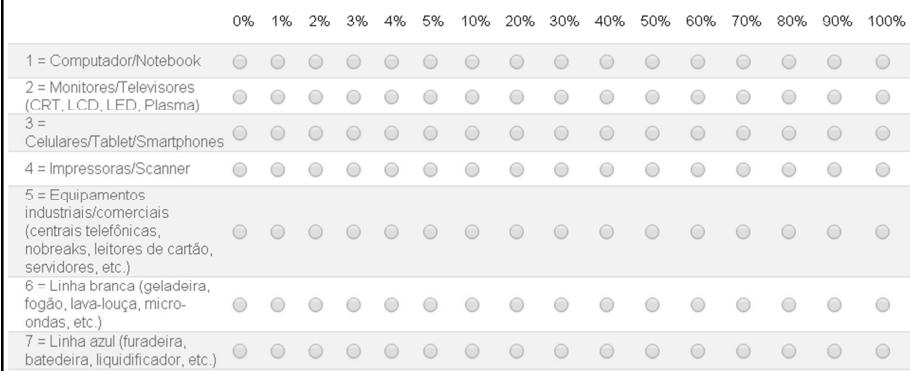
QUAL É O VOLUME/PESO DE PRODUTO RESULTANTE DE CADA TIPO DE RESÍDUO PROCESSADO?

Com referência ao volume/peso de cada tipo de resíduo processado pela empresa, informado na pergunta anterior, qual percentual resulta em produto comercializável, após o processamento.



QUAL É O VOLUME/PESO DE MATERIAL DESCARTADO APÓS O PROCESSAMENTO DE CADA TIPO DE RESÍDUO?

Considerando como referência o volume/peso de cada tipo de resíduo processado pela empresa, informado em pergunta anterior, qual percentual resulta em material não aproveitável, recebendo destinação ou disposição específica.

**MATERIAIS/PRODUTOS OBTIDOS DO PROCESSAMENTO DOS RESÍDUOS**

As perguntas desta seção tem a finalidade de conhecer o resultado final do processo produtivo dos REEE. Identificar o volume/peso de produto resultante do tratamento de cada tipo de resíduo e o custo referência praticado na comercialização.

QUAL A QUANTIDADE PRODUZIDA POR UNIDADE/PERÍODO PROVENIENTE DE TODOS OS TIPOS DE RESÍDUOS (ton, kg, m³, mês/ano)?

PCI = placa do circuito impresso

Al = alumínio

Cu = cobre

Aço = aço carbono/ferro

Inox = aço inoxidável

Metal = outros metais (descrever)

QUAL A DESTINAÇÃO DO MATERIAL DESCARTADO APÓS TODO O FLUXO DE RECICLAGEM?

Identificar qual a destinação do material não comercializável.

- disposição em aterro
- indústria (queima)
- indústria (processamento)
- outros recicladores no Brasil
- outros recicladores no exterior
- aproveitamento/processamento na própria empresa
- Outro:

EXISTE ALGUM TIPO DE EQUIPAMENTO QUE É REAPROVEITADO/RECUPERADO E VOLTA AO MERCADO COMO PRODUTO REMANUFATURADO OU COM USO?

Identificar produto/material específico que não foi contemplado nas perguntas anteriores.

ESCLARECIMENTOS OU INFORMAÇÕES ADICIONAIS

Utilize este espaço para esclarecer alguma resposta ou apresentar informação adicional que considere relevante para a realização deste trabalho.

QUEM COMPRA OU QUAL O DESTINO DOS PRODUTOS RESULTANTES DA RECICLAGEM?

PCI = placa de circuito impresso

- Outros recicladores no RGS
- Outros recicladores no Brasil
- Outros países (exportação)
- Indústrias no RGS
- Indústrias no Brasil
- Fabricantes
- Comércio
- Outro:

QUAIS OS TIPOS DE RESÍDUOS QUE A EMPRESA COBRA OU PAGA PARA RECEBER?

Identificar quais tipos de resíduos a empresa possui mais interesse em processar, comprando o material, e quais resíduos a empresa cobra para receber.

	PAGA para receber o resíduo	COBRA para receber o resíduo	sem custo
1 = Computador/Notebook	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2 = Monitores/Televisores (CRT, LCD, LED, Plasma)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3 = Celulares/Tablet/Smartphones	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4 = Impressoras/Scanner	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5 = Equipamentos industriais/comerciais (centrais telefônicas, nobreaks, leitores de cartão, servidores, etc.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6 = Linha branca (geladeira, fogão, lava-louça, micro-ondas, etc.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7 = Linha azul (furadeira, batedeira, liquidificador, etc.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

QUAL O VALOR MÉDIO (R\$), PAGO OU COBRADO PELO RESÍDUO POR UNIDADE DE REFERÊNCIA? (Favor especificar se é kg, ton, - R\$/unidade de medida)

1 = Computador/Notebook

2 = Monitores/Televisores (CRT, LCD, LED, Plasma)

3 = Celulares/Tablet/Smartphones

4 = Impressoras/Scanner

5 = Equipamentos industriais/comerciais (centrais telefônicas, nobreaks, leitores de cartão, servidores, etc.)

6 = Linha branca (geladeira, fogão, lava-louça, micro-ondas, etc.)

7 = Linha azul (furadeira, batedeira, liquidificador, etc.)

QUAL O CUSTO MÉDIO PARA PROCESSAMENTO DOS DIVERSOS TIPOS DE RESÍDUOS?

A pergunta objetiva identificar os custos operacionais envolvidos no processamento de cada tipo de resíduo.
Observações:

Considera custo para disposição dos rejeitos e considera custos com mão de obra.

Não considera custos de impostos.

Custo operacional por unidade processada (tonelada, kg ou m³)

1 = Computador/Notebook

2 = Monitores/Televisores (CRT, LCD, LED, Plasma)

3 = Celulares/Tablet/Smartphones

4 = Impressoras/Scanner

5 = Equipamentos industriais/comerciais (centrais telefônicas, nobreaks, leitores de cartão, servidores, etc.)

6 = Linha branca (geladeira, fogão, lava-louça, micro-ondas, etc.)

7 = Linha azul (furadeira, batedeira, liquidificador, etc.)

QUAL O PREÇO REFERÊNCIA DE COMERCIALIZAÇÃO DO MATERIAL PROCESSADO (R\$ por kg, ton, m³)

PCI = placa de circuito impresso

Al = alumínio

Cu = cobre

Aço = aço carbono/ferro

Inox = aço inoxidável

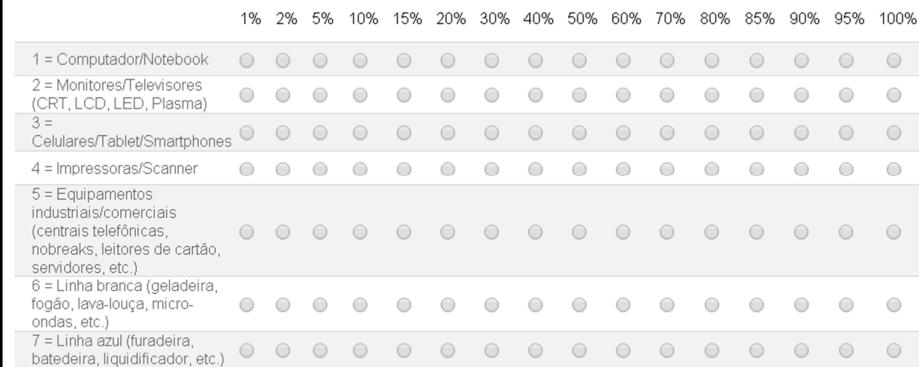
Metal = outros metais (descrever)

PARTICIPAÇÃO DOS RESÍDUOS E PRODUTOS NO FATURAMENTO DA EMPRESA

O objetivo é identificar aspectos econômicos e de logística da empresa, comparando o volume de um determinado tipo de material com o impacto no faturamento. Também conhecer a participação de cada produto resultante do processo de reciclagem no faturamento da empresa.

PARTICIPAÇÃO NO FATURAMENTO DA EMPRESA EM RELAÇÃO AO TIPO DE RESÍDUO PROCESSADO

Identificar quais os resíduos recebidos apresentam melhor resultado econômico para a empresa. Observar para que o somatório de todos os resíduos seja de 100%.



PARTICIPAÇÃO NO FATURAMENTO DA EMPRESA DOS PRODUTOS RESULTANTES DA RECICLAGEM

Identificar quais os produtos resultantes da reciclagem/processo mais impactam no desempenho econômico da empresa. Observar para que o somatório de todos os produtos seja de 100%. (Correr a barra inferior à pergunta para visualizar todos os percentuais).

