

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO - UNINOVE
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

AURO DE JESUS CARDOSO CORREIA

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA E AMBIENTAL POR MEIO DO MAPEAMENTO DA
LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS
ELETROELETRÔNICOS: ESTUDO DE MÚLTIPLOS CASOS NO BRASIL**

SÃO PAULO
2017

AURO DE JESUS CARDOSO CORREIA

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA E AMBIENTAL POR MEIO DO MAPEAMENTO DA
LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS
ELETROELETRÔNICOS: ESTUDO DE MÚLTIPLOS CASOS NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho - UNINOVE, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto

SÃO PAULO

2017



PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO
DE

Auro de Jesus Cardoso Correia

Título da Dissertação: Avaliação Econômica e Ambiental por Meio do Mapeamento da Logística Reversa de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos: Estudo de Múltiplos Casos no Brasil.

A Comissão Examinadora, Composta Pelos Professores Abaixo, Considero(a) o(a) candidato(a) Auro de Jesus Cardoso Correia Aprovado.

São Paulo, 14 de fevereiro de 2017.

Prof(a). Dr(a). Geraldo Cardoso de Oliveira Neto (UNINOVE)

Prof(a). Dr(a). José Luiz Gomes da Silva (UNITAU)

Prof(a). Dr(a). Ivanir Costa (UNINOVE)

Correia, Auro de Jesus Cardoso.

Avaliação econômica e ambiental por meio do mapeamento da logística reversa de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos: estudo de múltiplos casos no Brasil. / Auro de Jesus Cardoso Correia. 2017.

88 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2017.

Orientador (a): Prof. Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto.

1. Logística reversa. 2. Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. 3. Reciclagem.

I. Oliveira Neto, Geraldo Cardoso de. II. Título

CDU 658.5

Dedico este trabalho aos meus pais, que tanto apoiaram e incentivaram o meu crescimento profissional e por todo amor que tenho por eles.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade de vida e por tantas coisas boas que me concedeu.

Aos meus queridos pais, Francisco Correia e Maria Argentina Cardoso Correia, meu porto seguro em todas as fases de minha vida.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto, que me incentivou, ensinou e acima de tudo acreditou em mim.

Aos Professores Dr. Ivanir Costa e Dr. José Luis Gomes da Silva pela disponibilidade em participar da banca de Defesa e pelas contribuições valiosas.

Aos demais professores que me transmitiram conhecimentos e experiências.

Ao amigo Renato Alessandro Rocha Santos, por todo o apoio nessa longa jornada de dedicação aos estudos e pelo exemplo de determinação nos objetivos acadêmicos e profissionais.

Aos meus irmãos, Antônio, Maria e Ailton, por todo o incentivo e apoio em todas as etapas de minha vida.

Aos meus filhos, Dayane, Nicolas e Nicolye pela compreensão e motivação.

A Josiane, minha companheira de todas as horas, o meu agradecimento especial pelo amor, compreensão, incentivo e paciência.

Muito Obrigado!

RESUMO

Em razão do consumo excessivo e a comercialização de produtos eletrônicos em larga escala, os lixos eletrônicos apresentam-se como uma situação crítica e agressiva ao meio ambiente. Este cenário, que aponta o aumento na geração de resíduos, tem se apresentado como um problema para a sociedade devido a capacidade limitada dos aterros e o risco iminente de contaminação dos ecossistemas pelas substâncias nocivas contidas nestes resíduos. Por outro lado, o descarte deste tipo de resíduo pode apresentar boas oportunidades econômicas por possuírem a presença de metais como ouro, prata, cobre, alumínio, paládio, entre outras possibilidades. Diante ao exposto, leis e instrumentos regulatórios criam obrigatoriedades com o intuito de se obter a implementação de uma gestão adequada para este tipo de resíduo. Inseridos neste contexto, esta pesquisa tem como propósito, a avaliação econômica em ambiental por meio do mapeamento da logística reversa dos resíduos eletroeletrônicos, buscando-se averiguar oportunidades de ganhos econômicos e redução da disposição final de resíduos no Brasil. Para atingir os objetivos do presente trabalho, foi realizado um estudo de múltiplos casos em três empresas de São Paulo, sendo elas, uma fabricante multinacional norte americana de computadores, uma empresa gestora de resíduos eletroeletrônicos, e por último uma fabricante e importadora de eletroeletrônicos, associada a uma entidade representante de eletroeletrônicos, fundadora de uma gestora de resíduos eletroeletrônicos. As informações foram coletadas com base em respostas de entrevistas semiestruturadas, observações diretas, e dados documentais. Os resultados indicaram a existência de ganhos econômicos e oportunidades de potencializar o retorno financeiro às empresas envolvidas na cadeia reversa de resíduos eletroeletrônico no Brasil. Além disso, pôde-se constatar a redução da disposição dos resíduos provenientes dos produtos eletroeletrônicos.

Palavras-chave: Logística Reversa; Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos; Reciclagem

ABSTRACT

Due to the excessive consumption and the commercialization of electronic products on a large scale, electronic waste presents itself as a critical and aggressive situation to the environment. This scenario, which indicates the increase in waste generation, has presented itself as a problem for society due to the limited capacity of the landfills and the imminent risk of contamination of the ecosystems by the harmful substances contained in this waste. On the other hand, the disposal of this type of waste can present good economic opportunities due to the presence of metals such as gold, silver, copper, aluminum, palladium, among other possibilities. In view of the foregoing, laws and regulatory instruments create obligatoriness with the purpose of obtaining the implementation of an adequate management for this type of waste. Inserted in this context, this research has the purpose of the economic evaluation in environmental by mapping the reverse logistics of the electrical and electronic waste, seeking to investigate opportunities for economic gains and reduction of final waste disposal in Brazil. In order to reach the objectives of the present study, a study of multiple cases was carried out in three companies of São Paulo, being a North American multinational manufacturer of computers, a company that manages electrical and electronic waste, and finally a manufacturer and importer of electronics, Associated with a representative entity of electronics, founder of a WEEE manager. Information was collected based on responses from semi-structured interviews, direct observations, and documentary data. The results indicated the existence of economic gains and opportunities to increase the financial return to the companies involved in the reverse electric-electronic waste chain in Brazil. In addition, it was possible to verify the reduction of the disposition of the residues coming from the electronic products.

Keywords: Reverse Logistics; Waste Electrical and Electronic Equipment; Recycling

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representatividade dos estudos de caso na cadeia reversa de REEE	27
Figura 2 - Esboço da revisão bibliométrica e sistemática da logística reversa de REEE	33
Figura 3 - Gráfico da evolução das publicações.....	34
Figura 4 - Gráfico do número de artigos publicados por país.....	36
Figura 5 - Gráfico do número de artigos publicados por periódico	37
Figura 6 - Gráfico dos métodos de pesquisa das publicações	38
Figura 7 - Gráfico dos tipos de pesquisas das publicações	38
Figura 8 - Gráfico das técnicas de coleta de dados das publicações	39
Figura 9 - Processo de mapeamento da logística reversa de REEE.....	47
Figura 10 - Possíveis caminhos do fluxo de transporte de REEE	48
Figura 11 - Mapeamento da cadeia reversa de REEE no Rio de Janeiro, Brasil .	49
Figura 12 - Diagrama dos processos de reciclagem de REEE da “Empresa A” ..	55
Figura 13 - Diagrama dos processos de reciclagem (Empresa de Pré-Processamento PCI)	57
Figura 14 - Representação esquemática operacional da “Empresa B” Gestora ..	64
Figura 15 - Representação esquemática operacional da “Gestora Global e “Empresa C”	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Conjunto de palavras-chave utilizadas na revisão bibliométrica	25
Quadro 2 - Tipos de produtos eletrônicos relacionados a cada publicação	40
Quadro 3 - Síntese da revisão sistemática das publicações científicas	51
Quadro 4 - Valores e percentuais obtidos na venda dos resíduos “Empresa A” ..	59
Quadro 5 - Vantagem econômica anual da “Empresa A”.....	59
Quadro 6 - Base de cálculo para ROI e PAYBACK.....	61
Quadro 7 - Semelhanças e diferenças – Mapeamento dos processos aplicados à logística reversa de REEE.....	78
Quadro 8 - Semelhanças e diferenças – Vantagem econômica.....	79
Quadro 9 - Semelhanças e diferenças – Impacto ambiental.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CIC	Centro Inicial de Coleta
CO ₂	Dióxido de Carbono
EEE	Equipamentos Eletroeletrônicos
EIAE	Estação Intermediária de Armazenamento Externa
EIAR	Estação Intermediária de Armazenamento Regional
EUA	Estados Unidos da América
GRS	Gestão de Resíduos Sólidos
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
PAYBACK	Prazo de Retorno do Investimento de um Projeto
PCI	Placa de Circuito Impresso
PLIM	Programação Linear Inteiro Misto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PRI	Prazo de Retorno de Investimento
REEE	Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos
RFID	<i>Radio-Frequency IDentification</i>
ROI	Retorno Sobre o Investimento
UTR	Unidade de Tratamento e Reciclagem
WEEE	<i>Waste Electrical and Electronic Equipment</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA	19
1.2. OBJETIVOS	20
1.2.1. Objetivo Geral	20
1.2.2. Objetivos Específicos	20
1.3. JUSTIFICATIVAS	21
1.4. DELIMITAÇÃO DO TEMA	22
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2. METODOLOGIA DE PESQUISA	24
2.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
2.1.1. Pesquisa Bibliométrica	24
2.2. DELINEAMENTO E ESCOLHA DA METODOLOGIA DE PESQUISA	25
2.3. SELEÇÃO DO ESTUDO DE MÚLTIPLOS CASOS	26
2.3.1. Seleção - Estudo de Caso 1	27
2.3.2. Seleção - Estudo de Caso 2	28
2.3.3. Seleção - Estudo de Caso 3	29
2.4. MEIOS PARA A COLETA DE DADOS.....	29
2.5. ANÁLISE DE DADOS.....	31
2.5.1. Análise Intercasos e Identificação de Causalidades	31
3. REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA	32
3.1. REVISÃO BIBLIOMÉTRICA SOBRE LOGÍSTICA REVERSA DE REEE	32
3.1.1. Critérios de Seleção das Publicações	34
3.1.2. Evolução das Publicações	34
3.1.3. Locais e Números das Publicações	36

3.1.4. Metodologias das Publicações	37
3.1.5. Tipos de EEE Abordados nas Publicações Científicas	39
3.2. REVISÃO SISTEMÁTICA	41
3.2.1. Avaliação da Logística Reversa de REEE em Termos de Impacto Ambiental	41
3.2.2. Avaliação da Logística Reversa de REEE em Termos de Vantagem Econômica	43
3.2.3. Mapeamento dos Processos Aplicados à Logística Reversa e Reciclagem de REEE	45
4. RESULTADOS – ESTUDO DE MÚLTIPLOS CASOS	52
4.1. ESTUDO DE CASO 1	52
4.1.1. Empresa A (Multinacional Fabricante de Produtos Eletrônicos)	52
4.1.2. Empresa de Pré-Processamento de Placas de Circuito Impresso e Comercialização de Detritos Adquiridos da Empresa A	56
4.1.3. Oportunidade de Ganhos Econômicos e Redução da disposição Final de Resíduos	58
4.2. ESTUDO DE CASO 2	62
4.2.1. Empresa B (Empresa Gestora de REEE)	62
4.2.2. Oportunidade de Ganhos Econômicos e Redução da disposição Final de Resíduos	66
4.3. ESTUDO DE CASO 3	67
4.3.1. Empresa C (Fabricante e Importadora de Eletroeletrônicos) e a Gestora Global	67
4.3.2. Oportunidade de Ganhos Econômicos e Redução da disposição Final de Resíduos	71
5. DISCUSSÃO - ANÁLISE INTERCASOS E IDENTIFICAÇÃO DE CAUSALIDADES	73
5.1. ANÁLISE INTERCASOS E IDENTIFICAÇÃO DE CAUSALIDADES	73

6. CONCLUSÃO 81

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 84

1. INTRODUÇÃO

A globalização, assunto com características bem difundidas nas últimas décadas, juntamente com a crescente industrialização e o aumento da competitividade, contribuem exponencialmente na elevação das quantidades de produtos eletroeletrônicos fabricados nos mais variados segmentos de mercado. Diante disso, grandes quantidades de Equipamentos Eletroeletrônicos (EEE) são comercializadas a nível mundial. Em decorrência deste crescimento, os lixos eletrônicos tornam-se um grande problema no momento do descarte, apresentando-se como uma situação crítica e agressiva ao meio ambiente. Em contrapartida, sob o ponto de vista socioeconômico, o descarte de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) pode apresentar oportunidades comerciais para a economia por possuírem a presença de metais como ouro, alumínio, prata, bronze, entre outras possibilidades (ABDI, 2013).

O REEE é composto por diversos equipamentos que tiveram como finalidade auxiliar na resolução de problemas, reduzir distâncias, esforços e custos, porém perderam seu valor tecnológico agregado devido ao aparecimento de novas tecnologias (WIDMER *et al*, 2005). Por conseguinte, considera-se a placa de circuito impresso (PCI) como o principal componente que aparece no resíduo eletrônico, ela é a plataforma onde outros componentes como processadores, semicondutores e capacitores são montados e representa a base de todos os produtos eletrônicos (LADOU; LOVEGROVE, 2008).

Ressalta-se que, o termo Resíduo de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) tem maior relação com eletrodomésticos e outras aplicações elétricas que foram descartadas, ao passo que, o resíduo eletrônico descreve itens de informática, como computadores e outros periféricos (ROBINSON, 2013). Entretanto, existe a proximidade entre os dois termos, tendo em vista que muitos eletrodomésticos e veículos são equipados com placas de circuito impresso, monitores LCD (liquid crystal display), fontes de alimentação ou baterias (KHÖELER; ERDMANN, 2004).

A divisão de EEE é abrangida pelas áreas de automação industrial, equipamentos industriais, componentes elétricos e eletrônicos, transmissão e distribuição de energia elétrica, telecomunicações, manufatura eletrônica, e eletroeletrônicos domésticos (IPT, 2007).

O setor de EEE é classificado como uma das principais inovações em crescimento contínuo, seja por meio da utilização de novos equipamentos baseados em sistemas digitais aplicados em pesquisas de várias áreas, ou até mesmo no

desenvolvimento de novos produtos e materiais com suas estruturas digitais cada vez mais miniaturizadas e eficientes (ABDI, 2013).

Classificados atualmente como: lixos eletrônicos, resíduos tecnológicos ou REEE, são aqueles resíduos resultantes de EEE que atingiram o seu ciclo final de vida, ou até mesmo aqueles que se tornaram obsoletos perante seus proprietários (ENVIRONMENT AGENCY, 2009).

Segundo os autores Widmer et al. (2005), define-se o termo REEE, como sendo um tipo de resíduo proveniente de aparelhos eletrônicos danificados ou equipamentos eletroeletrônicos que tenham perdidos valores agregados para seus proprietários, nos quais posteriormente são descartados.

A legislação europeia define REEE, como resíduos decorrentes de equipamentos dependentes de correntes elétricas ou campos eletromagnéticos para o funcionamento, e ainda, aqueles projetados com uma tensão nominal inferior a 1000 volts para corrente alternada e até 1500 volts para corrente contínua. Nesta definição, também adotada pelo Brasil, incluem-se os equipamentos projetados para o uso doméstico como os televisores, computadores, telefones fixos, celulares, ferramentas elétricas, impressoras, lâmpadas, brinquedos eletrônicos, entre outros equipamentos de pequeno e grande porte (EUROPEAN UNION, 2003).

No Brasil, em termos práticos, a indústria e comércio classificam os produtos eletroeletrônicos por linhas, tais como: linha branca (equipamentos de cozinha, refrigeração e área de serviço); linha verde (equipamentos de informática e telecomunicações); linha marrom (equipamentos de áudio e vídeo); linha azul (equipamentos eletroportáteis e ferramentas elétricas) (ABDI, 2013).

Em termos de questões ambientais e socioeconômicas, os REEE, ao mesmo tempo em que apresentam problemas de impactos ambientais, podem agregar resultados positivos de âmbito econômico, pois os mesmos fornecem materiais e elementos químicos valiosos como: ouro, prata, cobre, alumínio e paládio. Portanto, as reciclagens destes REEE podem ser proveitosa a níveis econômicos, financeiros e comerciais (BETTS, 2008).

Na perspectiva do impacto ambiental, Williams et al. (2008), afirmam que os principais agravantes estão relacionados com as emissões de toxinas dispostas nos REEE, considerados potenciais poluidores quando descartados em aterros, próximos a lençóis freáticos, entre outros. Além disso, substâncias químicas perigosas e nocivas à saúde podem ser liberadas, tais como: arsênio, mercúrio, cádmio, berílio, bário, chumbo, ocasionando dessa forma, a contaminação do solo, do ar e da água.

Por outro lado, iniciativas governamentais e legislativas podem contribuir para fatores positivos, tanto ambientais, quanto socioeconômicos, por meio da implementação de iniciativas de reciclagens modernas sob o uso de novas tecnologias, contribuindo ao mesmo tempo na geração de empregos e a diminuição de impactos ambientais (UNESCO, 2008).

O mercado mundial incrementa rápido crescimento em vendas de produtos de alta tecnologia. No entanto, esses equipamentos tornam-se obsoletos rapidamente, crescendo exponencialmente o volume de REEE. Pesquisas recentes indicam que esse tipo de resíduo é o que mais cresce no planeta (GREENPEACE, 2012).

A produção de EEE apresenta-se como um dos mercados mais acelerados do mundo, que contribui na elevação do volume de REEE em larga escala. Isso mostra uma explícita mudança da sociedade industrial para uma sociedade de informação embasada no crescente uso da tecnologia da informação e comunicação diante de um cenário cada vez mais competitivo e acelerado (HISCHIER; WAGER; GAUGLHOFER, 2005).

Denota-se no panorama explanado, a importância de um adequado gerenciamento para estes resíduos eletroeletrônicos por meio da logística reversa em termos de ganhos ambientais e econômicos. No âmbito conceitual da Logística Reversa, segundo Rogers e Tibben-Lambre (1998), a mesma pode ser entendida como o processo de planejamento, implementação e controle, sejam elas, de matéria prima, produtos acabados, rejeitados, descartados, nos quais buscam-se dar uma destinação final de retorno ao ciclo de negócios de uma forma ambientalmente correta, embasada em termos legais e com mínimo impacto ambiental possível.

Ainda nessa direção, a logística reversa planeja, opera e controla o fluxo logístico de retorno dos produtos de pós-venda e pós-consumo ao ciclo dos negócios, promovendo valores econômicos, ecológicos e legais. Estes produtos podem ser de baixa durabilidade, alta durabilidade ou semiduráveis, no entanto, a tendência é que os produtos se tornem obsoletos cada vez mais rápido, forçando assim, o aumento das operações de logística reversa (LEITE, 2009).

No contexto da logística reversa e seus critérios legislativos preconizados pelas autoridades governamentais, a legislação ambiental caminha no sentido de tornar as empresas cada vez mais responsáveis pelo ciclo de vida de seus produtos, o que significa que o fabricante passa a ser o principal responsável pela destinação adequada de seus produtos após os processos de pós-venda e pós-consumo. Dessa forma, procura-se reduzir o impacto ambiental provocado por esses resíduos

provenientes de processos produtivos. Outro fator importante é o aumento da conscientização ecológica dos consumidores capazes de promover uma pressão para que as empresas diminuam os impactos prejudiciais ao meio ambiente (CAMARGO; SOUZA, 2005).

A logística reversa significa em seu sentido mais amplo, as operações realizadas no âmbito da reutilização de produtos e matéria-prima secundária, abrangendo todas as atividades logísticas de coletar, desmanchar e processar produtos e peças, buscando-se assegurar um ciclo de recuperação sustentável, respeitando-se os processos legais e econômicos (LEITE, 2009).

Nas legislações fundamentais de cada país, os princípios para o desenvolvimento de instrumentos regulatórios para logística reversa e reciclagem de REEE, são baseados no ciclo de vida dos produtos. Dessa forma, cada país segue seus próprios regulamentos para a gestão dos lixos eletrônicos. No entanto, muitos países têm adotado regulamentos embasados nos regimes adotados pela União Europeia (UNEP, 2011).

A reciclagem é um conjunto de técnicas que tem por finalidade aproveitar os resíduos e reutilizá-los no ciclo de produção de onde foram originados ou em um ciclo de produção paralelo (SANTOS; NASCIMENTO; NEUTIZLING, 2014). O processo de reciclagem inicia-se quando os produtos descartados são desmontados e suas partes são segregadas de acordo com a categoria dos materiais (THIERRY *et al*, 1995).

No cenário legislativo brasileiro, destaca-se a Lei federal 12.305/2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), apresentando-se como a mais específica em relação à logística reversa e reciclagem de REEE. A mesma tem como um dos princípios, o poluidor-pagador, na qual define a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos EEE de forma individualizada, abrangendo todos os membros da cadeia de suprimentos. Perante suas cláusulas, destaca-se o Artigo 33, que relata a obrigatoriedade dos fabricantes, distribuidores, comerciantes, recicladores e importadores, a estruturarem seus sistemas de logística reversa, por meio do retorno dos resíduos eletroeletrônicos dos produtos adquiridos pelos consumidores (BRASIL, 2010).

Na PNRS, destaca-se o Acordo Setorial para Implantação do Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos e Seus Componentes, publicado em 13 de fevereiro de 2013 pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) no edital nº 01/2013.

Este Edital de Chamamento para a Elaboração do Acordo Setorial, busca estabelecer metas de longo prazo para o tratamento de REEE no território brasileiro (GOLDEMBERG; CORTEZ, 2014).

A implantação da logística reversa por meio do acordo setorial poderá ser iniciada pelo Poder Público ou pela iniciativa privada. No edital de chamamento do acordo setorial, preconiza-se os principais requisitos, tais como: Descrição das etapas do ciclo de vida em que o sistema de logística reversa se insere; Possibilidade de contratação de entidades, cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais recicláveis; Descrição da forma de operacionalização da logística reversa; Participação de órgãos públicos nas ações propostas, quando estes se encarregam de alguma etapa da logística a ser implantada; Metas a serem alcançadas no âmbito do sistema de logística reversa a ser implantado; Cláusulas prevendo as penalidades aplicáveis no caso de descumprimento das obrigações previstas no acordo setorial; Definição das formas de participação do consumidor; Avaliação dos impactos sociais e econômicos da implantação da logística reversa (MMA, 2013).

Os acordos setoriais são atos legais de natureza contratual, assinados entre o Poder Público, fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, nos quais remetem à implantação da responsabilidade compartilhada e ciclo de vida dos produtos comercializados, além da adaptabilidade do sistema na gestão de resíduos sólidos (GRS) em relação aos atores envolvidos (CNI, 2014).

Admite-se que, mesmo perante a implementação da lei federal 12.305/2010, os envolvidos (fabricantes, distribuidores, comerciantes, recicladores e importadores) não têm o devido conhecimento sobre suas funções no processo. Até mesmo os consumidores, em sua maioria encontram-se desprovidos de informações necessárias diante de seus papéis acerca dos REEE (OLIVEIRA; BERNARDES, GERBASE, 2012).

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Com base nas publicações existentes sobre a logística reversa de REEE, identificadas na revisão bibliométrica, analisou-se nos artigos científicos as correlações pertinentes ao impacto ambiental, vantagem econômica e mapeamento da logística reversa de REEE. Nas publicações, identificou-se oito artigos relevantes à proposta do presente trabalho, os quais três se referem à Grécia, dois à Turquia, um aos Estados Unidos da América (EUA), um à China, e um ao Brasil.

Do ponto de vista dos aspectos relacionados ao impacto ambiental, pôde-se constatar nos artigos científicos abordagens e menções qualitativas e quantitativas, nas quais evidenciam as consequências negativas provenientes da poluição de combustíveis fósseis, o descarte do lixo eletrônico em aterros sanitários, indicações percentuais na redução da quantidade de dióxido de carbono (CO_2), além da representatividade do mercado informal e sua relevância sob riscos ao meio-ambiente em termos de comparação com o mercado formal (ACHILLAS *et al.*, 2010a; ACHILLAS *et al.*, 2010b; ACHILLAS *et al.*, 2012; KILIC; CEBELI; AYHAM, 2015; ARAS *et al.*, 2015; ASSAVAPOKEE; WONGTHATSANEKORN, 2012; LIU *et al.*, 2016; SOUZA *et al.*, 2016).

Na perspectiva de vantagem econômica, evidencia-se nas publicações científicas, a relação de ganhos econômicos por meio de simulações virtuais e uso de modelos matemáticos, os quais procuram apontar a redução de custos sob cenários otimizados na infraestrutura da cadeia reversa de REEE, a economia de combustíveis no transporte logístico de REEE, a otimização de setores formais e informais de reciclagem de lixos eletrônicos (ACHILLAS *et al.*, 2010a; ACHILLAS *et al.*, 2010b; ACHILLAS *et al.*, 2012; KILIC; CEBELI; AYHAM, 2015; ARAS *et al.*, 2015; ASSAVAPOKEE; WONGTHATSANEKORN, 2012; LIU *et al.*, 2016; SOUZA *et al.*, 2016).

Na abordagem relacionada ao mapeamento da logística reversa de REEE, denota-se nas publicações científicas a importância do delineamento dos processos integrados à coleta, reciclagem, reutilização, e disposição final de REEE, ampliando-se a visão do cenário existente para a adoção de práticas que favoreçam a aplicação de estratégias de otimização da cadeia reversa, buscando-se prover vantagens econômicas e ambientais (ACHILLAS *et al.*, 2010a; ACHILLAS *et al.*, 2010b; ACHILLAS *et al.*, 2012; KILIC; CEBELI; AYHAM, 2015; ARAS *et al.*, 2015; ASSAVAPOKEE; WONGTHATSANEKORN, 2012; LIU *et al.*, 2016; SOUZA *et al.*, 2016).

Em complemento ao exposto, denota-se um número reduzido de estudos na literatura científica que procura demonstrar o mapeamento dos processos da logística reversa, reciclagem e reuso de REEE, evidenciando-se poucas pesquisas com foco na avaliação de ganhos econômicos e ambientais. Por conseguinte, abrem-se lacunas para pesquisas mais aprofundadas sobre o assunto, salientando-se que o foco do presente trabalho é direcionado à realidade brasileira.

Diante ao exposto, desenvolveu-se as seguintes questões de pesquisa:

- (1) Com base no mapeamento da logística reversa de REEE, como se conduz as práticas organizacionais de segregação, reciclagem e destinação final do lixo eletrônico no Brasil?
- (2) Frente às práticas organizacionais de segregação e reciclagem de REEE, existem oportunidades de ganhos econômicos e a redução da disposição final de resíduos?

1.2. OBJETIVOS

Esta subseção tem como finalidade apresentar os objetivos do presente trabalho.

1.2.1. Objetivo Geral

Avaliação econômica e ambiental por meio do mapeamento da logística reversa de REEE em termos de práticas organizacionais de segregação, reciclagem e destinação final do lixo eletrônico no Brasil.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar a revisão bibliométrica e sistemática de publicações científicas correlacionadas à logística reversa de REEE em termos de mapeamento da logística reversa, vantagem econômica e impacto ambiental.

- Avaliar frente às práticas organizacionais de segregação e reciclagem de REEE, as vantagens em termos de ganhos econômicos e redução da disposição final dos resíduos.

1.3. JUSTIFICATIVAS

Justifica-se o presente estudo, inicialmente pelo número reduzido de pesquisas científicas relacionadas ao mapeamento da logística reversa de REEE. Ao efetuar o mapeamento e análise da cadeia de logística reversa de REEE de forma aprofundada, poder-se-á contribuir para a compreensão deste cenário na realidade brasileira, identificando-se as práticas organizacionais, as oportunidades e suas limitações.

De forma a corroborar com a importância do cenário explanado, cita-se o documento produzido pela UNEP (2009), o qual menciona em seu relatório (*Recycling - From e-waste to Resources*) que o Brasil representa um mercado potencial de reciclagem de REEE em vista de seu crescimento econômico e da magnitude do mercado consumidor, tornando-se obrigatória uma estruturação adequada no âmbito de questões ambientais e econômicas.

Neste mesmo contexto, destaca-se a Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010) denominada PNRS, que apresenta a obrigatoriedade da responsabilidade compartilhada na logística reversa de REEE e a implementação de sistemas logísticos que possam promover controles ambientais e a estruturação de ganhos econômicos. Junto a essas leis e obrigatoriedades, fomenta-se o surgimento de um novo mercado de empresas especializadas nos segmentos de coleta, segregação, remanufatura e reciclagem, justificando-se as explorações de pesquisas científicas neste segmento de mercado.

A relevância desse estudo, também se encontra no fato de que em nível global há a necessidade de dar destinos certos aos REEE, de modo a minimizar os impactos ambientais causados pelos mesmos. Na perspectiva das publicações científicas identificadas na revisão da literatura sobre REEE, constatou-se nos artigos de (Achillas *et al*, 2010a; Achillas *et al*, 2010b; Achillas *et al*, 2012; Kilic; Cebeli; Ayham, 2015; Aras *et al*, 2015; Assavapokee; Wongthatsanekorn, 2012; Souza *et al*, 2016; Liu *et al*, 2016), a importância do mapeamento da cadeia reversa com o foco na reestruturação e gestão adequada da mesma, buscando-se promover ganhos ambientais e econômicos consistentes.

Por conseguinte, perante a abordagem da proposta do presente trabalho, que correlaciona pesquisas em termos de impacto ambiental, vantagem econômica, e mapeamento da logística reversa de REEE, pôde-se constatar que publicações em termos de artigos científicos de mesma natureza no Brasil encontram-se pouco explorado, corroborando com as justificativas para a condução da presente pesquisa na realidade brasileira.

1.4. DELIMITAÇÃO DO TEMA

Delimita-se o presente estudo a analisar especificamente os REEE em função de sua complexidade na realidade atual, visto que, além de conter materiais como alumínio, cobre, ferro, plástico, vidro, metais nobres e metais pesados, também apresenta alto teor de poluentes tóxicos e degradadores do meio ambiente.

Este tipo de resíduo é segregado, reutilizado e reciclado por diversos atores envolvidos na cadeia reversa, com práticas de gestão pouco conhecidas, tanto no mercado formal, quanto no informal. Nesse caso, a compreensão das práticas de organizações relacionadas ao tratamento de REEE é de extrema valia para avaliações econômicas e ambientais. No entanto, não será abordado no estudo de múltiplos casos deste trabalho, o mapeamento dos processos da logística reversa de REEE envolvidos no mercado informal, salientando-se que, o foco do presente estudo encontra-se direcionado especificamente para o mercado formal na realidade brasileira, com uma empresa multinacional americana instalada no Brasil, e as demais empresas, tendo como país de origem o Brasil.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

Para melhor compreensão da condução dos assuntos abordados no presente estudo, essa dissertação encontra-se dividida em seis capítulos, sendo eles:

O primeiro capítulo é introdutório, onde são contextualizados os assuntos pertinentes ao tema, de forma a embasar os principais conceitos para a compreensão do trabalho proposto. Além disso, nesta seção apresenta-se o problema de pesquisa, os objetivos, as justificativas, e as delimitações do estudo.

O segundo capítulo é de caráter metodológico, procurando esclarecer as questões técnicas da pesquisa e detalhamento da estrutura da dissertação.

O terceiro capítulo envolve a revisão bibliométrica e sistemática, apresentando os estudos publicados sobre o tema na procura de lacunas de pesquisa.

O quarto capítulo relaciona-se aos resultados do estudo de múltiplos casos, que se refere ao mapeamento dos processos envolvidos na logística reversa de REEE em termos de compreensão das práticas organizacionais de segregação, reciclagem e destinação final do lixo eletrônico, além de averiguar se existem ganhos econômicos e redução da disposição final de resíduos.

O quinto capítulo refere-se à discussão e análise dos intercasos e identificação de causalidades.

O sexto capítulo, refere-se às conclusões da dissertação, com as considerações finais e sugestões para pesquisas futuras, que possam vir agregar valores em relação à continuidade do mesmo.

2. METODOLOGIA DE PESQUISA

Nesta seção, apresenta-se a metodologia utilizada para a realização desta pesquisa, com a finalidade de permitir uma interpretação clara e objetiva dos passos que foram dados, bem como a forma com que foram conduzidos.

2.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Como embasamento inicial do presente trabalho, além da pesquisa bibliográfica tradicional apresentada na etapa introdutória, este estudo também foi conduzido por meio de uma revisão biométrica e sistemática, que permitiu atender os propósitos desta pesquisa, onde os pormenores encontram-se explanados nesta seção.

2.1.1 Pesquisa Biométrica

A revisão biométrica é um estudo que permite mapear e gerar diferentes indicadores de tratamento e gestão da informação e do conhecimento científico, tecnológico e produtividade, necessários ao planejamento e avaliação da ciência e da tecnologia de uma determinada comunidade científica ou país. Classifica-se como um estudo científico quantitativo, definido com a aplicação de tratamentos matemáticos e estatísticos a livros, artigos, entre outras mídias de comunicação (PRITCHARD, 1969).

Segundo Brookes (1969), a bibliometria obedece a lei de Bradford, que trata da produtividade de periódicos científicos, que estima o grau de relevância em determinada área de conhecimento embasada na ideia de que, periódicos mais produtivos formam um núcleo de maior relevância e qualidade para uma área de conhecimento.

O estudo biométrico procura agrupar informações relevantes sobre dada área temática no crescente universo de publicações e bases de conhecimento científico, aumentando-se as possibilidades de armazenamento e circulação estudos científicos trazidos pela informatização, tornando-se um desafio aos pesquisadores para se situarem em suas pesquisas (SANTOS; KOBASHI, 2009).

Na estrutura conceitual do presente estudo, desenvolveu-se inicialmente uma revisão bibliográfica. Por conseguinte, em termos de revisão biométrica, efetuou-se pesquisas nas bases de dados científicas sob o uso de um conjunto de palavras-chave, de tal forma, que foram encontrados nos periódicos trinta e seis artigos, nos

quais por meio de uma revisão sistemática, oito publicações científicas foram identificadas como relevantes ao tema do presente trabalho.

Apresenta-se a seguir no Quadro 1, as palavras-chave utilizadas na revisão bibliométrica:

Quadro 1 – Conjunto de palavras-chave utilizadas na revisão bibliométrica

nº	Conjunto de Palavras-Chave
[1]	"reverse logistics""e-waste""recycling"
[2]	"reverse logistics""waste electrical and electronic equipment""recycling"
[3]	"reverse logistics""waste electrical & electronic equipment""recycling"
[4]	"reverse logistics""electronic products""recycling"
[5]	"reverse logistics""electro electronic equipment""recycling"
[6]	"reverse logistics""weee""recycling"
[7]	"logística reversa""e-lixo ""reciclagem"
[8]	"logística reversa""lixo eletrônico ""reciclagem"
[9]	"logística reversa""REEE" "reciclagem"
[10]	"logística reversa""resíduos de equipamentos eletroeletrônicos""reciclagem"
[11]	"logística reversa""resíduos eletrônicos""reciclagem"
[12]	"logística reversa""resíduos eletroeletrônicos""reciclagem"

Fonte: O autor

Na análise sistemática, procurou-se correlacionar as variáveis pertinentes ao impacto ambiental, vantagem econômica, e mapeamento da logística reversa de REEE. Pôde-se constatar nas publicações científicas, que a maioria dos estudos se refere aos países europeus, os quais encontram-se em realidades diferentes se comparados ao Brasil, sejam eles no contexto ambiental, econômico, social. Ademais, estudos que procuram demonstrar o mapeamento da logística reversa e reciclagem, e a correlação com variáveis em termos de vantagem econômica e ambiental, são consideravelmente escassos, denotando-se uma lacuna de pesquisa na realidade brasileira.

2.2. DELINEAMENTO E ESCOLHA DA METODOLOGIA DE PESQUISA

No delineamento e escolha da metodologia de pesquisa, o presente trabalho é caracterizado como qualitativo e quantitativo, fundamentado no tipo pesquisa exploratória e descritiva. Segundo Bryman (1989), a abordagem qualitativa é primordial para dar ênfase na perspectiva do objeto estudado e no ambiente em que

o mesmo se encontra inserido, além disso, possibilita ao pesquisador a interpretação subjetiva dos indivíduos e a proximidade com o fenômeno pesquisado.

Por outro lado, a abordagem quantitativa segundo Kumar (2011), é utilizada quando se pretende quantificar a variação de um fenômeno, situação ou problema, no qual procura-se determinar a magnitude dessa variação.

Em relação ao tipo de pesquisa exploratória, Sampieri, Collado e Lucio (2006) mencionam que a mesma é necessária quando se tem como objetivo examinar um tema pouco estudado, buscando-se proporcionar maior familiaridade ao estudo.

A pesquisa também é descritiva, pois segundo Sellitz, Wrightsman e Cook (1965), uma pesquisa descritiva busca descrever fenômenos de determinada realidade ou situação em detalhe, permitindo abranger com exatidão as características de uma situação, bem como desvendar a relação entre os eventos.

O método proposto relaciona-se ao estudo de múltiplos casos, o qual se aplica com o propósito principal de estudar e compreender os processos de logística reversa de REEE no Brasil perante atores envolvidos na gestão de segregação e reciclagem de REEE, até sua destinação final. Neste contexto, busca-se informações suficientes para se promover avaliações em termos de vantagens ambientais e econômicas.

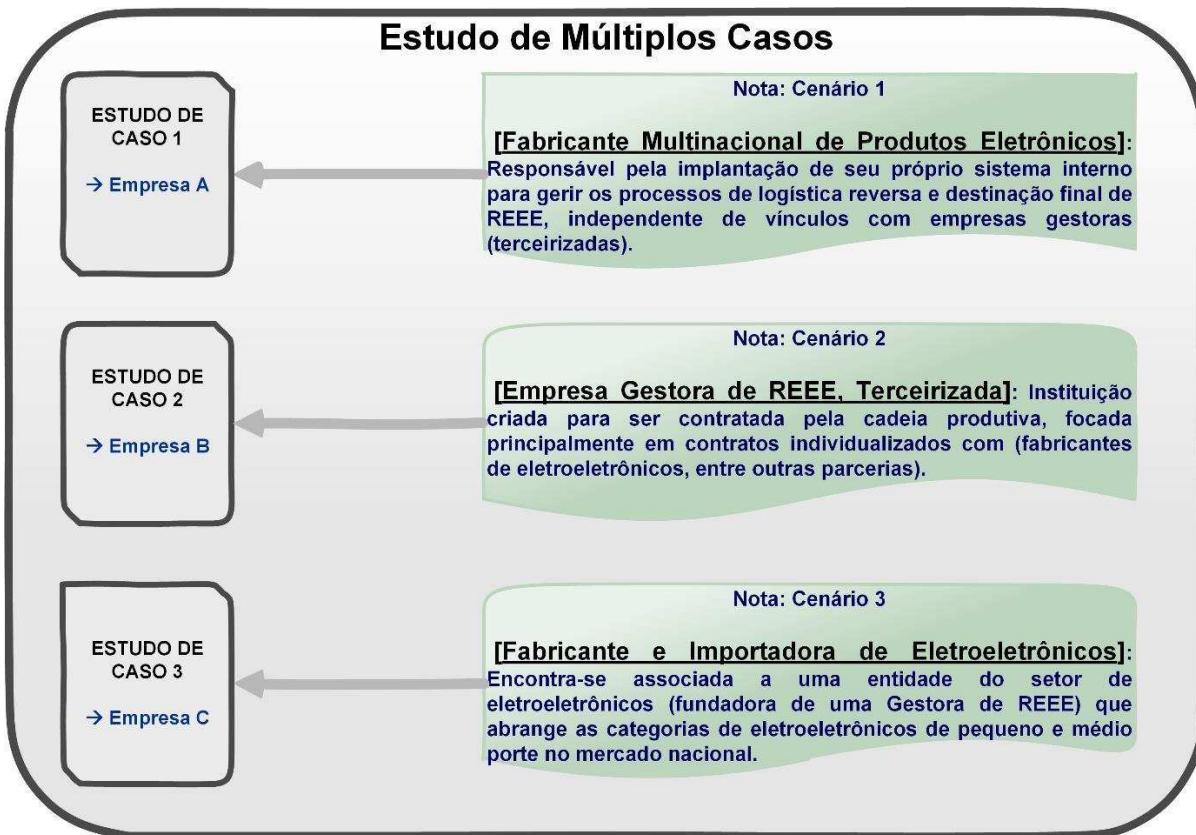
De acordo com Yin (2010), ao se aplicar o método de estudos de múltiplos casos, possibilidades de conclusões analíticas mais consistentes podem ser alcançadas, além disso, são mais convincentes e permitem maiores generalizações.

Em conformidade com a aplicação do método de estudos de múltiplos casos, salienta-se que nas pesquisas das publicações científicas existentes relacionadas ao tema, identificou-se uma predominância na aplicação deste método proposto, evidenciando-se a importância da escolha do mesmo (ACHILLAS *et al*, 2010a; ACHILLAS *et al*, 2010b; ASSAVAPOKEE; WONGTHATSANEKORN, 2012; ACHILLAS *et al*, 2012; KILIC; CEBELI; AYHAM, 2015).

2.3. SELEÇÃO DO ESTUDO DE MÚLTIPLOS CASOS

Em relação ao estudo de múltiplos casos do presente estudo, apresenta-se nesta subseção os três estudos de caso selecionados. A Figura 1 apresenta um esboço dos casos selecionados e a representação de cada cenário na cadeia reversa de REEE.

Figura 1: Representatividade dos estudos de caso na cadeia reversa de REEE



Fonte: O autor

2.3.1 Seleção - Estudo de Caso 1

O estudo de caso 1 foi desenvolvido em uma fabricante multinacional, situada em São Paulo, na qual denominou-se “Empresa A”, atuante no ramo de manufatura de equipamentos e componentes eletrônicos exclusivamente para o segmento de informática. A “Empresa A” é responsável pela fabricação e montagem de computadores, impressoras, servidores e periféricos de informática.

A “Empresa A” foi a criadora de um centro de reciclagem e reuso de REEE, localizado nas adjacências de sua planta fabril, que compreende uma área de 3600 m², com toda a infraestrutura de maquinário e pessoal capacitado para desenvolver os processos de recebimento, desmontagem e tratamento dos REEE.

As informações necessárias para a pesquisa foram obtidas por meio de uma entrevista semiestruturada com o gestor responsável pela unidade recicladora de REEE da “Empresa A”, e por observações diretas nas operações e atividades do centro de reciclagem e reuso de resíduos eletrônicos, onde foi possível compreender os processos de execução envolvidos na segregação e reciclagem dos resíduos.

De forma subsequente ao explanado, o gestor responsável pela unidade recicladora de REEE da “Empresa A” forneceu informações dos processos de reciclagem de uma segunda empresa, especializada no pré-processamento de PCI, sendo a mesma responsável pela compra de resíduos da “Empresa A”, visto que, essa detém a tecnologia necessária para desempenhar os processos de pré-processamento de PCI e posterior comercialização destes detritos com empresas especializadas na extração de metais preciosos.

Ressalta-se também que, na entrevista foram fornecidos ganhos econômicos com os processos de reciclagem e reuso de REEE, como a vantagem econômica na reutilização de matéria prima plástica reciclada da “Empresa A”, além de valores de venda dos demais detritos direcionados à empresa responsável no pré-processamento de PCI.

Na “Empresa A” também foram levantados os investimentos realizados em infraestrutura, máquinas e mão de obra, entre os quais, alinhados aos demais parâmetros, calculou-se o retorno sobre o investimento (ROI) e o período para o retorno do capital investido.

De acordo com Martins (2000), a análise do ROI consiste na melhor maneira de se avaliar o grau de sucesso de um empreendimento por meio da divisão do lucro obtido antes do imposto de renda e antes das despesas financeiras, pelo investimento realizado, de tal forma que se obtenha um valor percentual demonstrativo. O cálculo do Prazo de Retorno de Investimento (PRI) ou Prazo de Retorno do Investimento de um Projeto (Payback), é um indicador análogo ao ROI, que avalia a atratividade do negócio ao aferir qual é o prazo necessário para que o investidor recupere o capital que investido.

2.3.2 Seleção - Estudo de Caso 2

O estudo de caso 2, foi desenvolvido em uma empresa gestora de REEE, localizada na região central de São Paulo, na qual denominou-se “Empresa B”. A instituição tem como propósito principal, contribuir para a implementação da Lei federal 12.305/2010 - PNRS, como agente ativa, buscando-se cumprir com eficiência e promoção de menores preços, os processos envolvidos na gestão da cadeia produtiva junto aos atores envolvidos na logística reversa de REEE.

A “Empresa B” é uma instituição criada para ser contratada pela cadeia produtiva de eletroeletrônicos, buscando-se gerir as obrigações econômicas e ambientais, além da administração financeira da logística reversa de REEE, o

cumprimento de normas e legislações preconizadas na realidade brasileira, a implementação de pontos de coleta de REEE, o direcionamento de resíduos às centrais de tratamento de REEE e a destinação final ambientalmente adequada.

Diante da condução do estudo de caso 2, as informações necessárias para a pesquisa foram obtidas por meio de entrevista semiestruturada com o gestor responsável pela instituição gestora, além de análise documental, onde foi possível compreender e mapear os processos envolvidos na logística reversa, em termos de segregação, reciclagem, e destinação final de REEE.

2.3.3 Seleção - Estudo de Caso 3

O estudo de caso 3, foi desenvolvido em uma empresa fabricante e importadora de produtos eletroeletrônicos, situada em São Paulo, na qual denominou-se “Empresa C”. A “Empresa C” é associada a uma entidade representante do setor de eletroeletrônicos (fundadora de uma gestora de REEE), com abrangência em todo o território nacional brasileiro.

Denota-se com o estudo de caso 3, um cenário diferenciado em relação aos dois primeiros apresentados, visto que a “Empresa C” faz parte de um grupo de fabricantes que se encontra em negociação com a gestora formalizada pela entidade do setor de eletroeletrônicos. No presente trabalho, a gestora está referenciada com o nome fictício “Gestora Global”.

As informações do estudo de caso 3, foram obtidas na “Empresa C” por meio de uma entrevista semiestruturada com o gestor de sustentabilidade, responsável pelo departamento de eletroeletrônicos, de tal forma que, foi possível o entendimento e transcrição das etapas envolvidas no mapeamento da cadeia reversa e os processos de gestão de REEE, fechando-se o estudo de múltiplos casos, proposto no presente trabalho.

2.4. MEIOS PARA A COLETA DE DADOS

O estudo foi desenvolvido com base em respostas de um roteiro de pesquisa, aplicado por meio de entrevista semiestruturada, dados documentais coletados junto às empresas, e por meio de observação. Essas formas de coleta de dados são consideradas por Yin (2010) como complementares, nas quais podem aumentar a confiabilidade das análises dos dados, além do fornecimento de novas fontes de evidência ao pesquisador.

Neste contexto, Yin (2010) pontua que a observação pode ocorrer no acompanhamento direto do fluxo das atividades do trabalho, ou até mesmo de maneira informal, onde pode-se abstrair essas informações da própria visita de campo, as condições físicas dos locais a serem visitados, os processos visíveis à área de trabalho, e documentos disponíveis, de tal forma que possam revelar informações importantes, somando-as com as informações obtidas pelas entrevistas semiestruturadas.

As entrevistas semiestruturadas são consideradas por Yin (2010) como fontes relevantes de informações, podendo ser conduzidas de forma espontânea, onde os entrevistados podem fornecer dados diretamente relacionados ao foco dos estudos, bem como acrescentar dados que os documentos talvez não apresentem.

Salienta-se que para guiar as entrevistas e assegurar que um mesmo conteúdo fosse abordado em todas elas, utilizou-se um roteiro semiestruturado contendo as questões-chave relevantes ao estudo proposto. Os principais tópicos abordados são:

- a) Informações gerais sobre as empresas;
- b) Descrever como se encontra esquematizada a rede de empresas envolvidas na logística reversa de resíduos eletroeletrônicos, retratando-se como se conduz o processo de gestão, as funções e responsabilidades de cada empresa envolvida no sistema, suas especialidades, os processos de recebimento e destinação final de REEE.
- c) Descrever sobre os tipos e categorias de REEE que a empresa recicladora e/ou recicadoras recebe e processa.
- d) Descrever sobre os processos de segregação e reciclagem, em termos quantidades ou percentuais de REEE recebidos, processados, e capacidade total de processamento;
- e) Descrever quais tipos de resíduos segregados e reciclados são reutilizados pela empresa fabricante e/ou fabricantes.
- f) Descrever sobre a valorização dos tipos de resíduos, apontando-se quais são os detritos e suas subcategorias mais e menos valorizadas no mercado.
- g) Descrever sobre a destinação final dos detritos segregados e/ou reciclados após a etapa de processamento.
- h) Em termos de custos e vantagens econômicas para a fabricante, descrever se existem ganhos econômicos. Detalhamento do processo.

- i) Em termos de custos e vantagens econômicas para a recicladora e/ou recicadoras, descrever se existem ganhos econômicos. Detalhamento do processo.
- j) Em termos de custos e vantagens econômicas para a gestora, descrever se existem ganhos econômicos. Detalhamento do processo.

2.5. ANÁLISE DE DADOS

Do ponto de vista da análise dos dados, as respostas obtidas no presente estudo foram avaliadas por meio da análise categorial de conteúdo de Bardin.

Segundo Bardin (1977), a técnica de análise categorial de conteúdo consiste no desmembramento do texto, dentre outras fontes de informações, buscando-se estudá-las em categorias agrupadas analogicamente.

A opção pela análise categorial se respalda no fato de que se relaciona a uma das melhores alternativas quando se quer estudar opiniões, atitudes e valores por meio de informações e dados qualitativos (BARDIN, 1977).

Para analisar os dados de acordo com suas respectivas categorias, realizou-se uma pré-análise e organização de todo o material coletado: transcrições do conteúdo das entrevistas semiestruturadas, fotos e documentos coletados.

Por conseguinte, aplicou-se a exploração de todo o material, constituído da análise dos dados coletados, de acordo com os tópicos e questões-chave apresentadas na subseção anterior.

Por meio dessa técnica, objetivou-se assimilar com clareza os aspectos descritivos e analíticos dos objetos em estudo, facilitando a compreensão de todo o cenário, promovendo-se dados consistentes para discussões dos resultados apresentados nas etapas subsequentes.

2.5.1 Análise Intercasos e Identificação de Causalidades

Nos processos de discussão de dados e informações coletadas, adotou-se a análise de intercasos, com o propósito de constatar semelhanças e diferenças entre os estudos de casos pesquisados, conforme fundamenta (MILES; HUBERMAN, 1994).

Buscou-se apresentar um resumo geral de cada caso, efetuando-se análises cruzadas dos casos, identificando-se convergências e divergências, além de comparações entre os resultados, promovendo-se uma visão ampliada dos objetos em estudo do presente trabalho.

3. REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA

Nesta seção apresenta-se a revisão biométrica sobre logística reversa de REEE, os critérios de seleção das publicações, a evolução das publicações, os locais e números de publicações e seus respectivos periódicos, as metodologias aplicadas nas pesquisas científicas, o segmento de atuação de cada publicação, além da descrição e detalhamento da revisão sistemática aplicada à logística reversa de REEE.

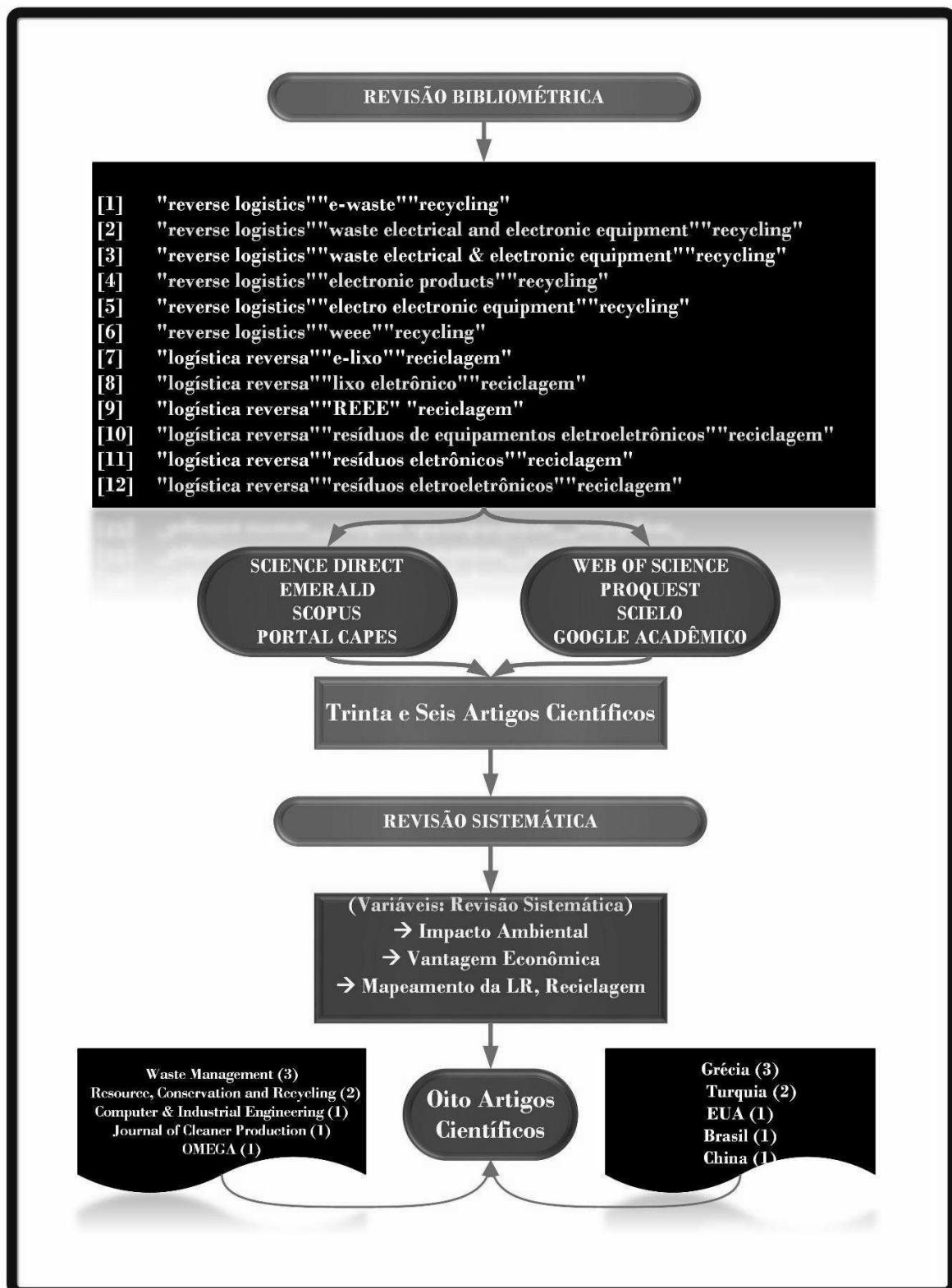
3.1. REVISÃO BIBLIOMÉTRICA SOBRE LOGÍSTICA REVERSA DE REEE

O estudo biométrico procura agrupar informações relevantes sobre determinados temas no crescente universo de publicações e bases de conhecimento científico, nas quais contribuem com o aumento no volume, armazenamento, e circulação de temas e informações científicas por meio da informatização (SANTOS; KOBASHI, 2009).

Por meio de pesquisas nas bases de dados científicas sob o uso de um conjunto de palavras-chave, foram encontrados nos periódicos trinta e seis artigos, entre os quais por meio de uma revisão sistemática, oito publicações científicas foram identificadas como relevantes ao tema do presente trabalho. Destacaram-se nessas publicações os autores Achillas C., Vlachokostas C., e Moussiopoulos N., com três publicações em comum na Grécia, sendo duas em 2010 e uma em 2012. Na sequência, destaca-se o autor Aidonis D., com duas publicações em comum aos três autores citados inicialmente na Grécia nos anos de 2010 e 2012. Ademais, os outros autores restantes apresentam uma publicação cada.

A Figura 2 apresenta o esboço da revisão biométrica e sistemática, indicando o conjunto de palavras-chave, as bases de dados científicas pesquisadas, o número de artigos científicos filtrados na abordagem da revisão biométrica, as variáveis aplicadas na revisão sistemática, o número de artigos filtrados na revisão sistemática, além da apresentação de seus respectivos países de referência e descrição dos periódicos.

Figura 2 – Esboço da revisão bibliométrica e sistemática da logística reversa de REEE



Fonte: O autor

3.1.1 Critérios de Seleção das Publicações

Nas publicações encontradas na revisão bibliométrica sobre a logística reversa de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, procurou-se analisar nos artigos científicos as correlações de variáveis pertinentes ao impacto ambiental, vantagem econômica, e mapeamento dos processos da logística reversa e reciclagem de REEE.

Identificou-se nessas publicações oito artigos científicos, nos quais respectivamente três relacionam-se à Grécia, dois à Turquia, um nos EUA, um no Brasil, e por último, um na China (ACHILLAS *et al*, 2010a; ACHILLAS *et al*, 2010b; ACHILLAS *et al*, 2012; KILIC; CEBELI; AYHAM, 2015; ARAS *et al*, 2015; ASSAVAPOKEE; WONGTHATSANEKORN, 2012; SOUZA *et al*, 2016; LIU *et al*, 2016).

3.1.2 Evolução das Publicações

Frente ao número de publicações identificadas e correlacionadas na revisão sistemática, percebe-se que não houve aumento de pesquisas sobre o assunto no decorrer dos anos, denotando-se diante disso, uma lacuna de pesquisa científica, na qual se encaixa a proposta deste trabalho, buscando-se contribuir com o tema, porém focando-se na realidade brasileira.

O gráfico da Figura 3 apresenta a uniformidade das publicações ao longo dos anos.

Figura 3 - Gráfico de evolução das publicações



Fonte: O autor

Nas publicações apresentadas, a preocupação e abordagem sobre o assunto se deve a várias razões, tais como:

- Questões ambientais e econômicas relacionadas aos REEE, ao mesmo tempo em que representam problemas relacionados ao impacto ambiental, também podem contribuir como recursos de valores econômicos consideráveis por possuírem nesses resíduos várias substâncias e matéria-prima de valor para o mercado. Além disso, outro aspecto que deve ser considerado, relaciona-se à importância do mapeamento da logística reversa de REEE na busca por ganhos econômicos, redução de custos e a diminuição da poluição ambiental (ACHILLAS *et al*, 2012).
- Iniciativas governamentais e leis diretrivas dirigidas ao segmento de REEE procuram direcionar as responsabilidades entre as contrapartes (fabricantes, comerciantes, consumidores) por meio de obrigatoriedades de tratamentos adequados para este tipo resíduo, além da implementação de iniciativas de recolha e reciclagem que possam contribuir com o meio ambiente e econômico (ARAS *et al*, 2015; SOUZA *et al*, 2016; LIU *et al*, 2016).
- O rápido avanço da tecnologia causa o encurtamento do ciclo de vida dos produtos eletroeletrônicos, que diante disso resulta no aumento do número de produtos descartados, muitas vezes de forma inadequada e prejudicial ao meio ambiente. Devido a essas preocupações, os governantes passaram a aplicar novas regulamentações a fim de controlar e reduzir a quantidade desses resíduos junto ao meio ambiente (ASSAVAPOKEE; WONGTHATSANEKORN, 2012).
- O lixo eletrônico se relaciona a um dos tipos de resíduos mais críticos, e deve ser tratado de uma maneira adequada para que os mesmos não venham agredir o meio ambiente. Além disso, a coleta e reciclagem de REEE tornou-se obrigatória na maioria dos países do mundo. Dessa forma, a logística reversa de REEE desempenha um papel importante em termos de otimização de sua rede e infraestrutura (KILIC; CEBELI; AYHAM, 2015).

Na perspectiva de evolução das publicações, observou-se uma uniformidade em números de publicações científicas. Verificou-se que, nos períodos de (2010, 2012, 2015, 2016) foram publicados somente dois artigos a cada ano citado. No contexto geral, denota-se uma preocupação uniforme sobre questões em termos de impactos ambientais e econômicos, vantagem econômica, mapeamento da logística reversa, e aplicação de modelos matemáticos de otimização para a logística reversa de REEE, logística reversa em termos de infraestrutura, não existindo um período distinto a cada assunto abordado.

3.1.3 Locais e Números de Publicações

Conforme pode-se observar no gráfico da Figura 4, os países com maiores quantidades de publicações de artigos científicos são a Grécia com três publicações e a Turquia com duas publicações, os demais países como a China, EUA, e Brasil apresentam somente uma publicação cada.

Nas informações apresentadas, nota-se maior tendência de publicação nos países do continente europeu, ademais, essas informações corroboram com Zeng et al. (2013), que classificam a união europeia com uma das mais eficientes do planeta em termos de pesquisas relacionadas à gestão de REEE.

Por outro lado, esses números de publicações demonstram-se pouco expressivos de uma forma geral, promovendo-se aberturas de lacunas de pesquisas para explorações mais aprofundadas sobre o tema.

O gráfico da Figura 4 apresenta o número de publicações científicas relacionadas a cada país, referindo-se à distribuição dos oito artigos científicos da revisão sistemática.

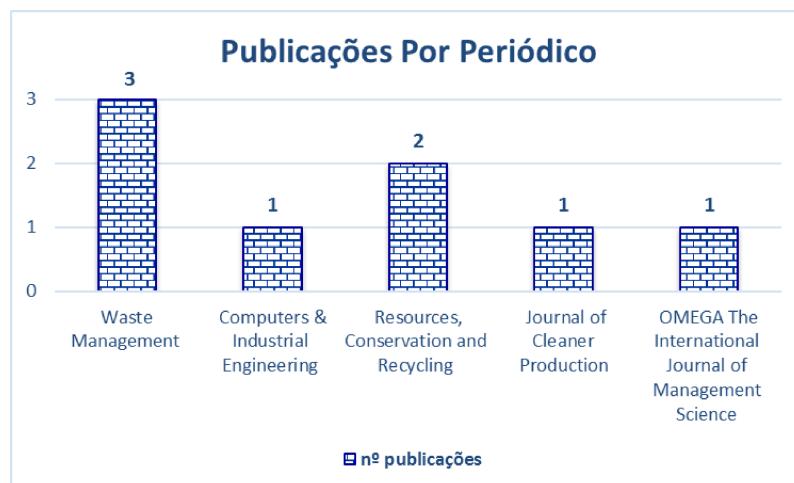
Figura 4 - Gráfico do número de artigos publicados por país



Fonte: O autor

O gráfico da Figura 5 apresenta a quantidade de publicações científicas por periódicos, referindo-se à distribuição dos oito artigos científicos da revisão sistemática.

Figura 5 - Gráfico do número de artigos publicados por periódico



Fonte: O autor

3.1.4 Metodologias das Publicações

Conforme apresentado na Figura 6, verifica-se que os métodos de pesquisa encontrados nas publicações científicas, em sua maioria se relacionam a múltiplos casos, representando um número de cinco publicações para estudos de múltiplos casos e outras três publicações caracterizadas especificamente como modelagem matemática.

Quanto ao tipo de pesquisa indicado na Figura 7, percebe-se na maioria das publicações a fundamentação exploratória, apresentando um número de seis artigos científicos, e somente duas publicações relacionadas ao tipo de pesquisa combinado (descritiva e exploratória).

Em relação as técnicas de coletas de dados, denota-se conforme a Figura 8, que há uma predominância na coleta de dados por meio de observações documentais com quatro publicações científicas, seguida de três publicações com coletas de dados combinadas entre (observações documentais e entrevistas), por fim, somente um artigo representando a coleta de dados combinada (observações históricas de trabalhos acadêmicos e entrevistas).

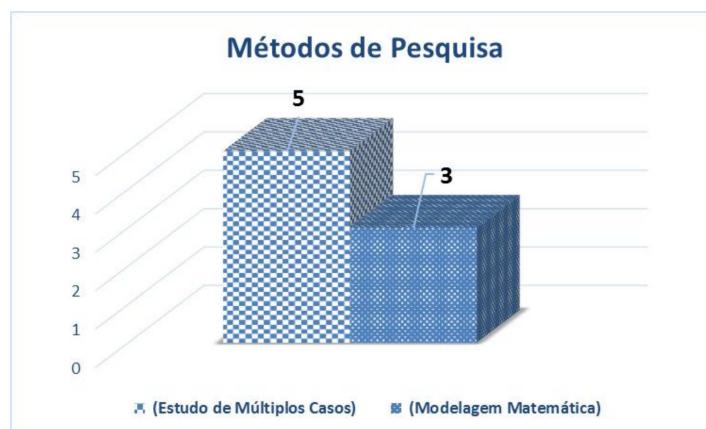
Com a constatação da predominância do uso da metodologia de múltiplos casos nas publicações científicas, denota-se a necessidade dos autores por buscas de informações em cenários diversificados no segmento de resíduos eletroeletrônicos, aplicando-se estudos variados na cadeia reversa, desde usinas recicladoras, centrais

de armazenamento, pontos de coleta, sistemas de transporte logístico e entidades gestoras de REEE. A utilização da metodologia de múltiplos casos demonstra uma necessidade de análise mais abrangente, tornando possível estabelecer uma forma de avaliação mais ampla e robusta do que um estudo de caso único.

Segundo Yin (2010), a aplicação de estudos de casos múltiplos permite uma análise em profundidade junto à abordagem de uma pesquisa, assim como uma análise comparativa de diversos casos, possibilitando uma visão mais ampla e enriquecedora do fenômeno estudado em questão.

O gráfico da Figura 6 apresenta os métodos de pesquisa das publicações científicas, onde se enquadram os artigos científicos da revisão sistemática.

Figura 6 - Gráfico dos métodos de pesquisa das publicações



Fonte: O autor

O gráfico da Figura 7 apresenta os tipos de pesquisa das publicações científicas, onde se enquadram os artigos científicos da revisão sistemática.

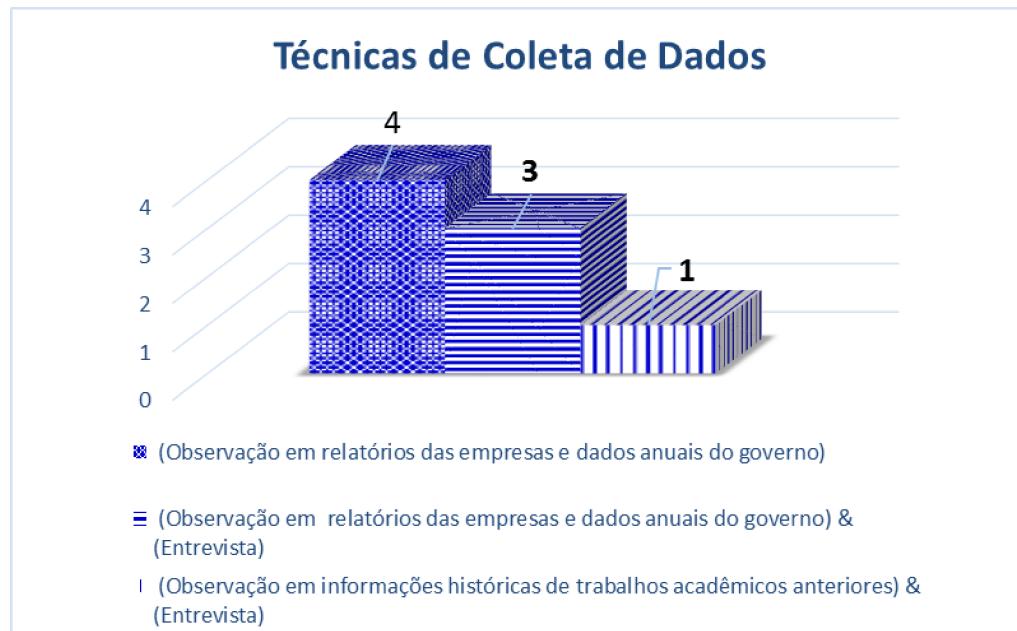
Figura 7 - Gráfico dos tipos de pesquisas das publicações



Fonte: O autor

O gráfico da Figura 8 apresenta as técnicas de coleta de dados das publicações científicas, onde se enquadram os artigos científicos da revisão sistemática.

Figura 8 - Gráfico das técnicas de coleta de dados das publicações



Fonte: O autor

3.1.5 Tipos de EEE Abordados nas Publicações Científicas

Apresenta-se nesta subseção os tipos de produtos eletroeletrônicos abordados nos estudos de cada um dos artigos científicos encontrados na revisão sistemática. Frente à análise sistemática, subdividiu-se os EEE em três conjuntos principais:

- Todas as classes de EEE (eletrodomésticos de grande porte, eletrodomésticos de pequeno porte, equipamentos de informática, equipamentos de telecomunicações, equipamentos de iluminação, ferramentas elétricas, equipamentos médicos, equipamentos de laser e esportes, equipamentos de monitoramento e segurança).
- EEE (computadores - impressoras jato de tinta e impressoras laserjet).
- EEE (computadores - monitores - televisores).

O Quadro 2 apresenta o segmento de EEE e a classificação dos tipos de produtos eletroeletrônicos relacionados a cada publicação.

Quadro 2 - Tipos de produtos eletrônicos relacionados a cada publicação

AUTORES	ANO	LOCAL	TODAS AS CLASSES DE ELETROELETRÔNICOS	COMPUTADORES - IMPRESSORAS JATO DE TINTA E LASERJET	COMPUTADORES - MONITORES - TELEVISORES
ACHILLAS <i>et al.</i>	2010a	Grécia	X		
ACHILLAS <i>et al.</i>	2010b	Grécia	X		
ASSAVAPOKEE; WONGTHATSANEKORN	2012	EUA			X
ACHILLAS <i>et al.</i>	2012	Grécia	X		
KILIC; CEBELI; AYHAM	2015	Turquia	X		
ARAS <i>et al.</i>	2015	Turquia		X	
LIU <i>et al.</i>	2016	China	X		
SOUZA <i>et al.</i>	2016	Brasil	X		
		RESULTADOS	6	1	1

Fonte: O autor

3.2. REVISÃO SISTEMÁTICA

Com a finalidade de estabelecer a revisão sistemática das publicações, realizou-se nesta seção as seguintes subdivisões: Avaliação da Logística Reversa de REEE em Termos de Impacto Ambiental; Avaliação da logística Reversa de REEE em Termos de Vantagem Econômica; Mapeamento dos Processos Aplicados à Logística Reversa e Reciclagem de REEE.

3.2.1 Avaliação da Logística Reversa de REEE em Termos de Impacto Ambiental

Nas análises das publicações, em termos de impacto ambiental, pôde-se constatar menções qualitativas, em que os autores relatam as consequências negativas provenientes da poluição através de combustíveis fósseis CO₂ e o descarte do lixo eletrônico em lixões e aterros sanitários, além da relação e influência de instrumentos regulatórios perante o impacto ambiental. Por outro lado, as menções quantitativas encontradas, relacionam-se somente à redução em percentual de poluentes derivados de combustíveis fósseis CO₂, utilizando-se cenários virtuais de simulações matemáticas com o uso de informações coletadas sobre determinados períodos.

Entre as observações encontradas salienta-se que, os tomadores de decisões (líderes governamentais, gestores envolvidos nos processos de reestruturação de coleta e reciclagem de REEE), ao otimizarem seus processos de logística reversa de REEE, a consequente redução do consumo de combustíveis fósseis poderá prover a diminuição de CO₂. Por conseguinte, pôde-se averiguar junto às simulações virtuais na Macedônia, Grécia, que os resultados aproximados apontam para uma redução de 5% de poluentes CO₂ (provenientes de combustíveis fósseis) por consequência da economia de combustíveis gerada junto às simulações matemáticas (ACHILLAS *et al*, 2012).

Do ponto de vista da perspectiva de melhores escolhas das localidades para as implantações das unidades recicladoras de REEE na Turquia, as simulações indicam que os melhores locais se encontram nas cidades, Ancara, Istanbul e Izmir. Consequentemente, em termos de impacto ambiental, sugere-se que, se os tomadores de decisões adotarem essas configurações, haverá a minimização considerável dos riscos de resíduos eletrônicos irem para aterros sanitários (ARAS *et al*, 2015).

Nos processos de otimização da logística reversa de REEE provenientes de simulações matemáticas, obteve-se em alguns cenários, localidades ótimas para duas cidades da Grécia: Messologhi e Kavala. Por conseguinte, metas legislativas para a coleta e reciclagem do lixo eletrônico poderão ser alcançadas, consequentemente serão minimizados os riscos relacionados ao impacto ambiental devido aos processos otimizados e bem estruturados na logística reversa destes resíduos. Além disso, reduz-se a possibilidade de resíduos dos REEE irem para aterros sanitários e consequente redução de poluentes provenientes de combustíveis fósseis CO₂ na atmosfera (ACHILLAS *et al.*, 2010a).

A otimização de processos aplicáveis à logística reversa de REEE, em específico aos pontos de recolha e reciclagem na região restrita à Macedônia, a simulação demonstrou a possibilidade de se obter a redução de poluentes fósseis CO₂ e a consequente redução do impacto ambiental (ACHILLAS *et al.*, 2010b).

Na perspectiva relacionada ao impacto ambiental em termos de legislações voltadas para o tratamento adequado de REEE, por não existirem leis federais que proíbam essas ações, o lixo eletrônico tem como destino final os aterros sanitários no Texas, EUA. Um problema que se não tratado adequadamente poderá a longo prazo ocasionar sérios danos ao meio ambiente (ASSAVAPOKEE; WONGTHATSANEKORN, 2012).

Ainda na concepção de âmbito ambiental, o cenário de simulação apresenta as melhores escolhas de localidades para a implantação de recicadoras e pontos de armazenamento de REEE, nas quais vinte e uma cidades da Turquia se relacionam como favoráveis. Denota-se que, ao se aplicar essa configuração a redução do impacto ambiental seria positiva, diminuindo a possibilidade do direcionamento dos lixos eletrônicos aos aterros sanitários (KILIC; CEBELI; AYHAM, 2015).

Em termos de dimensões entre o mercado formal e informal de REEE no Rio de Janeiro, Brasil, há de se destacar a representatividade do mercado informal e sua relevância na cadeia reversa. A mensuração deste segmento envolvido na informalidade, é um passo inicial para a promoção de meios que possam reduzir potenciais riscos ao meio-ambiente. Além disso, proporciona uma visão ampliada de gestão estratégica para o fortalecimento do mercado formal, evitando-se que este tipo de resíduo possa ser direcionado para lixões e aterros sanitários. A influência de leis e instrumentos regulatórios na atual realidade brasileira, também é fator relevante no âmbito de questões ambientais (SOUZA *et al.*, 2016).

Do ponto de vista da falta de controle sobre os setores formais e informais de reciclagem de lixo eletrônico na China, a deficiência de subsídios do governo na tratativa do REEE, a produção acelerada de equipamentos eletrônicos, e o volume de resíduos gerado em grandes proporções, acarretam sérios riscos de contaminações ao meio-ambiente e à população. Além disso, sabe-se que os setores informais não utilizam tecnologias adequadas para o tratamento deste tipo de resíduo, colocando em risco esses trabalhadores, além da falta de controle sobre o descarte adequado do lixo eletrônico em lixões e aterros sanitários. Evidencia-se nessa situação, o agravamento do impacto ambiental, que pode ser levado a proporções imensas, e de prejuízos consideráveis aos ecossistemas (LIU *et al*, 2016).

3.2.2 Avaliação da Logística Reversa de REEE em Termos de Vantagem Econômica

Na avaliação da logística reversa em termos de vantagem econômica, percebe-se nas publicações dos artigos científicos, que os autores procuram relatar o ganho econômico, em sua maioria, por intermédio de simulações virtuais e uso de seus modelos matemáticos, procurando-se apontar a redução de custos sobre dados e informações coletadas em períodos pré-determinados. Por conseguinte, identificou-se em algumas publicações que, apesar de relatarem possibilidades de ganho econômico em suas pesquisas, as mesmas não apresentam números ou percentuais em termos quantitativos. Somente dois artigos científicos fizeram menções quantitativas em termos de vantagem econômica.

Segundo Achillas *et al.* (2012), observações a respeito de resultados positivos em termos de vantagens econômicas podem ser obtidas junto aos tomadores decisões da Grécia, que se encontram relacionados às entidades governamentais e gestores responsáveis pelos processos de logística reversa de REEE, caso os mesmos venham adotar o modelo de simulação baseado na programação linear objetiva multicritério. Na pesquisa científica, o modelo sugerido pode auxiliar na redução de custos de transporte, redução nas taxas de utilização de containers, além da economia de consumo combustíveis fósseis envolvidos na logística reversa de REEE. Os autores também apresentam como resultados quantitativos dessas simulações, a obtenção de uma economia de 545 mil Euros, considerando-se dados baseados entre os anos de 2005 a 2008 na Macedônia.

No mesmo cenário relacionado à vantagem econômica, Achillas *et al.* (2010a) sugerem que o uso do simulador matemático multicritério de localizações ótimas para

a implantação de usinas de tratamento de resíduos eletroeletrônicos, pode prover minimizações nos custos de transporte. A viabilidade econômica é fortemente relacionada à localização ótima dessas usinas recicadoras de REEE. Constatou-se nas simulações, uma economia anual de custos na ordem de 235 mil Euros, considerando-se os cenários voltados para as cidades Messologhi e Kavala na Grécia.

Resultados de simulações matemáticas por meio da otimização na infraestrutura da cadeia reversa de REEE, demonstra que a implementação de estações intermediárias de armazenamento e unidades recicadoras estrategicamente distribuídas na Macedônia, Grécia, pode contribuir com ganhos econômicos se forem implementadas prática, além de promover a redução de custos no sistema de transporte e economia de combustíveis (ACHILLAS *et al*, 2010b).

Nas otimizações da cadeia reversa por meio de simulações matemáticas realizadas na Turquia, os resultados indicam que as melhores configurações de localidades para a abertura de instalações de reciclagem de REEE se encontram nas cidades de Ancara, Istambul e Izmir. Essas configurações podem promover vantagens econômicas em termos de redução de custos relacionados a recolha de REEE de seus pontos de coletas, até as unidades recicadoras (ARAS *et al*, 2015).

A reestruturação da cadeia reversa de REEE na Turquia, por meio de melhores escolhas de localidades para a implantação de unidades recicadoras, pontos de coleta e centrais de armazenamento do lixo eletrônico, indica a possibilidade de redução de custos em sua infraestrutura e ganhos econômicos consistentes (KILIC; CEBELI; AYHAM, 2015).

Ainda nessa mesma direção, simulações realizadas através do modelo matemático de programação linear inteiro misto (PLIM), nas quais relacionou-se 254 municípios do Texas, indicam como resultados otimizados, 99 possíveis municípios favoráveis para se projetar as unidades de processamento e reciclagem de REEE. Essas configurações, se adotadas na prática, podem promover ganhos econômicos, tais como: a redução de custos logísticos de transporte de resíduos e redução de custos de armazenamento de depósitos de resíduos (ASSAVAPOKEE; WONGTHATSANEKORN, 2012).

Buscando-se a possibilidade de obtenção de vantagens econômicas no Rio de Janeiro, Brasil, Souza *et al.* (2016) relatam que, ao se considerar um sistema de coleta híbrido e diversificado com pontos de coleta em lojas de produtos eletroeletrônicos, estações de metrô, bairros, além de implantações e integração de empresas cooperativas nos processos de pré-tratamento de reciclagem e reuso de REEE,

ganhos econômicos poderão ser alcançados e explorados, além de corroborar com a redução do quadro de setores envolvidos na informalidade.

Em termos de vantagens econômicas na China, há de se destacar a representatividade do mercado informal no processamento de REEE. Os setores informais representam prejuízos econômicos ao país, visto que o mercado informal se encontra em vantagem competitiva, delimitando-se ganhos econômicos ao mercado formal. A reestruturação do segmento de REEE e a melhoria de subsídios do governo no mercado formal podem trazer benefícios econômicos se implementados adequadamente (LIU *et al*, 2016).

3.2.3 Mapeamento dos Processos Aplicados à Logística Reversa e Reciclagem de REEE

Na descrição dos processos de mapeamento, segundo Achillas *et al.* (2010b), os requisitos mínimos para qualquer sistema de gestão de REEE referem-se a estruturação estratégica da cadeia reversa e o manuseio adequado de categorias de produtos eletrônicos, tais como: grandes eletrodomésticos, pequenos eletrodomésticos, equipamentos de informática, equipamentos de telecomunicações, equipamentos de iluminação, ferramentas elétricas, brinquedos eletrônicos, dispositivos médicos, equipamentos eletroeletrônicos de laser e esportes, instrumentos eletroeletrônicos de monitoramento e controle.

Achillas *et al.* (2010b) defende que a adoção de uma estratégia integrada deve incluir a coleta, sistema de transporte e armazenamento, reutilização, reciclagem, e o tratamento de resíduos perigosos sob o dimensionamento de diversas etapas.

De acordo com a representação da Figura 9, pode-se observar a descrição dos processos, iniciando-se pelo recebimento dos EEE em fim de vida representado pelo bloco A, o qual apresenta a conexão direta com o bloco B, indicando os diversos pontos de coletas de REEE, tais como: Pontos de Coletas de REEE distribuídos no município; Pontos de Coletas de REEE distribuídos nas escolas; Pontos de Coletas de REEE distribuídos em varejistas; Pontos de Coletas distribuídos em lojas reparadores de produtos; Pontos de Coletas distribuídos em revendedores de sucatas.

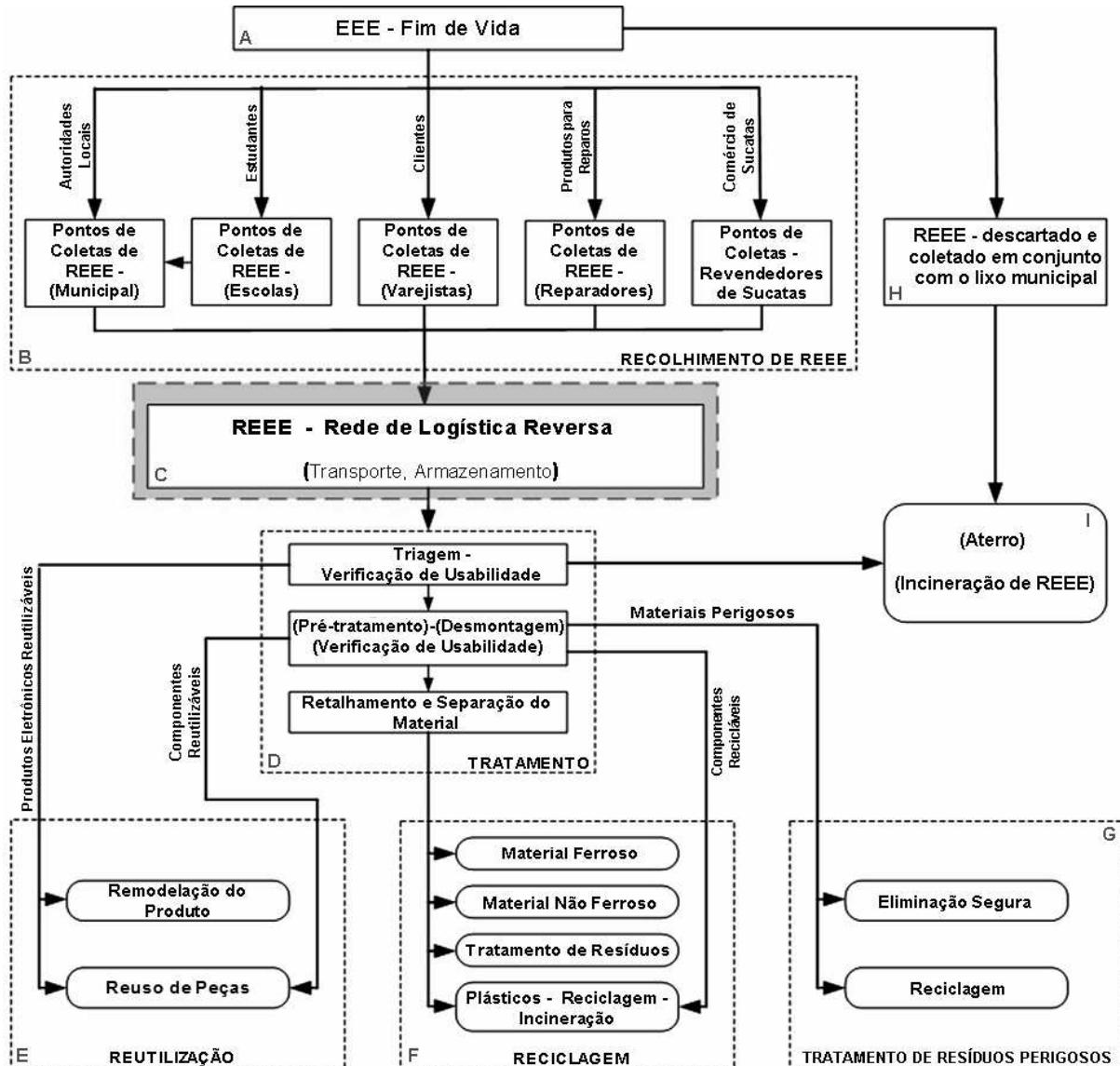
Após a coleta de REEE, conforme apresentado no bloco B, estes resíduos eletroeletrônicos adentram o bloco C, que representa a rede de logística reversa relacionada ao processo de transporte e armazenamento temporário. Na etapa seguinte, denominada bloco D, atribui-se as funções de triagem, verificação da

usabilidade, o aproveitamento de peças funcionais, além da desmontagem de módulos e o retalhamento das peças.

Sequencialmente, as outras etapas dos processos são supridas através do bloco D, tais como: materiais perigosos, peças e módulos. Conforme pode-se observar, o bloco E relaciona-se à etapa de remodelação e reuso de peças e módulos, nas quais foram consideradas reutilizáveis. Já o bloco F, é o responsável pelo aproveitamento de matérias-primas, tais como: matérias ferrosos, materiais não ferrosos, materiais plásticos, além da incineração e o tratamento de resíduos. O bloco G relaciona-se ao tratamento de materiais perigosos, promovendo aos mesmos, a eliminação segura de seus detritos, e a reciclagem dos materiais e suas substâncias químicas aproveitadas.

Por fim, há de se destacar a conexão entre o bloco A (EEE - Fim de Vida) junto ao bloco H (REEE - Descartado e Coletado em Conjunto com o Lixo Municipal), apresentando uma conexão direta ao bloco I (Aterro - Incineração de REEE), no qual, este último bloco, também recebe os detritos proveniente do bloco D.

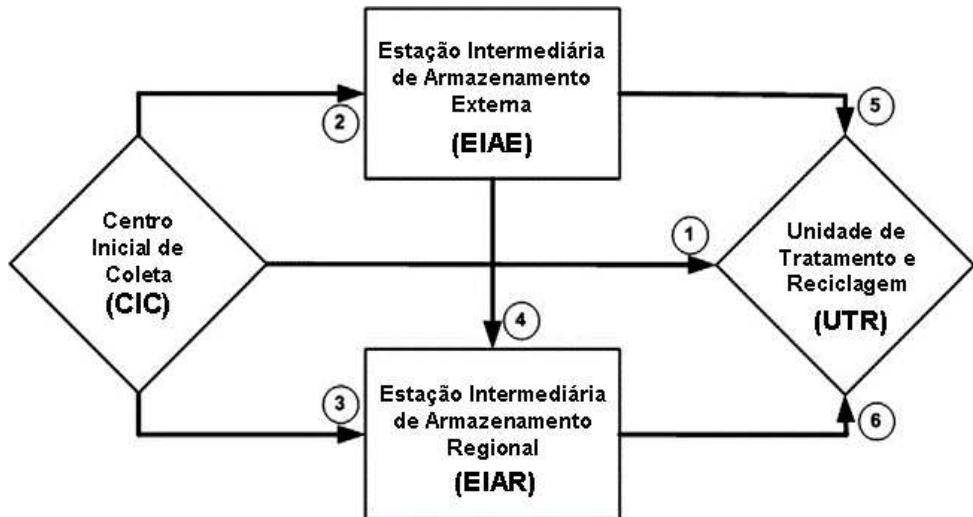
Figura 9 - Processo de mapeamento da logística reversa de REEE



Fonte: Adaptado de Achillas *et al.*, 2010b

A Figura 10 representa genericamente os possíveis fluxos de transporte e armazenamento temporário dos REEE. O bloco inicial refere-se ao Centro Inicial de Coleta (CIC), o qual estabelece conexões com a Estação Intermediária de Armazenamento Externa (EIAE) e a Estação Intermediária de Armazenamento Regional (EIAR), além da conexão direta com a Unidade de Tratamento e Reciclagem de REEE (UTR). De acordo com os resultados complementares de Achillas *et al.* (2010b), com a aplicação de programações matemáticas, é possível otimizar os fluxos de transporte, além de indicar os melhores pontos para instalações de estações intermediárias de armazenamento de REEE, promovendo-se a redução de custos nos sistemas transportes, a economia de combustíveis, e a diminuição de poluentes fósseis CO₂ liberados na atmosfera.

Figura 10 - Possíveis caminhos do fluxo de transporte de REEE

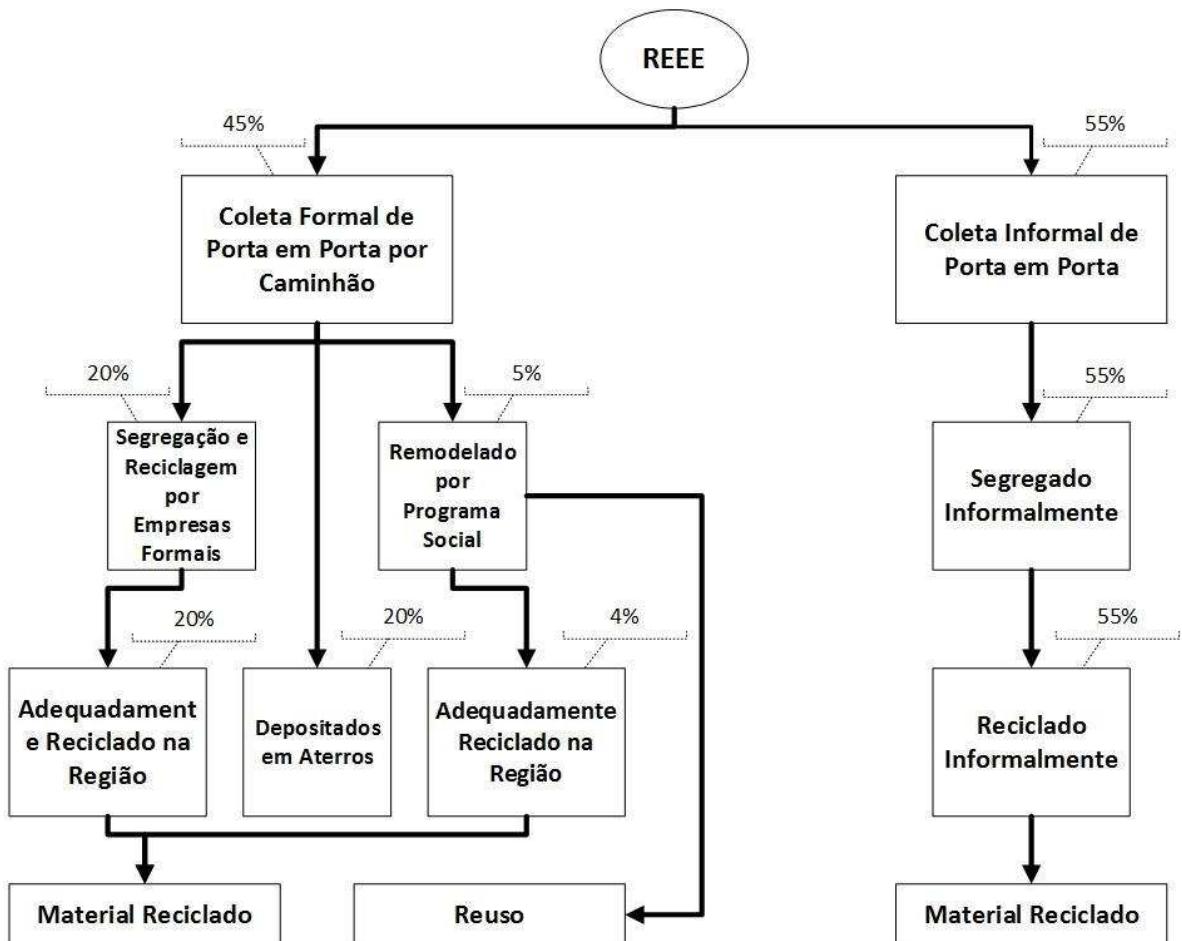


Fonte: Adaptado de Achillas *et al*, 2010b

No cenário brasileiro, Souza *et al.* (2016) procuram evidenciar a cadeia reversa do Rio de Janeiro, destacando-se a representatividade do mercado informal. As informações apresentadas na Figura 11 indicam valores aproximados, visto que não há dados disponíveis que especificam o montante total de REEE gerado no Rio de Janeiro, Brasil. Os autores destacam a relevância na descrição deste cenário, pois permite perceber a dimensão do setor envolvido na informalidade quando comparado ao mercado formal.

De acordo com a representação de Souza *et al.* (2016), denota-se que o mercado informal tem uma abrangência superior ao formal em termos de quantidades de REEE coletados, segregados e reciclados. No cenário geral, o mercado informal apresenta-se com o percentual de 55% na região citada, contra 45% do mercado instituído sob empresas formais, denotando-se a fragilidade atual do setor legalizado na localidade apresentada. Por essa razão, evidencia-se a prioridade de se criar alternativas favoráveis para a reversão desta situação atual.

Figura 11 – Mapeamento da cadeia reversa de REEE no Rio de Janeiro, Brasil.



Fonte: Adaptado de Souza *et al*, 2016

Em termos de mapeamento da logística reversa e reciclagem de REEE na China, Liu et al. (2016), enfatizam que a gestão da cadeia reversa no país é muito crítica, onde o setor de reciclagem formal encontra-se subdesenvolvido. O estudo foi conduzido em um ambiente de canal duplo (setor formal e informal) nos processos de reciclagem e reutilização de REEE. A pesquisa apontou uma ligeira vantagem ao setor informal, de tal forma, que o governo deveria promover subsídios substanciais ao mercado formal, buscando-se uma vantagem competitiva justa às empresas legalizadas.

Por outro lado, Liu et al. (2016) citam que na China, dentre outros países em desenvolvimento, o setor informal pode ajudar a reduzir o desemprego e, além disso, o mercado secundário desempenha um papel importante na satisfação das necessidades sociais em termos de produtos de segunda mão e bem-estar social de um país em desenvolvimento.

Nos EUA, Assavapokee e Wongthatsanekorn (2012) estudam 254 municípios do Texas, efetuando-se o levantamento do volume de vendas de produtos eletrônicos e análises dos fluxos de suas cadeias reversas. Por conseguinte, este estudo mencionado no Texas, busca promover a otimização dos pontos de instalações recicladoras, sugerindo-se melhores localidades para a implantação de novas unidades recicladoras que venham beneficiar todo o sistema logístico em termos de redução de custos e ganhos ambientais, caso o modelo matemático sugerido no estudo venha ser utilizado pelos tomadores de decisões e entidades governamentais.

De acordo com o estudo de Kilic, Cebeli e Ayham (2015), o mapeamento dos processos da cadeia reversa de REEE na Turquia busca analisar a estrutura da cadeia reversa no país. Essas estruturas incluem principalmente os locais das instalações de armazenamento do lixo eletrônico, os pontos de coleta, e as usinas recicladoras. Sequencialmente ao mapeamento dos processos na cadeia reversa, aplica-se por meio de modelos matemáticos PLIM, simulações com o intuito de identificar as melhores localidades para a implantação de pontos de coleta, armazenamento e reciclagem de REEE, de modo que possa satisfazer as obrigatoriedades indicadas pela Diretivas da União Europeia em termos de ganhos ambientais e econômicos.

Aras et al. (2015), por meio do mapeamento da logística reversa de REEE na Turquia, buscaram avaliar nas cidades de Ancara, Istanbul e Izmir, as instalações de reciclagem e os pontos de coleta, em termos de localizações e capacidades de armazenamento. Após o mapeamento, formulou-se um modelo matemático de otimização multi-período, com a função de determinar as melhores localizações para a implantação de instalações de unidades recicladoras, de modo a promover a redução de custos com a infraestrutura da cadeia reversa e a diminuição da quantidade de detritos enviados para aterros sanitários.

Em continuidade às pesquisas sobre o mapeamento da cadeia reversa de REEE, Achillas et al. (2012) abordam a identificação de dois polos de reciclagem e trinta e sete pontos de coleta de lixos eletrônicos distribuídos na Macedônia, Grécia. No mapeamento, levou-se em consideração a infraestrutura dos locais físicos, a capacidade de armazenamento dos containers e veículos de transportes utilizados na captação de resíduos. Diante do levantamento desses dados, aplicou-se simulações matemáticas PLIM multicritério, promovendo-se demonstrativos otimizados em termos de redução nos custos de transporte, diminuição de CO₂ e redução de taxas de utilização de containers.

Achillas et al. (2010a), apresenta inicialmente uma pré-seleção de vinte e duas maiores cidades da Grécia e suas respectivas distribuições de pontos de coleta e armazenagem do lixo eletrônico. Por conseguinte, aplicou-se simulações matemáticas PLIM, de modo a obter uma escolha otimizada de duas cidades para a implantação de usinas de tratamento de REEE. As simulações apontaram que as melhores opções em termos de localidades ótimas se referem às cidades de Messologhi e Kavala, as quais favorecem a redução de custos com transporte e a minimização de riscos relacionados ao impacto ambiental.

Apresenta-se no Quadro 3 a síntese das informações pertinentes à revisão sistemática das publicações científicas, descrevendo-as no formato de um framework com suas seguintes subdivisões: impacto ambiental; vantagem econômica; mapeamento dos processos aplicados à logística reversa e reciclagem de REEE.

Quadro 3 – Síntese da revisão sistemática das publicações científicas

REVISÃO SISTEMÁTICA		Grécia	Grécia	EUA	Grécia	Turquia	Turquia	China	Brasil
Variáveis	Descrição (Abordagens das Publicações Científicas)	(ACHILLAS et al., 2010a)	(ACHILLAS et al., 2010b)	(ASSAVOKEE; WONGTHATSANEKORN, 2012)	(ACHILLAS et al., 2012)	(KILIC; CEBEI; AYHAM, 2015)	(ARAS et al., 2015)	(LIU et al., 2016)	(SOUZA et al., 2016)
Impacto Ambiental	Redução do percentual de CO ₂ e a diminuição no impacto ambiental por meio da otimização no sistema de transporte de REEE	X	X		X				
	Descarte do REEE em lixões, aterros sanitários e o impacto ambiental	X		X		X	X		X
	Influência das legislações de REEE no impacto ambiental	X		X				X	X
	Otimização na infraestrutura da cadeia reversa de REEE e redução no impacto ambiental	X	X		X	X	X		
	Representatividade do mercado informal e suas consequências no impacto ambiental							X	X
Vantagem Econômica	Ganho econômico por meio da otimização no sistema de transporte de REEE e redução no custo de combustíveis	X	X	X	X				
	Ganho econômico por meio da otimização na infraestrutura da cadeia reversa de REEE	X	X	X	X	X	X		
	Ganho econômico por meio da reestruturação da cadeia reversa de REEE em termos do mercado informal							X	X
Map. Processos Aplicados à LR	Mapeamento da cadeia reversa do mercado formal de REEE	X	X	X	X	X	X		
	Detalhamento dos processos de reciclagem e reuso de REEE		X						
	Mapeamento da cadeia reversa de REEE em termos de representatividade do mercado informal							X	X

Fonte: O autor

4. RESULTADOS - ESTUDO DE MÚLTIPLOS CASOS

Esta seção tem por objetivo apresentar o estudo de múltiplos casos propostos no presente trabalho, demonstrando os resultados obtidos.

4.1. ESTUDO DE CASO 1

Apresenta-se nesta subseção os resultados do estudo de caso 1 realizado na “Empresa A”.

4.1.1 Empresa A (Multinacional Fabricante de Produtos Eletrônicos)

O estudo realizado inicialmente refere-se a uma empresa multinacional norte americana de grande porte situada em São Paulo, denominada “Empresa A”. Atuante no segmento de manufatura de componentes e dispositivos eletrônicos para informática, é responsável pela fabricação e montagem de computadores, impressoras, servidores e periféricos de informática de pequeno, médio e grande porte.

Com o advento das obrigatoriedades previstas na Lei 12.305/2010 e no âmbito de soluções sustentáveis, há de se destacar que a “Empresa A” desenvolveu o primeiro ecossistema integrado de soluções relacionadas à sustentabilidade para o mercado de produtos eletrônicos do Brasil, por meio de um centro de reciclagem e reuso, onde são executados os processos de reciclagem de resíduos eletrônicos.

A empresa procura integrar práticas educacionais e sociais, de modo a promover possibilidades de aprimoramento e crescimento profissional por meio de especializações no mercado de tecnologia e sustentabilidade, criando oportunidades de inclusões sociais e categóricas para ampliação de serviços que possam agregar valores para a indústria e à sociedade.

O centro de reciclagem e reuso de resíduos eletroeletrônicos encontra-se instalado na própria área da planta produtiva da “Empresa A”, que abrange uma área de 3600 m², com toda a infraestrutura implantada e equipe qualificada para realizar os processos de recebimento, desmontagem e tratamento dos REEE. No centro de reciclagem, utiliza-se a tecnologia de RFID (Radio-Frequency IDentification) reconhecida mundialmente, que permite identificar todas as características de cada produto que é recebido na doca, sumarizando-as em relatórios de controle para seu próprio uso ao término dos processos. As máquinas, ferramentais e dispositivos denominados essenciais na execução dos processos de reciclagem, incluem:

- a) Maquinário para moagem de plásticos: esteira de separação, esteira de alimentação, moinho, lavadora, tanque de descontaminação, secadora, silo de armazenagem, painéis elétricos de controle.
- b) Maquinário para processamento de plásticos: extrusora, banheira para resfriamento, granuladora e exaustor para a secagem de monofilamentos.
- c) Ferramentas e equipamentos complementares: afiador de facas, parafusadeiras elétricas, alicates, morsas, prateleiras, esteiras rolantes, bancadas móveis para desmontagens, sacos de armazenagem de até 1,5 toneladas/resíduos.
- d) Maquinário para a movimentação de materiais e equipamentos: empilhadeiras elétricas e semi-elétricas.

O Centro de reciclagem e reuso tem capacidade produtiva de processar 360 toneladas de REEE por mês. Atualmente, a quantidade processada corresponde a aproximadamente 33% da capacidade total, ou seja, em torno de 120 toneladas mensais. A infraestrutura relacionada ao sistema de coleta de REEE encontra-se presente em todo o território nacional, permitindo ao consumidor efetuar o descarte adequado dos equipamentos. O sistema implantado garante a rastreabilidade do lixo eletrônico até a chegada ao centro de reciclagem e reuso.

Os REEE são descarregados na doca do centro de reciclagem e reuso, na sequência, os materiais são direcionados para um processo de separação primária, onde são separados os papéis e papelões utilizados nas embalagens dos produtos. Impressoras, computadores e outros equipamentos derivados do segmento de informática, seguem o fluxo para os processos de desmontagem, onde são segregados todos os seus componentes de acordo com o tipo de material, tais como: vidros, plásticos, PCIs, metais, dentre outros.

A principal atividade da recicladora é a reciclagem dos resíduos plásticos, onde 100% desse material é reprocessado para a fabricação da matéria-prima plástica que é reutilizada na linha de produção da “Empresa A” para a fabricação de novas partes plásticas de impressoras, molduras de monitores, teclados, mouses, dentre outros.

Após a etapa de segregação, os plásticos passam por uma avaliação rigorosa para certificar-se que não há nenhum outro material agregado, em caso positivo, os plásticos com impurezas são separados para serem retrabalhados.

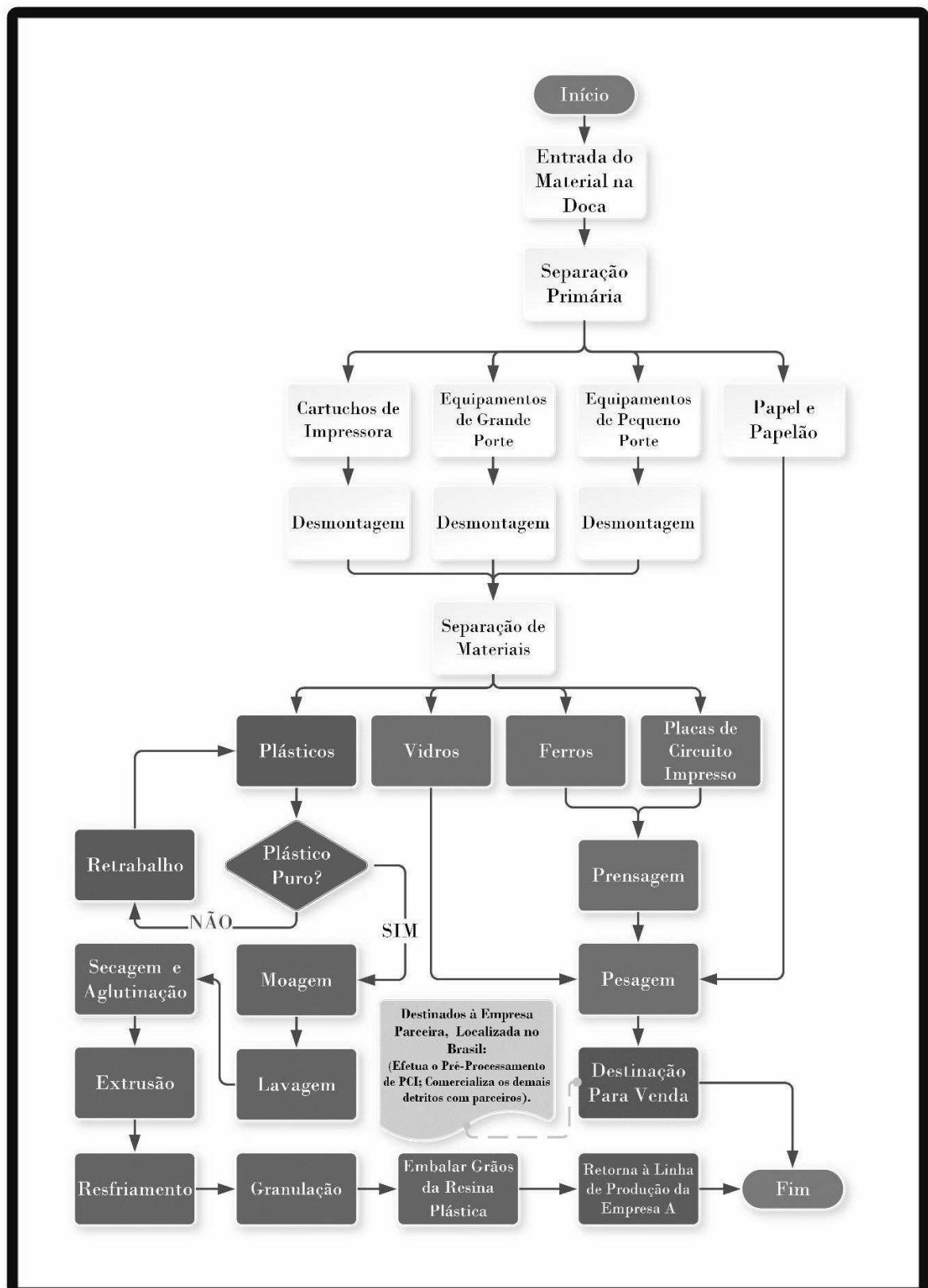
Os materiais plásticos também são separados por cores, os plásticos brancos passam por um processo de moagem, seguidos pelos plásticos cinza e preto. Finalizado esta etapa, os plásticos brancos são submetidos a um processo de lavagem para eliminar todas as manchas e garantir a pureza adequada na geração de matéria-prima.

Para plásticos cinza e preto, o processo de lavagem é comum. A água utilizada na lavadora é de reuso e tratada após cada processo. Os resíduos lavados seguem para um processo de breve secagem e são enviados para o processo de aglutinação para serem homogeneizados e enviados à extrusora. Após o processo de extrusão, o material é resfriado com água corrente de reuso e, após isso, são enviados à granuladora. Os grãos de resina plástica produzidos com o material reciclado são reutilizados na fabricação de equipamentos eletrônicos novos. Em relação aos rejeitos gerados nos processos de reciclagem, os mesmos recebem destinação ambientalmente adequada, de acordo com as normas legislativas.

Os demais resíduos como PCIs, vidros, metais e papelão, são vendidos para uma empresa parceira, no entanto, antes de serem direcionados para venda, os mesmos passam por um processo de prensagem, buscando-se reduzir o volume, na sequência são pesados, encontrando-se prontos serem direcionados à empresa parceira. Há de se destacar que o centro de reciclagem e reuso de resíduos eletrônicos não possui o maquinário e tecnologia para a reciclagem de PCIs e os demais detritos, exceto o material plástico.

A Figura 12 apresenta os processos de reciclagem dos resíduos eletrônicos da “Empresa A”.

Figura 12: Diagrama dos processos de reciclagem de REEE da “Empresa A”



Fonte: O autor

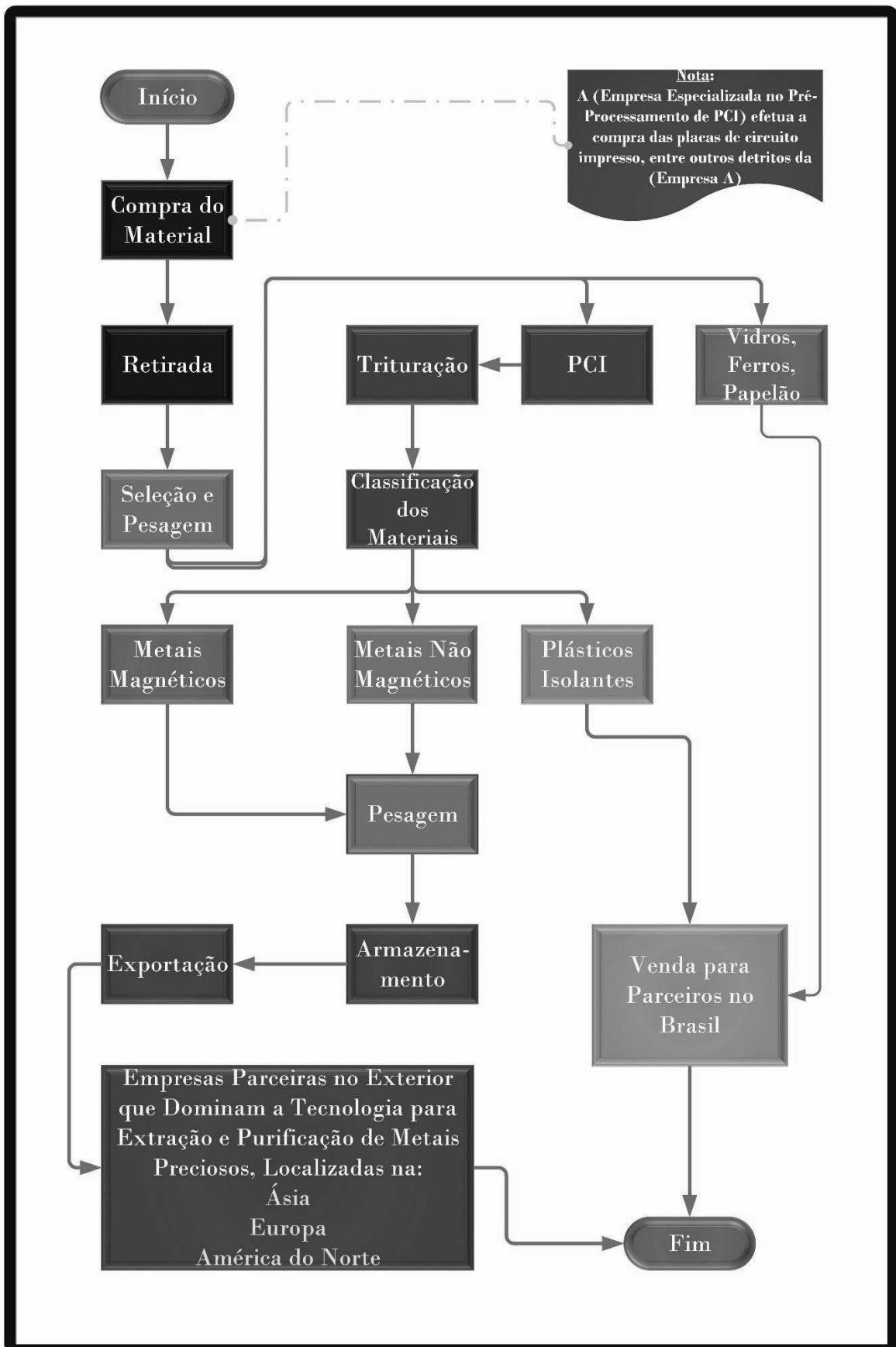
4.1.2 Empresa de Pré-Processamento de Placas de Circuito Impresso e Comercialização de Detritos Adquiridos da Empresa A

Conforme relatado nos processos anteriores, o centro de reciclagem e reuso implantado nas adjacências da multinacional “Empresa A”, não tem o maquinário e tecnologia necessária para a reciclagem de PCIs e metais. Por conseguinte, esses resíduos são comercializados com uma empresa parceira, que possui tecnologia para pré processar as PCIs. Os resíduos eletrônicos de PCIs, dentre outros detritos são comprados pela empresa parceira, que faz a retirada do material no centro de reciclagem e reuso. Ela possui a tecnologia para desempenhar os próximos processos, que consiste nas etapas de seleção, pesagem, Trituração e classificação dos resíduos, de acordo com a característica de cada elemento: metais magnéticos, não magnéticos, plásticos isolantes, entre outros.

O processo de Trituração reduz o tamanho dos detritos entre 1 e 1,5 Cm, facilitando a separação dos materiais. Posteriormente, essas partículas são armazenadas em sacos de uma tonelada, de acordo com o tipo de resíduo. A última etapa de pesagem é necessária para registrar o total de detritos de PCIs que serão exportados, de acordo com as normas internacionais previstas no Acordo da Basileia (2005). Por fim, o total de detritos de PCIs pré-processadas são encaminhados para o processamento final, que ocorre em empresas especializadas na recuperação do ouro, prata, paládio, cobre, chumbo, estanho e outros metais. Segundo o gestor, as empresas que detêm a tecnologia para executar serviços de purificação de metais contidos nas PCIs encontram-se localizadas na Europa, Ásia e América do Norte.

A Figura 13 apresenta os processos executados pela empresa especializada no pré-processamento de PCIs na reciclagem do lixo eletrônico. Materiais isolantes plásticos representam uma quantidade muito pequena nas PCIs. Em virtude de suas características isolantes, eles aparecem em acabamentos e revestimentos de terminais e em alguns componentes eletrônicos. Os isolantes plásticos, juntamente com os demais resíduos, tais como vidros, ferros e papelão, com menores valores agregados, são vendidos para outros parceiros no Brasil. De acordo com o gestor, a empresa especializada no pré-processamento não realiza a reciclagem de PCI no Brasil, pois qualquer processo de extração de metais preciosos relacionado a mesma, representaria custos elevados, além de necessitar de importações de matérias-primas e tecnologia de alto custo.

Figura 13: Diagrama dos processos de reciclagem (Empresa de Pré-Processamento PCI)



Fonte: O autor

4.1.3 Oportunidade de Ganhos Econômicos e Redução da Disposição Final de Resíduos

Em decorrência da vantagem econômica perante a venda de resíduos da “Empresa A” para a empresa especializada no pré-processamento de PCI, constatou-se que o tipo de resíduo de maior valor refere-se a PCIs, visto que, obteve-se com a venda das mesmas o valor de R\$ 950.400,00. Por outro lado, os demais resíduos (Cobre, Ferro, Alumínio, Vidro, Aço Inoxidável, Papelão) somados entre si, contabilizou-se o valor de R\$ 119.334,01. Do total adquirido em vendas, summarizou-se para a “Empresa A” o valor de R\$ 1.069.734,01, destacando-se para as PCIs o percentual de 88,84% do valor total da venda.

No âmbito da redução da disposição de resíduos, pode-se citar que, a “Empresa A” utiliza 100% dos materiais plásticos que retornam à sua linha de produção, não sendo destinados à natureza como poluidores. Por conseguinte, a comercialização dos resíduos restantes, comercializados entre a empresa especializada no pré-processamento de PCI e as empresas parceiras no exterior e Brasil, pode-se considerar que também houve a redução da disposição final de resíduos, pois não foram destinados à natureza de forma inadequada.

Na fabricação de novos produtos, por meio da reutilização do plástico reciclado em sua linha de produção, pode-se destacar que a “Empresa A” economiza anualmente o valor de R\$ 3.286.080,00, pois a mesma não necessita efetuar a compra da matéria-prima virgem.

Levando-se em consideração a despesa anual do centro de reciclagem e reuso da “Empresa A” em termos de recursos humanos e manutenção de máquinas no valor de R\$ 653.372,00, além dos gastos anuais com energia elétrica e água, os quais representam respectivamente os valores de R\$ 840.000,00 e R\$ 14.400,00, contabiliza-se no final, um custo total de R\$ 1.507.772,00.

Portanto, ao efetuar a soma do valor de R\$ 3.286.080,00 (economia por meio da utilização do plástico reciclado) com R\$ 1.069.734,01 (valor total da venda dos resíduos para a empresa parceira, obtém-se R\$ 4.355.814,01 de receita bruta. Ao subtrair R\$ 1.507.772,00 que se refere ao custo total, denota-se uma economia para a “Empresa A” de R\$ 2.848.042,01.

O Quadro 4 apresenta os valores os valores de venda relacionado a cada tipo de resíduo, o valor total, além de seus respectivos percentuais (individuais e acumulado), representando a comercialização dos resíduos da “Empresa A” para a empresa parceira no Brasil.

Quadro 4: Valores e percentuais obtidos na venda dos resíduos “Empresa A”

Valores de Venda dos Resíduos e Seus Percentuais			
Descrição	Valores de Venda	%	% Acumulado
PCI	R\$ 950.400,00	88,84%	88,84% 11,16%
Cobre	R\$ 56.064,73	5,24%	
Ferro	R\$ 28.800,00	2,70%	
Aluminio	R\$ 17.896,03	1,67%	
Vidro	R\$ 12.240,00	1,14%	
Aço Inoxidável	R\$ 2.173,25	0,21%	
Papelão	R\$ 2.160,00	0,20%	
TOTAL	R\$ 1.069.734,01	100%	100%

Fonte: Dados da Empresa

O Quadro 5 apresenta a vantagem econômica anual da “Empresa A” em termos de reutilização de 100% do plástico reciclado e vendas dos demais resíduos, subtraindo-se os custos com recursos humanos e manutenção de máquinas, energia elétrica, e água.

Quadro 5: Vantagem econômica anual da “Empresa A”

Vantagem Econômica	
Descrição	Com Reciclagem / Reuso
Plásticos 100% reutilizados na empresa A (Economia)	R\$ 3.286.080,00
Placas de Circuito Impresso (Venda)	
Ferro (Venda)	
Alumínio (Venda)	
Cobre (Venda)	R\$ 1.069.734,01
Aço Inoxidável (Venda)	
Vidro (Venda)	
Papelão (Venda)	
Total	R\$ 4.355.814,01
Custo	
Recursos Humanos e Manutenção de Máquinas	-R\$ 653.372,00
Energia Elétrica	-R\$ 840.000,00
Água	-R\$ 14.400,00
Custo Total	-R\$ 1.507.772,00
Vantagem Econômica Anual	R\$ 2.848.042,01

Fonte: Dados da Empresa

O investimento necessário em máquinas, infraestrutura e mão-de-obra da “Empresa A” foi de R\$4.413.700,00. Dessa forma, o retorno sobre o investimento é de 38,8 % ao ano e o período para o retorno do capital investido é de 3,10 anos ou 37 meses e seis dias. Os valores detalhados e seus respectivos parâmetros encontram-se expressos no Quadro 6.

Quadro 6: Base de cálculo para ROI e PAYBACK

Descrição	nº
Investimento (Máquinas, Infraestrutura, Mão de Obra)	R\$ 4.413.700,00
Prazo de Depreciação (anos)	10
Depreciação Anual	R\$ 441.370,00
Redução de Custo Anual Obtida	R\$ 2.848.042,01
Depreciação Anual	-R\$ 441.370,00
Base para Cálculo do Imposto de Renda (IR)	R\$ 2.406.672,01
IRPJ + CSLL (Contrib. Social sobre Lucro)	30%
Valor do IR + CSLL Anual	-R\$ 722.001,60
Redução de Custo Líquida Anual	R\$ 1.684.670,01
Redução de Custo Líquida Anual	R\$ 1.684.670,01
Depreciação Anual	R\$ 441.370,00
Geração de Caixa Anual	R\$ 2.126.040,01
Fluxo de Caixa	Ano 0
Investimento	-R\$ 4.413.700,00
Geração de Caixa Anual	x
Fluxo de Caixa Total	-R\$ 4.413.700,00
Fluxo de Caixa	Ano 1
Investimento	x
Geração de Caixa Anual	R\$ 2.126.040,01
Fluxo de Caixa Total	R\$ 2.126.040,01
Fluxo de Caixa	Ano 2
Investimento	x
Geração de Caixa Anual	R\$ 2.126.040,01
Fluxo de Caixa Total	R\$ 2.126.040,01
Fluxo de Caixa	Ano 3
Investimento	x
Geração de Caixa Anual	R\$ 2.126.040,01
Fluxo de Caixa Total	R\$ 2.126.040,01
Fluxo de Caixa	Ano 4
Investimento	x
Geração de Caixa Anual	R\$ 2.126.040,01
Fluxo de Caixa Total	R\$ 2.126.040,01
Fluxo de Caixa	Anos 5
Investimento	x
Geração de Caixa Anual	R\$ 2.126.040,01
Fluxo de Caixa Total	R\$ 2.126.040,01
ROI (Retorno sobre o Investimento)	38,8% ao ano
Payback Descontado a 15% ao ano	3,10 anos

Fonte: Dados da Empresa

4.2. ESTUDO DE CASO 2

Apresenta-se nesta subseção os resultados do estudo de caso 2 realizado na “Empresa B”).

4.2.1 Empresa B (Empresa Gestora de REEE)

A “Empresa B” é uma instituição gestora de REEE localizada na região central de São Paulo, criada para ser contratada pela cadeia produtiva de EEE, com o propósito de gerir com eficiência e eficácia, as obrigações econômicas e ambientais relacionadas à logística reversa de REEE e destinação final ambientalmente adequada para este tipo de resíduo.

Na priorização de atividades envolvidas na gestão de REEE, a “Empresa B” busca efetivamente cumprir os principais requisitos, tais como: Atendimento da Lei Federal 12.305/2010 - PNRS e Edital de Chamamento para a elaboração do Acordo Setorial para a Implantação de Logística Reversa de Eletroeletrônicos; gestão e responsabilidade sob contrato, promovendo-se a minimização de riscos à cadeia produtiva de EEE; maximização da capilaridade dos pontos de coleta e centrais de tratamento de REEE; expansão geográfica de operação por todo território nacional de forma gradativa; minimização de custos logísticos do sistema a nível nacional; fortalecimento de parcerias existentes e o estabelecimento de novas parcerias; promoção da inclusão social nos processos de logística reversa de REEE; cumprimento de normas e legislações federais, estaduais e municipais.

De acordo com a representação esquemática operacional da “Empresa B” apresentada na Figura 14, a instituição tem como uma das prioridades, a expansão do número de empresas da cadeia produtiva de EEE associadas à gestora.

Na gestão dos processos, a “Empresa B” efetua a contratação e implementação dos pontos de coleta de REEE, buscando-se expandir gradualmente o número de instalações no território brasileiro.

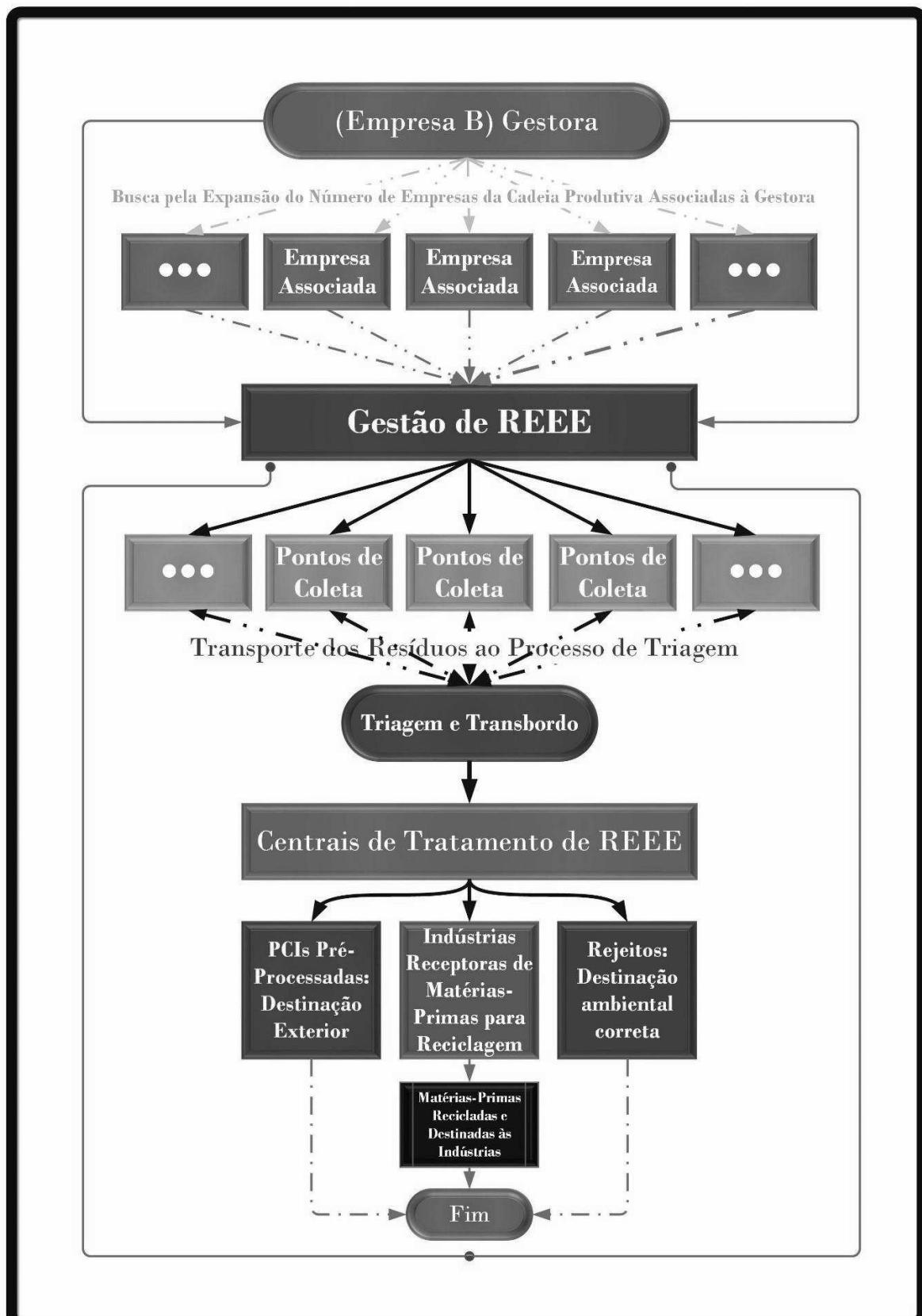
O próximo passo consiste na retirada e transporte dos resíduos eletroeletrônicos para que seja efetuada a etapa de triagem dos mesmos, direcionando-os às centrais de tratamento de REEE. Nessas centrais de tratamento são realizados os processos de segregação e pré-processamento dos resíduos, os quais são encaminhados às indústrias recicladoras de matérias-primas, tais como: recicladoras de materiais ferrosos e seus derivados, recicladoras de plásticos, vidros e papelões.

Após o processo de reciclagem efetuado por recicadoras específicas relacionadas a cada tipo de material, as matérias-primas são comercializadas com as indústrias de cada segmento para a fabricação de novos produtos no mercado brasileiro.

Salienta-se que, nas centrais de tratamento de REEE existem empresas especializadas exclusivamente no pré-processamento de PCIs, no entanto, estes detritos são vendidos para empresas localizadas no exterior que dominam a tecnologia para a recuperação de metais preciosos.

Nas centrais de tratamento de REEE, os detritos não aproveitáveis e considerados rejeitos, recebem destinação ambientalmente adequada de acordo com as normas legislativas vigentes.

Figura 14: Representação esquemática operacional da “Empresa B” Gestora



Fonte: O autor

A estrutura de logística reversa de REEE da “Empresa B” encontra-se formalizada para o atendimento de categorias de eletroeletrônicos, fixando-se aos pontos de coleta a autorização do recebimento de REEE provenientes das categorias que se encaixam: linha verde (equipamentos de informática e telecomunicações); linha marrom (equipamentos de áudio e vídeo); linha azul (equipamentos eletroportáteis e ferramentas elétricas).

Exclui-se da cadeia reversa da “Empresa B” a captação de resíduos relacionados à linha branca (equipamentos de cozinha, refrigeração e área de serviço). Segundo o gestor responsável pela instituição gestora, os REEE derivados de produtos da linha branca são resíduos complexos em termos segregação e reciclagem, além de demandarem de muito espaço para o armazenamento.

As centrais de tratamento de REEE estão distribuídas em sua maioria na região sudeste, em especial no Estado de São Paulo. Levando-se em consideração que os Estados da região sudeste são os maiores geradores de REEE, com aproximadamente 60% do volume total do lixo eletrônico gerado no Brasil, justifica-se a maior abrangência de atuação da “Empresa B” em São Paulo, o qual produz a maior quantidade de REEE, se comparados aos demais Estados da região sudeste. A capilaridade da rede em termos de pontos de coleta e centrais de tratamento de REEE, encontra-se em contínua expansão no território brasileiro.

A quantidade média do lixo eletrônico pré-processado nas centrais de tratamento de REEE distribuída na rede, gira em torno de 60 toneladas por mês. Em relação a capacidade de processamento das centrais de tratamento, as mesmas têm em média, condições de processar entre 40 a 50 toneladas por mês cada unidade.

Nas etapas de direcionamento dos detritos às recicadoras específicas para a recuperação de matérias-primas, o material após a reciclagem segue o fluxo de mercado, de acordo com o tipo de material a ser utilizado nas indústrias de cada segmento. O gestor responsável pela instituição gestora afirma que no Brasil inexiste a prática de utilização de matérias-primas recicladas que retornam às indústrias de EEE, exceto a “Empresa A”, que utiliza o plástico reciclado em sua planta fabril. Os detritos mais valorizados no mercado referem-se às PCIs, que são exclusivamente enviadas para o exterior (Ásia, Europa e América do Norte), os demais materiais como o cobre, ferro, alumínio, plástico, vidro e papelão, são considerados de menores valores agregados em termos de retorno financeiro.

4.2.2 Oportunidade de Ganhos Econômicos e Redução da Disposição Final de Resíduos

Na perspectiva de identificação de oportunidades de ganhos econômicos da “Empresa B”, segundo o gestor responsável pela instituição, a gestora é caracterizada como uma associação civil privada, de caráter sócio ambiental e sem fins lucrativos, inexistindo-se retornos econômicos diretos a mesma. A intenção é operar a logística reversa de REEE com o menor custo possível, dentro de todos os critérios de qualidade e controle ambiental exigido.

Do ponto de vista das empresas fabricantes e importadores de EEE associados à gestora, também não existem ganhos econômicos envolvidos na logística reversa de REEE para as mesmas. O propósito principal da parceria entre as empresas da cadeia produtiva de EEE com a gestora, relaciona-se à obrigatoriedade no atendimento das legislações do país, principalmente a Lei Federal 12.305/2010 – PNRS e o Acordo Setorial para Implantação da Logística Reversa de Eletroeletrônicos, prestes a ser assinado.

Ganhos econômicos para as centrais de tratamento de REEE, recicadoras de matéria-prima e empresas que aderirem a implementação de pontos de coleta de REEE, considera-se retornos financeiros, principalmente quando o Acordo Setorial para a Implantação da Logística Reversa de Eletroeletrônicos for assinado. Além disso, pode-se considerar ganhos econômicos à sociedade, visto que a implantação do sistema de logística reversa de REEE contribui com a geração de novos empregos em escala nacional.

Outro fator importante, refere-se à redução da disposição final de resíduos eletroeletrônicos envolvidos na estrutura operacional da “Empresa B” e destinação final ambientalmente adequada. Levando-se em consideração que são tratados em média 60 toneladas de REEE por mês distribuídas na rede, ao final de um ano 720 toneladas de resíduos não serão destinadas de forma inadequada ao meio-ambiente, número que irá crescer ao longo dos anos com a implementação de novas empresas parceiras no território nacional.

4.3. ESTUDO DE CASO 3

Apresenta-se nesta subseção os resultados do estudo de caso 3 realizado na “Empresa C”.

4.3.1 **Empresa C (Fabricante e Importadora de Eletroeletrônicos) e a Gestora Global**

A “Empresa C” é uma fabricante e importadora de eletroeletrônicos situada em São Paulo, que faz parte de um grupo de empresas associadas a uma entidade do setor de eletroeletrônicos, sendo esta fundadora de uma gestora de REEE com abrangência em todo o território brasileiro. A “Empresa C” é uma das empresas da cadeia produtiva de EEE, que se encontra em negociação com a gestora de REEE, denominada no presente trabalho como Gestora Global, a fim de delegar a mesma, o gerenciamento e implantação do sistema de logística reversa do lixo eletrônico de forma coletiva.

A “Gestora Global”, idealizada pela entidade representante do setor de eletroeletrônicos no Brasil, foi criada para o atendimento das obrigatoriedades previstas na Lei 12.305/2010 – PNRS regulamentada pelo Decreto 7.404/2010, e no Acordo Setorial, prestes a ser assinado, que visa o estabelecimento de metas de recolhimento de REEE e destinação ambientalmente adequada para este tipo de resíduo.

A instituição gestora é fruto de um longo trabalho que faz parte do amadurecimento das indústrias de EEE e desenvolvimento conjunto com a entidade do setor de eletroeletrônicos na busca por soluções mais adequadas para o tratamento e destinação final dos REEE no Brasil.

O atendimento do Acordo Setorial para a Implantação da Logística Reversa de Eletroeletrônicos poderia ser realizado individualmente ou de forma coletiva, no entanto, a alternativa que se mostra mais apropriada após estudos detalhados sob riscos, oportunidades e custos, relaciona-se ao atendimento coletivo às empresas associadas, sendo a opção mais viável técnica e economicamente para as empresas do segmento de EEE. Proposta que se mostra mais viável para a “Empresa C”, entre outras fabricantes e importadoras do mercado de eletroeletrônicos.

O gerenciamento do sistema de logística reversa de REEE delegado à gestora, fundamenta-se na importância da articulação entre os atores envolvidos na cadeia reversa, permitindo que haja eficiência e sinergia de esforços em busca de menores custos às associadas. A adoção da “Gestora Global”, permite a essas empresas

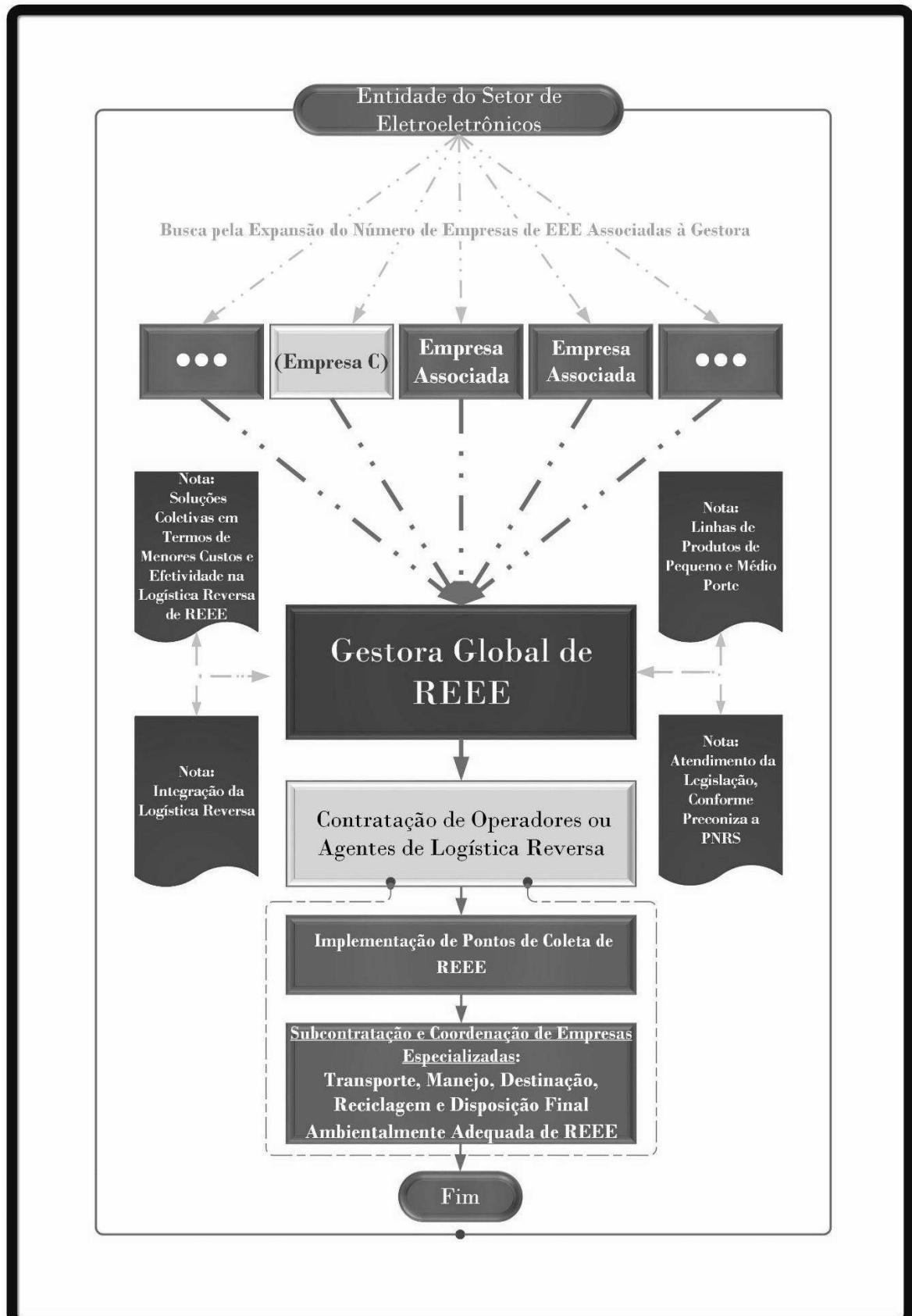
associadas, o compartilhamento de toda a infraestrutura para o recolhimento do lixo eletrônico e sua destinação final ambientalmente adequada, de forma a atender as obrigatoriedades legislativas, além de prover estratégias conjuntas de comunicação e padronização de todo o processo, promovendo-se a eficácia operacional do sistema a ser implantado.

A estrutura operacional e organizacional da “Gestora Global” é apresentada na Figura 15. Inicia-se o processo com o envolvimento da entidade do setor de eletroeletrônicos, buscando-se expandir a quantidade de empresas da cadeia produtiva de EEE associada à gestora, dentre as quais a “Empresa C” é uma das integrantes em negociação.

Nos processos de gestão, atribui-se à “Gestora Global”, a responsabilidade de contratar os operadores logísticos, também classificados como agentes de logística reversa, referindo-se a organizações responsáveis pela implementação de pontos de coleta e subcontratação de empresas especializadas no transporte, manejo, destinação, reciclagem e disposição final ambientalmente adequada do lixo eletrônico.

Delega-se aos operadores logísticos, o compromisso de coordenar os processos envolvidos na cadeia reversa de REEE sob a supervisão da “Gestora Global”, sendo esta responsável por informar às empresas associadas e aos órgãos do governo o total de REEE recolhido e tratado, de acordo com o cumprimento de metas e normas legislativas.

Figura 15: Representação esquemática operacional da “Gestora Global” e “Empresa C”



Fonte: O autor

Estima-se que funcionamento prático e operacional da “Gestora Global” de REEE terá início no decorrer de 2017. O sistema começará a ser implantado em São Paulo e gradativamente expandido para as demais regiões do território brasileiro. O atendimento da “Gestora Global” irá abranger a coleta e tratamento de todos os produtos elétricos e eletrônicos de pequeno e médio porte, em fim de vida, descartados pelos consumidores nos pontos de recebimento constituídos pelo sistema.

A princípio, exclui-se da rede da “Gestora Global”, a coleta de REEE procedente de produtos de grande porte, como televisores, refrigeradores, fogões, máquinas de lavar, secadoras, aparelhos de micro-ondas e ar-condicionado. Segundo o gestor de sustentabilidade, responsável pelo departamento de eletroeletrônicos da “Empresa C”, estes equipamentos serão atendidos por outra instituição gestora de REEE, parceira de uma segunda entidade representante de eletroeletrônicos no Brasil, sendo esta, uma associação que reúne boa parte dos fabricantes de produtos da linha branca (equipamentos de cozinha e refrigeração) e linha marrom (equipamentos de áudio e vídeo).

A distribuição de centrais de tratamento de REEE e empresas recicadoras de matérias-primas encontram-se em sua maioria no Estado de São Paulo, por conseguinte, há expectativas de crescimento consistente do número de empresas envolvidas com o tratamento de REEE no Brasil, principalmente após a assinatura do Acordo Setorial de Eletroeletrônicos. A “Gestora Global”, ao criar o plano de expansão do programa, caso não haja centrais de tratamento de REEE nas outras regiões brasileiras com maiores demandas para tratar o lixo eletrônico, há a possibilidade de que as empresas inseridas no sistema, venham se preparar para expandir seus serviços para essas regiões.

De uma maneira geral, as centrais de tratamento de REEE efetuam o pré-tratamento de REEE, enviando em seguida os detritos para empresas recicadoras de matérias-primas, tais como: plástico, ferro, cobre, alumínio, vidro e papelão, que revendem estes materiais reciclados ao mercado industrial brasileiro. O detrito de maior valor relaciona-se à PCI, sendo direcionado 100% de seu volume para empresas do mercado exterior, especializadas na recuperação de metais preciosos.

Para a recuperação de metais preciosos das PCIs, considera-se o investimento muito elevado para justificar lucratividade na atual realidade brasileira, levando-se em consideração o grau de controle, tecnologia e qualidade das empresas especializadas, instaladas na Europa, Ásia e América do Norte.

4.3.2 Oportunidade de Ganhos Econômicos e Redução da Disposição Final de Resíduos

Em resposta à obrigatoriedade de se atender a Lei 12.305/2010 – PNRS e o Acordo Setorial de Eletroeletrônicos, que visa o estabelecimento de metas de recolhimento de REEE e destinação ambientalmente adequada para este tipo de resíduo, a “Empresa C” optou em fazer parte do sistema coletivo de operação da logística reversa de REEE da “Gestora Global”. Neste contexto, não se aplicam retornos financeiros para a “Empresa C”, e sim custos. A mobilização das fabricantes e importadoras para a implementação da logística reversa de REEE no Brasil, se refere principalmente ao cumprimento das obrigações impostas pelas leis e regulamentações, e por estratégias de marketing.

A “Gestora Global” de REEE é uma instituição sem fins lucrativos, inexistindo-se ganhos econômicos a mesma. A intenção é operar a logística reversa com o menor custo possível às empresas cadeia produtiva de EEE, dentro de todos os critérios de qualidade e controle ambiental exigido, respeitando-se todas as normas e regras estabelecidas nos termos legislativos.

Por outro lado, considera-se ganhos econômicos às empresas envolvidas na coleta, transporte, centrais de tratamento de REEE e recicadoras de matérias-primas, além de cooperativas que podem ser incrementadas no sistema de logística reversa de REEE.

A implementação do sistema de logística reversa é um ganho para a sociedade, tanto em termos ambientais, quanto socioeconômicos. Ao promover a destinação adequada do lixo eletrônico, o ganho ambiental pode ser considerado muito satisfatório. Além disso, diminui-se a extração da matéria-prima virgem, e materiais reciclados contribuem com o mercado industrial em termos de matéria-prima de menor custo.

Considerando-se o sistema em plena atividade, o qual irá gradativamente ocorrer após a assinatura do Acordo Setorial de Eletroeletrônicos e a implementação de todo o sistema de logística reversa de REEE, pode-se afirmar que haverá a redução da disposição final do lixo eletrônico de maneira considerável. Os resíduos não mais serão completamente direcionados para lixões e aterros sanitários, reduzindo-se os gastos com prefeituras, que deixarão de destinar enormes volumes para estas instalações, diminuindo-se significativamente o impacto ambiental. Os rejeitos gerados nas etapas de pré-processamento e reciclagem, irão receber a destinação ambientalmente adequada, conforme preconiza as normas legislativas,

além da supervisão da gestora. Há expectativas de se mensurar na prática, ainda no ano de 2017, a quantidade do lixo eletrônico após a inauguração do sistema em São Paulo, o qual será gerido pela “Gestora Global”.

5. DISCUSSÃO – ANÁLISE INTERCASOS E IDENTIFICAÇÃO DE CAUSALIDADES

Esta seção tem como propósito discutir os resultados dos estudos de caso do presente trabalho, adotando-se a análise dos intercasos e identificação de causalidades.

5.1. ANÁLISE INTERCASOS E IDENTIFICAÇÃO DE CAUSALIDADES

Segundo Miles e Huberman (1994), a análise de intercasos e identificação de causalidades têm como objetivo constatar as semelhanças e diferenças entre os casos pesquisados, por meio de investigações cruzadas, a fim de identificar convergências e divergências entre seus resultados.

Nas análises dos resultados em termos de mapeamento dos processos pertinentes à logística reversa de REEE, pôde-se constatar nos três estudos de caso, que o motivo principal para as empresas efetuarem a implementação de logística reversa com toda sua estrutura funcional, refere-se à obrigatoriedade no atendimento da Lei 12.305/2010 – PNRS e Acordo Setorial de Eletroeletrônicos. Portanto, mesmo com as particularidades de cada cenário apresentado nos casos estudados, os quais encontram-se o estudo de caso 1, com a “Empresa A” e a central de reciclagem e reuso; estudo de caso 2, com a “Empresa B” gestora; estudo de caso 3, com a “Empresa C” e a “Gestora Global”, os resultados são convergentes para o atendimento legislativo.

Nos processos de estruturação e implementação da logística reversa e pontos de coleta de REEE, a “Empresa B” apresenta-se em maior abrangência de atuação no Estado de São Paulo, região que mais produz lixo eletrônico no território brasileiro. Estas informações convergem com os resultados relacionados à “Gestora Global”, que planeja iniciar suas atividades de implementação em São Paulo, expandindo-se gradualmente para as demais regiões do Brasil. No entanto, a situação da “Empresa A” difere-se da “Empresa B” e “Gestora Global”, pois sua infraestrutura operacional relacionada ao sistema de coleta de REEE, encontra-se presente em todo o território nacional, inclusive utilizando-se a tecnologia RFID, que permite a rastreabilidade dos resíduos, além de ser considerada referência mundial nos programas de gestão de resíduos eletroeletrônicos.

No que se refere à reutilização das matérias-primas secundárias, provenientes da reciclagem dos REEE, as situações apresentadas nos mapeamentos dos processos da “Empresa B” e “Gestora Global” são convergentes, pois as matérias-

primas recicladas não retornam à cadeia produtiva de EEE, as mesmas são destinadas para outras cadeias industriais, específicas a cada tipo de matéria-prima. Entretanto, ao relacionar o mapeamento dos processos entre a “Empresa A”, “Empresa B” e “Gestora Global”, destaca-se a diferença, que se refere à reutilização do material plástico reciclado na planta produtiva da “Empresa A”. De acordo com as informações fornecidas pelos gestores, a única empresa da cadeia produtiva de EEE no Brasil, que reutiliza a matéria-prima reciclada, proveniente do lixo eletrônico, é a “Empresa A”.

Em relação à destinação final dos detritos de REEE, pôde-se constatar nos resultados dos três estudos de caso, a convergência dos processos, as PCIs são direcionadas para o exterior, as matérias-primas secundárias como: materiais ferrosos e seus derivados, materiais plásticos, vidros e papelões são reutilizados no mercado brasileiro. No estudo de múltiplos casos, evidenciou-se que as empresas no Brasil não detêm a tecnologia necessária para o reaproveitamento de metais preciosos contidos nas PCIs, além da exigência de altos investimentos, por essas razões, este tipo de resíduo é direcionado para empresas especializadas, que se encontram instaladas na Europa, Ásia e América do Norte.

No que diz respeito ao atendimento por tipos de EEE em seus ciclos finais de vida, os casos estudados mostram suas particularidades. A “Empresa A” e sua central de reciclagem e reuso, é atuante no atendimento de resíduos da linha de informática, tais como: computadores; impressoras; servidores de pequeno, médio e grande porte; periféricos de informática. A “Empresa B”, gestora estruturada para atender resíduos derivados de produtos, como: equipamentos de informática e telecomunicações; equipamentos de áudio e vídeo; equipamentos eletroportáteis e ferramentas elétricas. A “Gestora Global”, responsável pela gestão de REEE da “Empresa C” e as demais empresas associadas, responsável pela coleta de resíduos provenientes de equipamentos elétricos e eletrônicos de pequeno e médio porte, não atendendo produtos considerados de grande porte como televisores, refrigeradores, fogões, máquinas de lavar secadoras, aparelhos de micro-ondas e ar-condicionado. Segundo o gestor de sustentabilidade, responsável pelo departamento de eletroeletrônicos da “Empresa C”, estes equipamentos não atendidos pela “Gestora Global” serão atendidos por outra instituição gestora de REEE, parceira de uma segunda entidade representante de eletroeletrônicos no Brasil, sendo esta, uma associação que reúne boa parte dos fabricantes de produtos de grande porte.

Em termos de ganhos econômicos relacionados à cadeia produtiva de EEE, o estudo de caso relacionado à “Empresa B” indica a inexistência de retornos financeiros para os fabricantes e importadores que se associam à gestora. A participação no sistema de logística reversa de REEE, deve-se principalmente ao atendimento das obrigatoriedades preconizadas pela Lei 12.305/2010 e Acordo Setorial de Eletroeletrônicos, e representa somente custos. Essa informação converge com o estudo de caso relacionado à “Empresa C” e “Gestora Global”, o qual reforça a informação da ausência de ganhos econômicos no sistema de logística reversa junto aos fabricantes e importadores de EEE. Por outro lado, para a “Empresa A”, multinacional fabricante de eletroeletrônicos, responsável pela implantação da central de reciclagem e reuso, os ganhos econômicos são existentes, representando uma vantagem econômica anual líquida de R\$ 2.848.042,01 decorrente da utilização do material plástico reciclado em sua linha de produção e da venda dos demais resíduos à empresa parceira. Além disso, pôde-se averiguar perante a “Empresa A”, o retorno sobre o investimento de 38,8% ao ano, e o período para o retorno do capital investido de 3,10 anos.

Outro ponto em destaque diz respeito à análise sob a perspectiva de ganhos econômicos para as gestoras, mostrando-se resultados convergentes nos casos estudados. A “Empresa B” é uma gestora caracterizada como uma associação civil privada, de caráter sócio ambiental, sem fins lucrativos, portanto inexistindo-se retornos econômicos diretos a mesma. A “Gestora Global”, também caracterizada como uma instituição sem fins lucrativos, fundada por uma entidade representante do setor de eletroeletrônicos no Brasil, com o propósito de implementar e gerir a logística reversa de REEE às associadas da cadeia produtiva de EEE. Portanto, segundo os gestores, não se aplica retorno financeiro às gestoras.

Na perspectiva de ganhos econômicos para as empresas envolvidas na prática operacional, que envolve centrais de tratamento de REEE, recicadoras de matéria-prima, pontos de coleta e sistemas de transporte, os casos estudados são convergentes ao considerarem retornos financeiros existentes. O gestor relacionado à “Empresa B” considera que os ganhos econômicos serão ampliados para essas empresas citadas, principalmente quando o Acordo Setorial de Eletroeletrônicos for assinado, pois obrigatoriedade o fluxo de tratamento de REEE irá aumentar pela obrigatoriedade de aderência das fabricantes e importadoras de EEE ao sistema, informação em consonância com o relato do gestor relacionado à “Empresa C” e “Gestora Global”. A “Empresa A” e o centro de reciclagem com toda infraestrutura

montada para a logística reversa de REEE, já representa ganhos econômicos às empresas envolvidas em sua rede, e tem potencial para que os ganhos sejam ampliados, visto que, a quantidade processada do lixo eletrônico, corresponde atualmente a 33% de sua capacidade total, além disso, as expectativas de retornos financeiros são muito favoráveis após à assinatura do Acordo Setorial de Eletroeletrônicos, que promoverá o aumento da demanda de serviços para os REEE a toda cadeia reversa.

Com base na analogia sobre o retorno financeiro por meio da comercialização dos detritos derivados de REEE, pôde-se constatar a convergência nos resultados dos casos estudados, que indicam a PCI como o detrito de maior valor de mercado. A “Empresa A”, ao comercializar com sua parceira os materiais como: PCI, materiais ferrosos, vidro e papelão, contabilizou em vendas um valor total de R\$ 1.069.734,01. Deste total, 88,84% refere-se ao valor adquirido com a venda das PCIs, e o percentual restante, aos demais detritos. Em relação aos dois últimos casos, que se relacionam à “Empresa B” e a “Gestora Global com suas associadas, os gestores foram categóricos em afirmar ser a PCI, o detrito resultante do REEE mais valorizado em termos de ganho financeiro em vendas.

No âmbito da redução da disposição final de resíduos, destaca-se a convergência dos estudos de caso. Considerando-se que a central de reciclagem e reuso da “Empresa A” efetua o tratamento de 120 toneladas do lixo eletrônico mensalmente, ao final de um ano 1440 toneladas deixa de ser direcionada para lixões e aterros sanitários. Na estrutura operacional da “Empresa B” são tratados, em média, 60 toneladas de REEE por mês, os quais encontram-se distribuídos na rede, ao final de um ano contabiliza-se 720 toneladas de resíduos não destinados de forma inadequada ao meio-ambiente, número que irá crescer ao longo dos anos, segundo o gestor. Por outro lado, a “Gestora Global”, mesmo sem ter iniciado suas atividades, após a inauguração da mesma e a assinatura do Acordo Setorial de Eletrônicos, haverá a redução da disposição final do lixo eletrônico de maneira considerável. Há expectativas de se mensurar na prática, ainda em 2017, a quantidade do REEE que será tratado na rede gerida pela “Gestora Global”.

Do ponto de vista da destinação ambientalmente adequada dos rejeitos gerados nos processos de pré-tratamento e reciclagem do lixo eletrônico, destaca-se a convergência dos resultados nos casos estudados. Os gestores foram categóricos em afirmar que as empresas envolvidas no sistema de logística reversa de REEE precisam seguir rigorosamente as normas legislativas vigentes do país relacionadas

à preservação do meio-ambiente. Para formalização de parcerias entre “fabricantes e recicladores” e/ou “gestoras e recicladores” dentre outros envolvidos, há exigências de estarem em conformidade com as leis e normas ambientais como, ABNT 16156, ISO 14001, CETESB, PNRS – Lei 12.305/2010.

O Quadro 7 apresenta o resumo da análise de intercasos com as divisões de semelhanças e diferenças em relação à variável “mapeamento dos processos aplicados à logística reversa de REEE”.

Quadro 7: Semelhanças e diferenças – Mapeamento dos processos aplicados à logística reversa de REEE

VARIÁVEL	Nº	SEMELHANÇAS	DIFERENÇAS
Mapeamento dos Processos Aplicados à Logística Reversa de REEE	[P1]	O Motivo para a implementação da logística reversa de REEE no Brasil é convergente para todas as empresas envolvidas no sistema gestão. A principal razão, refere-se ao atendimento das obrigatoriedades preconizadas pela Lei 12.305/2010 e Acordo Setorial de Eletroeletrônicos prestes a ser assinado.	x
	[P2]	Convergência nos processos de estruturação e implementação da logística reversa e pontos de coleta de REEE para a "Empresa B" e "Gestora Global". A primeira encontra-se em maior abrangência de atuação no Estado de São Paulo, a segunda planeja iniciar suas atividades em São Paulo, expandindo-se gradualmente para as demais regiões do Brasil.	A "Empresa A" tem sua infraestrutura operacional no sistema de coleta de REEE difundida em todo o território nacional, além disso, a mesma utiliza-se de tecnologia para rastreabilidade dos resíduos, sendo considerada referência mundial nos programas de gestão de resíduos eletroeletrônicos.
	[P3]	Convergência entre as informações apresentadas da "Empresa B" e "Gestora Global", no que se refere à reutilização de matérias-primas secundárias, pois as mesmas não retornam à cadeia produtiva de EEE, sendo destinadas para outras cadeias industriais.	A "Empresa A" tem como diferencial, a reutilização do material plástico para a fabricação de produtos eletroeletrônicos em sua linha de produção.
	[P4]	Em relação à destinação final dos detritos de REEE, os resultados dos três estudos de caso são convergentes. As PCIs são destinadas para o exterior (Europa, Ásia e América do Norte), os demais detritos são reutilizados no mercado brasileiro.	x
	[P5]	x	No que diz respeito aos EEE em seus ciclos finais de vida, as redes de atendimento dos casos estudados apresentam suas particularidades: <ul style="list-style-type: none"> • A "Empresa A" e a central de reciclagem recebe produtos da linha de informática (computadores, impressoras, servidores e periféricos de informática). • A "Empresa B", estruturada para atender equipamentos de informática e telecomunicações; equipamentos de áudio e vídeo; equipamentos eletroportáteis e ferramentas elétricas. • A "Gestora Global", responsável pelo atendimento de equipamentos elétricos e eletrônicos de pequeno e médio porte, não atendendo produtos de grande porte. Os produtos de grande porte serão atendidos por outra instituição gestora, parceira de uma segunda entidade representante de eletroeletrônicos no Brasil.

Fonte: O autor

O Quadro 8 apresenta o resumo da análise de intercasos com as divisões de semelhanças e diferenças em relação à variável “vantagem econômica”.

Quadro 8: Semelhanças e diferenças – Vantagem econômica

VARIÁVEL	Nº	SEMELHANÇAS	DIFERENÇAS
Vantagem Econômica	[P6]	<p>Em termos de ganhos econômicos para a cadeia produtiva de EEE, os resultados apresentados nos estudos de caso 2 e 3 são convergentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A "Empresa B" indica a inexistência de retornos financeiros aos fabricantes e importadores de EEE associados à gestora. • A "Empresa C", a qual tem a "Gestora Global" como gestora coletiva, reforça a informação de ausência de ganhos econômicos no sistema de logística reversa de REEEE para os fabricantes e importadores de EEE. 	<p>Na "Empresa A", multinacional fabricante de eletroeletrônicos, responsável pela implantação do centro de reciclagem e reuso, os ganhos econômicos são existentes, que representa uma vantagem econômica anual de R\$ 2.848.042,01, decorrente da utilização do material plástico reciclado em sua linha de produção e da venda dos demais resíduos à empresa parceira no Brasil.</p>
	[P7]	<p>No que diz respeito à análise sob a perspectiva de ganhos econômicos para as gestoras, os resultados são convergentes, os quais afirmam a inexistência de retornos financeiros as mesmas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A "Empresa B" é uma gestora caracterizada como uma associação civil privada, sem fins lucrativos. • A "Gestora Global", também caracterizada como uma instituição sem fins lucrativos, fundada pela entidade representante do setor de eletroeletrônicos no Brasil, com o propósito de gerir a logística reversa de REEEE de forma coletiva às associadas (fabricantes e importadoras de EEE). 	x
	[P8]	<p>No que se refere à perspectiva de ganhos econômicos para as empresas envolvidas na prática operacional, que envolve as centrais de tratamento de REEEE, recicladoras de matéria-prima, pontos de coleta e sistemas de transporte, os casos estudados são convergentes ao considerarem retornos financeiros existentes:</p> <p>A "Empresa B" considera que os ganhos econômicos existentes serão ampliados após a assinatura do Acordo Setorial de Eletroeletrônicos, informação em consonância com a "Empresa C" e "Gestora Global". A "Empresa A" com toda sua infraestrutura montada para o tratamento de REEEE, denota ganhos econômicos existentes em sua rede, com potencial para ser ampliado, conforme o aumento da demanda, visto que, a quantidade processada do REEEE atualmente, corresponde a 33% da capacidade total do centro de reciclagem e reuso.</p>	x
	[P9]	<p>Convergência nos casos estudados, que indicam a PCI como o detrito comercializado, de maior valor no mercado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A "Empresa A", ao comercializar com sua parceira os materiais provenientes do REEEE, contabilizou em vendas o valor total de R\$ 1.069.734,01, deste total 88,84% refere-se à PCI. • Em relação aos demais estudos de caso, os entrevistados foram categóricos em afirmar ser a PCI, o detrito mais valorizado em termos de retorno financeiro. 	x

Fonte: O autor

O Quadro 9 apresenta o resumo da análise de intercasos com as divisões de semelhanças e diferenças em relação à variável “impacto ambiental”.

Quadro 9: Semelhanças e diferenças – Impacto ambiental

VARIÁVEL	Nº	SEMELHANÇAS	DIFERENÇAS
Impacto Ambiental	[P10]	<p>Convergência nos resultados dos casos estudados, denotando-se a redução da disposição final de resíduos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A "Empresa A" com sua central de reciclagem, efetua o tratamento de 120 toneladas de REEE mensalmente, ao final de um ano, 1440 toneladas do lixo eletrônico deixa de ser direcionado para lixões e aterros sanitários. • Na estrutura operacional da "Empresa B" são tratados, em média, 60 toneladas do lixo eletrônico distribuído na rede, ao final de um ano contabiliza-se 720 toneladas de REEE não destinados de forma inadequada ao meio-ambiente. • Segundo o entrevistado da "Empresa C", a "Gestora Global", apesar de não ter iniciado ainda suas atividades, indica que haverá a redução da disposição final do lixo eletrônico, consideravelmente, números que poderão ser mensurados na prática, no decorrer do ano de 2017. 	x
	[P11]	<p>Convergência nos casos estudados, no que se refere à destinação ambientalmente adequada dos rejeitos gerados nos processos de pré-tratamento e reciclagem do lixo eletrônico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Os resultados apresentados encontram-se em consonância, visto que, todas as empresas envolvidas no pré-tratamento e reciclagem dos REEE precisam seguir as normas legislativas vigentes do país. Para que seja realizada a formalização de parcerias, as empresas precisam estar em conformidade com as leis e normas ambientais como: ABNT 16156, ISO 14001, CETESB, PNRS - Lei 12.305/2010. 	x

Fonte: O autor

6. CONCLUSÃO

Depreende-se das interpretações do presente estudo, que o aumento da geração do lixo eletrônico é um fato presente que tende a continuar devido ao rápido avanço de novas tecnologias. Os EEE são compostos por diversos materiais, que por sua vez, demandam consideráveis recursos ambientais para serem fabricados, de tal forma que, ao término de sua vida útil, não só o produto eletrônico é descartado, mas também todos os recursos naturais utilizados em sua produção. Além disso, o descarte inadequado do REEE é considerado um potencial agressor que pode contaminar o solo e os lençóis freáticos, promovendo-se a degradação do meio-ambiente.

No que se refere a vantagem econômica com a implementação do sistema de logística reversa de REEE, os resultados demonstram um segmento de mercado promissor. Pôde-se constatar na “Empresa A” e sua central de reciclagem e reuso de REEE, a existência de consideráveis retornos financeiros em um prazo de investimento relativamente curto, além do ganho econômico sob o reaproveitamento de 100% do material plástico reciclado em sua linha de produção para a fabricação de novos produtos. Ademais, considerou-se que os ganhos podem ser potencializados, já que atualmente o centro de reciclagem e reuso opera apenas com 33% de sua capacidade total.

Os dois últimos estudos de caso, apesar de não apresentarem dados quantitativos em termos de ganhos econômicos, sugerem que o segmento voltado para a logística reversa de REEE é atraente e promissor, principalmente após à assinatura do Acordo Setorial, prestes a acontecer, pois todos os fabricantes e importadores de eletroeletrônicos atuantes no mercado brasileiro serão obrigados a adotarem a implementação do sistema de logística reversa de REEE, quer seja por meio da utilização de instituições gestoras ou de forma individual, fator que irá aumentar consideravelmente o volume de serviço das empresas envolvidas na prática operacional, que envolve as centrais de tratamento de REEE, recicadoras de matéria-prima, pontos de coleta e sistemas de transporte, consequentemente aumentando-se os ganhos econômicos.

No que diz respeito ao retorno financeiro em termos de valorização de detritos provenientes dos REEE, os resultados mostram a PCI como o detrito mais valorizado no mercado em relação aos demais, número que pôde ser mensurado no estudo de caso 1, por meio da “Empresa A”, que contabilizou na venda dos detritos, o valor total de R\$ 1.069.734,01, e deste total, 88,84% refere-se à PCI. Nos demais estudos de

caso, identificou-se a convergência dos resultados, os quais apresentam a PCI como o detrito mais valorizado do mercado.

Não obstante ao constatado, o processamento para a recuperação de metais preciosos contidos nas PCIs é realizado exclusivamente por empresas especializadas, que se encontram localizadas na Europa, Ásia e América do Norte, subtraindo-se do Brasil retornos financeiros mais consistentes, por não dominar essa tecnologia.

Com base no mapeamento dos processos, em termos da prática operacional do sistema de logística reversa de REEE no Brasil, denota-se a interdependência entre as empresas, as quais não se apresentam de forma abrangente nas suas atividades de reciclagem. Na “Empresa A”, constatou-se perante o centro de reciclagem da “Empresa A”, que principal a atividade se relaciona ao tratamento do resíduo plástico, que exige tecnologia mais simples para reciclagem, sendo reutilizado em sua planta fabril, os demais detritos são dependentes de outras empresas para o tratamento final. Nos estudos de caso seguintes, a interdependência das empresas também é existente, salientando-se que, nenhuma matéria-prima secundária retorna à cadeia produtiva de EEE, exceto o caso da “Empresa A”. Desse modo, conclui-se que os processos se encontram descentralizados, tornando-se complexo o desenvolvimento de uma rede de cooperação em sua completude.

Em termos de mobilização das empresas no Brasil para que seja implementado o sistema de logística reversa de REEE, o motivo principal refere-se ao atendimento da Lei 12.305/2010 e o Acordo Setorial de Eletroeletrônicos, denotando-se a importância das obrigatoriedades legislativas para alavancar a implementação de todo o processo de tratamento do lixo eletrônico no país, fator positivo, tanto ambiental, quanto econômico à realidade brasileira.

Do ponto de vista da gestão dos REEE no Brasil, a criação de gestoras de logística reversa no modelo de associação fabricantes e importadores de EEE, pode representar uma oportunidade para alavancar a implementação da logística reversa do lixo eletrônico no país. A cadeia produtiva de EEE poderá transferir suas atividades de logística reversa para as gestoras e obter reduções nos custos associados a essas atividades. Por conseguinte, esse cenário pode representar avanços ambientais e econômicos para o país, movimentando-se o mercado de serviços deste segmento, gerando-se empregos e contribuições sociais, além de promover a destinação final ambientalmente adequada desse tipo de resíduo.

Na perspectiva de impacto ambiental, constatou-se a existência da redução da disposição final de resíduos. Ao relacionar a quantidade de REEE tratados entre a “Empresa A” com sua central de reciclagem e a “Empresa B”, sumariza-se anualmente 2160 toneladas de resíduos não direcionados de forma inadequada ao meio-ambiente. Por outro lado, a “Gestora Global”, mesmo ser ter iniciado suas atividades, há expectativas positivas da redução da disposição final do lixo eletrônico, número que poderá ser mensurado na prática, nos próximos anos.

Outro fator de âmbito ambiental constatado, refere-se à destinação ambientalmente adequada dos rejeitos gerados nos processos de pré-tratamento e reciclagem do lixo eletrônico, constatando-se nos resultados do estudo, que todas as empresas envolvidas no pré-tratamento e reciclagem dos REEE precisam seguir as normas legislativas vigentes do país. Essas empresas, para participarem da cadeia reversa de REEE das empresas estudadas no presente trabalho, precisam estar em conformidade com as leis e normas ambientais como: ABNT 16156, ISO 14001, CETESB, PNRS - Lei 12.305/2010. Ressalva-se, a existência do mercado informal, que não fez parte do presente estudo, no entanto, relevante na compreensão de questões relacionadas a impactos ambientais.

Como sugestões de novos estudos, indica-se a necessidade de se pesquisar o mercado informal de REEE, principalmente em decorrência das possibilidades de crescimento deste segmento, que pode vir apresentar riscos ao mercado formal de reciclagem do lixo eletrônico no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos – análise de viabilidade técnica e econômica.** Brasília, novembro de 2013.

ACHILLAS, C.; VLACHOKOSTAS, C.; MOUSSIOPoulos, N.; BANIAS, G. Decision support system for the optimal location of electrical and electronic waste treatment plants: a case study in Greece. **Waste Management** v. 30 (5), p. 870-879, 2010a.

ACHILLAS, C.; VLACHOKOSTAS, C.; AIDONIS, D.; MOUSSIOPoulos, N.; LAKOVOU, E.; BANIAS, G. Optimizing reverse logistics network to support policy-making in the case of Electrical and Electronic Equipment. **Waste Management** v. 30 (12), p. 2592-2600, 2010b.

ACHILLAS, C.; AIDONIS, D.; VLACHOKOSTAS, C.; MOUSSIOPoulos, N.; BANIAS, G.; TRIANTAFILLOU, D. A multi-objective decision-making model to select waste electrical and electronic equipment transportation media. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 66, p. 76-84, 2012.

ARAS, N.; KORUGAN, A.; BUYUKOZKAN, G.; SERIFOGLU, F.; EROL, I.; VELIOGLU, M. Locating recycling facilities for IT-based electronic waste in Turkey. **Journal of Cleaner Production**, v. 105, p. 324-336, 2015.

ASSAVAPOKEE, T.; WONGTHATSANEKORN, W. Reverse production system infrastructure design for electronic products in the state of Texas. **Computers & Industrial Engineering** v. 62, p. 129-140, 2012.

BARDIN L. **L'Analyse de Contenu.** Editora: Presses Universitaires de France, 1977.

BETTS, K. Producing usable materials from e-waste. **Environmental Science Technology**, v. 42, p. 6782-6873, 2008.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS. Lei n. 12.305, de 02 de Agosto de 2010. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder**

Executivo, Brasília. Distrito Federal. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 19 Jan 2016.

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies.** New York: Routledge Publication, 1989.

BROOKES, B. C. **Bradford's law and the bibliography of science.** Nature, v. 224, p. 953-956, dec. 1969.

CAMARGO, I.; SOUZA, A. Gestão de Resíduos sob a Ótica da Logística Reversa. In: **Encontro Nacional de Gestão empresarial e Meio Ambiente 8ª. 2005**, Rio de Janeiro, Anais: São Paulo: EAESP/FEA-USP. 2005.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. **Visão da Indústria Brasileira sobre a Gestão de Resíduos Sólidos.** Sistema Indústria. Brasília: CNI, 2014.

ENVIRONMENT AGENCY. **Waste and Electronic Equipment (WEEE), 2009.** Disponível em: <<http://www.environment-agency.gov.uk/business/topics/waste/32084.aspx>>. Acesso em: 26 de nov 2015.

EUROPEAN UNION. Directive 2002/96/EC of the European Parliament and the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). **Official Journal of the European Union**, v. 46, p. 24-39, 2003.

GOLDEMBERG, J.; CORTEZ, C. **Resíduos sólidos e a logística reversa: o que o empresário do comércio e serviços precisa saber.** FECOMERCIOSP. São Paulo, 2014.

GREENPEACE. **Guide to Greener Electronics.** 18th edition. November, 2012.

HISCHIER, R.; WAGER, P.; GAUGLHOFER, J. Does WEEE Recycling Make from na Environmental Perspective? The Environmental Impacts of The Swiss Take-Back and Recycling Systems for Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). **Environmental Impact Assessment Review**, v. 25, p. 525-539, 2005.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Diretiva RoHS. **Novas Barreiras ás Exportações Brasileiras**. São Paulo: IPT/NEAT.56p. (Relatório Técnico n. 98.832-205), 2007.

KHÖELER, A.; ERDMANN, L. Expected environmental impacts of pervasive computing. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 10, p. 831-852, 2004.

KILIC, S H, S.; CEBELI, H.; AYHAN, M, B. Reverse logistics system design for the waste of electrical and electronic equipment (WEEE) in Turkey. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 95, p. 120-132, 2015.

KUMAR, R. **Research methodology** – a step-by-step guide for beginners. 3.ed. London: Sage, 2011.

LADOU, J.; LOVEGROVE, S. Export of electronics equipment waste. **International Journal of Occupational and Environmental Health**. Division of Occupational and Medicine, v. 14, p. 1-10, 2008.

LEITE, P. R. Logística Reversa: **Meio ambiente e Competitividade**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LIU, H.; LEI, M.; DENG, H.; LEONG, G.; HUANG, T. A dual channel, quality-based price competition model for the WEEE recycling Market with government subsidy. **Omega**, v. 59, p. 290-302, 2016.

MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. 7^a ed., São Paulo: Atlas, 2000.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Edital nº 01/2013 - Chamamento para a Elaboração de Acordo Setorial para a Implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos e Seus Componentes**. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Brasília, 2013.

MILES, M. M.; HUBERMAN, A. M. **Qualitative data analysis: an expanded sourcebook**. 2. ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 1994.

OLIVEIRA, C. R.; BERNARDES, A. M.; GERBASE, A. E. Collection and recycling of electronic scrap: A worldwide overview and comparison with the Brazilian situation. **Waste Management**, v. 32, nº.8, p. 1592–1610, 2012.

PRITCHARD, A. Statistical bibliography or bibliometrics? **Journal of Documentation**, USA, v. 25, n. 4, p. 348-349, 1969.

ROBINSON, B. E-waste: na assessment of global production and environmental impacts. **Science of the Total Environment**, v. 188, p. 183-191, 2013.

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

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B. **Metodologia de Pesquisa**. 3. Ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

SANTOS, C.; NASCIMENTO, L.; NEUTIZLING, D. A gestão dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) e as consequências para a sustentabilidade: as práticas de descarte dos usuários organizacionais. **Revista Capital Científico – Eletrônica (RCCe)**, v. 12, nº1, p. 1-18, 2014.

SANTOS, R. N. M.; KOBASHI, N. Y. **Bibliometria, cientometria, infometria: conceitos e aplicações**. Tendências da Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação, v. 2, n. 1, p. 155-172, 2009.

SELLTIZ, C.; WRIGHTSMAN, L. S.; COOK, S. W. **Métodos de pesquisa das relações sociais**. São Paulo: Herder, 1965.

SOUZA, R.; CLÍMACO, J.; SANT'ANA, A.; ROCHA, T.; VALLE, R.; QUELHAS, O. Sustainability assessment and prioritisation of e-waste management options in Brazil. **Waste Management**, xxx, p. 0956-053x, 2016.

THIERRY, M.; SALOMON, M.; NUNEN, V.; WASSENHOVE, L. Van. Estrategic issues in product recovery managemant. **California Management Review**, v. 37, nº2, p. 114-135, 1995.

UNEP - United Nations Environment Programme. **Recycling – From eWaste to Resources**, July 2009. In: <http://www.unep.org/pdf/pressreleases/e-waste_publications_screen_finalversionsml.pdf>. Acesso em: 13 Jan 2016.

UNEP - United Nations Environment Programme. DTIE. Division of Technology, Industry and Economics. IETC. **International Environmental Technology, Manual 3; WEEE/E-waste “take-back system”**, 2011.

UNESCO - United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. **The Entrepreneur’s Guide to Computer Recycling**, v. 1, 2008.

WIDMER, R.; OSWALD-KRAPF, H.; SINHA-KHETRIWAL, D.; SCHNELLMAN, M.; BONI, H. Global perspectives on e-waste. Environmental Impact Assessment Review, v. 25, p. 436-458, 2005.

WILLIAMS, E.; KAHHAT, R.; ALLENBY, B.; KAVAZANJIAN, E.; KIM, J.; XU, M. Environmental, Social, and Economic Implications of Global Reuse and Recycling of Personal Computers. **Environmental Science & Technology**, v. 42, p. 6446-6454, 2008.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ZENG, X.; Li, J.; STEVEL, A.; LIU, L. Perspective of electronic waste management in China based on a legislation comparison between china and the UE. **Journal of Cleaner Production**, v. 51, p. 80-87, 2013.