

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

GREEN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT E ECONOMIA CIRCULAR EM
INDÚSTRIA DE MANUFATURA: INICIATIVAS PARA AUMENTO DE COLETA
DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS

Mariana Bernardes

Itajubá, novembro de 2024

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

Mariana Bernardes

GREEN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT E ECONOMIA CIRCULAR EM
INDÚSTRIA DE MANUFATURA: INICIATIVAS PARA AUMENTO DE COLETA
DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Ciências em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Engenharia de Produção

Professor Orientador: Dr. Renato da Silva Lima

Itajubá, novembro de 2024

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

Mariana Bernardes

GREEN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT E ECONOMIA CIRCULAR EM
INDÚSTRIA DE MANUFATURA: INICIATIVAS PARA AUMENTO DE COLETA
DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Graziela Darla Araújo Galvão – FIPE

Prof.^a Dr.^a Roberta Alves – UFLA

Prof.^a Dr.^a Jeniffer de Nadae – UNIFEI

Prof. Dr. Carlos Henrique Pereira Mello – UNIFEI

Prof. Dr. Renato da Silva Lima (Orientador) – UNIFEI

Itajubá, novembro de 2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Lucas, meu parceiro de todos os momentos, que sempre apoiou todas as minhas decisões. E à minha mãe, minha principal rede de apoio desde o nascimento do Miguel. Sem vocês não teria sido possível concluir este projeto.

Agradeço também aos colegas do LogTrans, principalmente às meninas, em especial à Flavia Tuane e à Flávia Gontijo, por terem compartilhado ideias e etapas desse projeto comigo.

Agradeço aos meus colegas do DAI-2019, Alyson e Wesley, por compartilhar ideias, experiências e apoio, além de dividir as dificuldades para a execução deste trabalho.

Agradeço aos “meus estagiários”, os alunos de IC que me acompanharam na segunda etapa desse trabalho: Kevin Tanaka, sempre solícito e presente, me ajudando inclusive na parte “braçal”; e Matheus Faria, também sempre solícito, que me ajudou na execução das Simulações.

Agradeço ao Fabio de Castro, da AGIT, por ter auxiliado desde o *brainstorming* para a definição dos caminhos que seguiríamos, até a realização das coletas na prática.

Ao Professor Fabiano Leal, pelo seu tempo e conhecimento, por ter me ajudado na realização do BPMN, não somente para que ficasse na notação científica correta, mas aprimorando cada ponto.

E, ao professor Renato Lima, meu orientador, por ter sido compreensivo e flexível desde o nascimento do Miguel, e por ter me ajudado sempre, mesmo quando os prazos batiam à porta.

O tempo é o maior de todos os deuses...

Resumo

Os Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) representam a fonte de resíduos de maior volume e que mais cresce no mundo. No entanto, apenas cerca de 22% desse volume é formalmente reciclado globalmente, sendo que, no Brasil, o quinto maior gerador mundial, esse volume cai para apenas 3,2%. Embora existam leis para conduzir o descarte de REEE, na prática, os volumes coletados formalmente são baixos, devido às falhas na disseminação de informação e na responsabilização dos integrantes da cadeia de suprimentos (governos, setor privado e sociedade). Este trabalho analisa a gestão da cadeia de REEE sob a perspectiva da principal empresa do Brasil a integrar todos os elos da cadeia reversa de REEE, da logística reversa até a reciclagem. Isto foi viabilizado a partir de um Doutorado Acadêmico para Inovação (DAI), através de uma parceria entre universidade/indústria/CNPq. A empresa estudada, ainda que de maior destaque no cenário nacional, enfrenta as dificuldades comuns do cenário brasileiro, como o baixo volume de REEE formalmente coletado. Por isso, não consegue atingir a capacidade de operação pretendida por não receber quantidade suficiente desses resíduos. Nesse contexto, o objetivo geral desse trabalho é elaborar e validar iniciativas para as empresas do setor formal de gestão de REEE, com vistas a aumentar seus volumes de resíduos coletados. Para isso, foi utilizada a Pesquisa-Ação, cujos ciclos permitiram caracterizar o cenário atual brasileiro e, testar na prática iniciativas de coleta que envolvem direta ou indiretamente a participação do consumidor final, visto como o ponto central para uma melhor gestão dos REEE. As análises permitiram identificar os relacionamentos entre os elos da cadeia, e os potenciais qualitativos e quantitativos de cada iniciativa testada. Isto servirá de base para guiar tanto a empresa estudada quanto outras partes do setor a programarem suas estratégias para impulsionar o volume de REEE coletado, visando recuperação, reciclagem, disposição final ambientalmente adequada. Dentre os principais resultados, observou-se que amostras de consumidores que envolvem os públicos acadêmico e escolar são importantes elos para a coleta de REEE, e potenciais fontes de sucesso para campanhas periódicas. As iniciativas de coletas de REEE direcionadas ao consumidor final alcançaram taxas de captação cerca de 16 vezes maiores que as usualmente obtidas pela empresa estudada. As oficinas de assistência eletrônica informais têm alto potencial de geração de resíduos, mas evidenciam a falta de uma conexão próxima e contínua entre o setor informal e empresas formais de coleta e reciclagem. Assim, a proximidade com o consumidor final e o elo entre os setores formal e informal podem suprir demandas industriais, sociais e ambientais, e garantir uma melhor gestão dos REEE.

Palavras-chave: Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos; *Green Supply Chain Management*; Economia Circular; Logística Reversa.

ABSTRACT

Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE) is the largest and fastest growing source of waste in the world. However, only about 22% of this volume is formally recycled worldwide, and in Brazil, the fifth largest generator in the world, this volume drops to just 3.2%. Although there are laws to regulate WEEE disposal, in practice, the volumes formally collected are low, due to failures in the dissemination of information and in the accountability of the chain's stakeholders (governments, private sector and society). This paper analyzes the WEEE chain management from the perspective of the main company in Brazil to integrate all links in the WEEE reverse chain, from reverse logistics to recycling. This was made possible by an Academic Doctorate for Innovation (DAI), through a partnership between university/industry/CNPq. The company under study, although being the most prominent in the Brazilian national scenario, faces the common difficulties of that scenario, such as the low volume of WEEE formally collected. Therefore, it is not able to reach the desired operating capacity because it does not receive enough of this waste. In this context, the general objective of this research is to develop and validate strategies for companies from the formal WEEE management sector, with a view to increasing their collected waste volumes. For this purpose, Action Research was used, whose cycles allowed characterizing the current Brazilian scenario and testing collection initiatives in practice, directly or indirectly involving the end user participation - seen as the central point for better WEEE management. The analyses allowed the identification of the chain members relationships, and the qualitative and quantitative potential of each initiative tested. This will work as a basis to guide both the studied company and other parts in the sector in planning their strategies to boost the WEEE volume collected, aiming at recovery, recycling and environmentally appropriate final disposal. Among the main results, it was observed that consumer groups involving academic and school audiences are important links for the WEEE collection, and potential sources of success for periodic campaigns. End user-oriented collections were able to raise collection rates around 16 times higher than those usually obtained by the studied company. Informal electronics assistance workshops have a high potential for waste generation, but a lack of a close and continuous connection between the informal sector and formal collection companies could be noted. Thus, proximity to the end user and the link between the formal and informal sectors can meet industrial, social and environmental demands, and ensure better management of WEEE.

Key-words: Waste from Electrical and Electronic Equipment; Green Supply Chain Management; Circular Economy; Reverse Logistics.

Lista de Figuras

Figura 1 - Ciclo da LR de REEE proposto pela lei em conjunto com o AS.....	29
Figura 2 - Conhecimento da população brasileira acerca de lixo eletrônico.....	39
Figura 3 - Respondentes que já ouviram falar em pontos de coleta de lixo eletrônico	39
Figura 4 - Detalhe das etapas, fases e atividades da estrutura de pesquisa-ação proposta..	48
Figura 5 - Fragmento da estrutura da pesquisa-ação: Etapa 1	50
Figura 6 - PEVs Green Eletron tamanho P (à esquerda) e M (à direita)	53
Figura 7 - PEVs Green Eletron tamanho G (à esquerda) e GG (à direita)	53
Figura 8 - PEV para cartuchos HP.....	54
Figura 9 - Elos da cadeia reversa de REEE no Brasil	57
Figura 10 - Panfleto de divulgação da campanha.....	61
Figura 11 - REEE coletados embalados	63
Figura 12 - Veículo utilizado para a coleta solicitada no Campus	64
Figura 13 - Declaração de carregamento e transporte emitida pelo provedor logístico referente à coleta da campanha (<i>hardware</i>)	65
Figura 14 - Declaração de carregamento e transporte emitida pelo provedor logístico referente à coleta da campanha (suprimentos de impressão)	66
Figura 15 - Panfleto da campanha de coleta divulgado na escola	68
Figura 16 - Ponto de coleta no interior da escola	69
Figura 17 - Materiais descartados pelos alunos no ponto de coleta da escola.....	69
Figura 18 - Materiais descartados pelo laboratório de informática da escola	70
Figura 19 - Materiais reunidos no baú do caminhão de coleta	70
Figura 20 - Panfleto de divulgação da campanha para as OAE de SGS	72
Figura 21 - Panfleto da campanha divulgado às OAE de Itajubá/MG	73
Figura 22 - Eletrodomésticos de áudio e vídeo coletados no baú do caminhão (esq.) e baterias coletadas (dir.).....	74
Figura 23 - Laudo de processamento dos resíduos coletados nos Ciclos 2 e 3	75
Figura 24 - Cadeia reversa de REEE incluindo os relacionamentos identificados	81
Figura 25 - BPMN da cadeia reversa de REEE.....	84
Figura 26 - Símbolos utilizados no BPMN apresentado	85
Figura 27 - Matriz de oportunidade participação X acesso	89
Figura 28 - Matriz de oportunidade geração X coleta	89
Figura 29 - Modelo real da Iniciativa 1, gerado pelo <i>Flexsim</i> ®.....	92
Figura 30 - Modelo de projeção da Iniciativa 1, gerado pelo <i>Flexsim</i> ®	92
Figura 31 - Modelo real da Iniciativa 2, gerado pelo <i>Flexsim</i> ®.....	93
Figura 32 - Modelo de previsão da Iniciativa 2, gerado pelo <i>Flexsim</i> ®	94
Figura 33 - Modelo real da Iniciativa 3 em SGS, gerado pelo <i>Flexsim</i> ®	95
Figura 34 - Modelo real da Iniciativa 3 em Itajubá, gerado pelo <i>Flexsim</i> ®.....	96
Figura 35 - Modelo de projeção para cada categoria de OAE, gerado pelo <i>Flexsim</i> ®	97
Figura 36 - Modelo de projeção para seis OAE, gerado pelo <i>Flexsim</i> ®.....	97

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Classificações de EEE	26
Tabela 2 - Síntese da revisão sistemática	32
Tabela 3 - Resumo sobre o conhecimento e o comportamento dos consumidores em relação aos REEE.....	43
Tabela 4 - Volume de materiais processados pela ST em 2020	52
Tabela 5 - Síntese da PA.....	79
Tabela 6 - Conjunto das iniciativas da cadeia reversa para coleta de REEE.....	82
Tabela 7 - Análise SWOT das iniciativas estudadas	87
Tabela 8 - Parâmetros do modelo OAE SGS	95
Tabela 9 - Parâmetros do modelo OAE Itajubá.....	96
Tabela 10 - Síntese dos resultados em valores numéricos.....	99
Tabela 11 - Potencial de captação das iniciativas na cidade ilustrativa	100

Lista de Abreviações

ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica

ABRADISTI - Associação Brasileira da Distribuição de Tecnologia da Informação

AS - Acordo Setorial

ASSESPRO NACIONAL - Associação das Empresas Brasileiras de Tecnologia da Informação

BPMN - *Business Process Model and Notation*

CMR - Catadores de Materiais Recicláveis

CCMR - Cooperativas de Catadores de Materiais Recicláveis

EC - Economia Circular

EEE - Equipamentos Eletroeletrônicos

GSCM - *Green Supply Chain Management*

GESP - *Global E-waste Statistics Partnership*

LR - Logística Reversa

OAE - Oficinas de assistência eletrônica

ONG - Organização não governamental

PA - Pesquisa-Ação

PAUEEC - Plano de Ação da União Europeia para Economia Circular

PEV - Ponto de Entrega Voluntária

PHPPP - Programa HP *Planet Partners*

PCI - Placas de Circuito Impresso

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

REEE - Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos

SINIR - Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos Geral e Específicos.....	16
1.2 Relevância e Justificativa.....	17
1.3 Estrutura da Tese	19
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1 Green Supply Chain Management (GSCM) e Economia Circular (EC).....	20
2.2 Logística Reversa (LR).....	23
2.4 Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos.....	24
2.5 A legislação sobre REEE no Brasil	27
2.5.1. Os setores formal e informal na legislação.....	30
2.6 Revisão Sistemática da Literatura: GSCM e EC aplicados a REEE	31
2.7 Revisão sobre o conhecimento e o comportamento do consumidor em relação aos REEE	38
2.8 Taxa de captação de REEE.....	44
3. PLANEJAMENTO METODOLÓGICO	47
3.1 Método.....	47
3.1.1 Planejamento da PA.....	49
3.1.2 Contexto da PA.....	50
3.1.2.1 Caracterização da Cadeia.....	56
4. IMPLEMENTAÇÃO	60
4.1 Primeiro Ciclo da PA - Iniciativa 1	60
4.1.1. Planejamento e Implementação do Plano de Ação.....	60
4.1.2. Avaliação dos Resultados.....	66
4.2. Segundo Ciclo da PA - Iniciativa 2	67
4.2.1. Planejamento e Implementação do Plano de Ação.....	67
4.2.2. Avaliação dos Resultados.....	70
4.3. Terceiro Ciclo da PA - Iniciativa 3.....	71
4.3.1. Planejamento e Implementação do Plano de Ação.....	71
4.3.2. Avaliação dos Resultados.....	76
4.4 Análise geral da PA	77
5. ANÁLISES	80
5.1 Mapeamento da Cadeia Reversa de REEE.....	80
5.2 Análise de Oportunidades.....	86
5.3 Geração de Cenários e Projeções.....	90
5.3.1. Modelo da Iniciativa 1	91
5.3.2 Modelo da Iniciativa 2.....	93
5.3.3 Modelo da Iniciativa 3.....	94
5.4 Estimativa do Potencial de Captação.....	98

5.5 Conjunto das Iniciativas da Cadeia Reversa para Coleta de REEE.....	101
6. DISCUSSÃO	103
7. CONCLUSÕES.....	109
7.1 Limitações da Pesquisa e Sugestões para Estudos Futuros	111
PUBLICAÇÕES GERADAS.....	113
REFERÊNCIAS.....	114

1. INTRODUÇÃO

Devido à transformação digital do mundo, os equipamentos eletroeletrônicos (EEE) fazem parte da vida das pessoas e influenciam a maneira como vivem, trabalham, aprendem, socializam e fazem negócios. EEE abrangem uma ampla gama de produtos com circuitos ou componentes elétricos, incluindo quase todos os produtos de uso doméstico ou comercial, como geladeiras, fogões, máquinas de lavar, secadores de cabelo, celulares, fones de ouvido e *tablets* (Baldé *et al.*, 2024). Os EEE são frequentemente projetados para funcionar por determinado período, após o qual deixam de funcionar (fim da vida útil) ou têm desempenho abaixo do ideal (obsolescência), o que faz com que sejam rapidamente abandonados e substituídos (Goyal e Gupta, 2024). Então, ao término de sua vida útil, podem ser descartados por seu usuário, sem intenção de reutilização, tornando-se resíduos de EEE (REEE) ou lixo eletrônico. Os REEE representam o fluxo de resíduos de crescimento mais rápido no mundo (Baldé *et al.*, 2024; Shittu *et al.* 2021).

Os dados de Baldé *et al.* (2024) referem-se ao Relatório de Monitoramento Global de Lixo Eletrônico, segundo o qual, em 2022, foram gerados 62 milhões de toneladas (Mt) de REEE, uma quantidade recorde desde 2010. Até 2030, estima-se que o volume global de REEE atingirá 82Mt. Nesse cenário, a gestão de REEE é um dos desafios mais urgentes, uma vez que apenas 22% do total gerado foi reciclado ou disposto formalmente em 2022, uma taxa cinco vezes menor que a taxa de geração desse resíduo. O Brasil é o quinto maior gerador de REEE do mundo, o maior da América do Sul, gerando 2,4Mt anualmente. Desse volume, apenas 3,2% foi coletado formalmente para tratamento e disposição correta em 2022 no país (Baldé *et al.*, 2024).

O sistema formal de coleta de REEE é aquele composto por atividades gerenciadas de acordo com a legislação em vigor de cada país, em que organizações designadas, produtores e/ou o governo são responsáveis por coletar REEE por meio de varejistas, pontos de coleta municipais ou serviços de coleta (Baldé *et al.*, 2024). No entanto, a maioria dos REEE é desviada para aterros, destinada sem tratamento ambiental, principalmente devido à falta de sistemas eficientes de coleta e reciclagem, e de mecanismos efetivos para responsabilizar os produtores pelo descarte (Andeobu *et al.*, 2021). Ainda segundo Baldé *et al.* (2024), estima-se que 18Mt de REEE sejam manuseadas em países em desenvolvimento sem infraestrutura para este fim, principalmente pelo setor informal, dentre os quais está o Brasil.

REEE têm uma composição de material complexa que consiste em metais preciosos, perigosos e raros. Por isso, representam uma fonte de interesse econômico, pois elementos valiosos como ouro, paládio, prata e elementos de terras raras podem ser recuperados e reutilizados. Também há o benefício ambiental, pois materiais como cobre, aço e alumínio,

podem ser reciclados indefinidamente. Além da importância de se tratar corretamente substâncias tóxicas nocivas, como metais pesados (níquel, chumbo e cádmio), substâncias não ferrosas e micro plásticos, que podem causar sérios danos à saúde humana e ao meio ambiente, enfatizando a necessidade de descarte adequado (Dias *et al.* 2022; Grandhi *et al.* 2024; Koshta *et al.*, 2022).

De acordo com Xavier *et al.* (2021), o fato de serem compostos por materiais de alto valor agregado, mas também componentes perigosos, demanda que REEE sigam fluxos estratégicos e diferenciados para garantir tratamento adequado e recuperação de valor. Por isso, a relação de benefícios e necessidade de recuperação de REEE trazem à tona conceitos como consciência de gerenciamento ambiental, regulamentações mais rigorosas, economia circular, *Green Supply Chain Management* (GSCM) e logística reversa.

O planejamento estratégico para retornar REEE a novos ciclos produtivos deriva dos princípios abrangidos pela Economia Circular (EC). Esta abordagem se refere a medidas para permitir que o sistema antropogênico reintroduza resíduos como nutrientes para novos ciclos naturais ou tecnológicos, de forma a gerar benefícios ambientais, sociais e econômicos (Xavier *et al.*, 2021). Além da EC, o conceito de GSCM, ou Gestão Verde da Cadeia de Suprimentos, também ganha força na gestão de REEE. Esta abordagem diz respeito à incorporação de práticas ecologicamente corretas na produção e logística, visando reduzir as emissões de poluentes e o desperdício de recursos em toda a cadeia (Liu *et al.*, 2024). Estas práticas, buscadas pelas empresas de forma a gerir sua cadeia de suprimentos de forma “verde” ou ecológica, dizem respeito às práticas de EC, que incluem reduzir a emissão de poluentes, reutilizar partes e peças, e reciclar (transformar resíduos em recursos) (Kirchherr *et al.*, 2017).

Dessa forma, a logística reversa (LR) dos REEE tem sido objeto de recentes decretos e leis em todo o mundo, visando o correto equacionamento desses resíduos (Caiado, 2017). No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), implantada em 2010, define a LR como o instrumento através do qual os resíduos podem ser coletados e restituídos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (Brasil, 2010).

A aplicação da PNRS fez com que a gestão dos REEE passasse a ser discutida de modo mais intenso no país. De modo geral, o sistema nacional de gestão de REEE é regulamentado pelo princípio da responsabilidade compartilhada entre as partes interessadas/produtores (Baldé *et al.* 2024). No entanto, segundo Santos e Ogunseitán (2022), apesar de fortemente conectada com esse princípio, a lei não detalha a estrutura necessária (partes interessadas e suas funções, fontes de financiamento, monitoramento do sistema, etc.) para que a LR funcione. Há também outras barreiras existentes, como a falta de conscientização, falta de dados e de conhecimento

técnico em gerenciamento de REEE, além da existência do mercado informal e precário de coleta e reciclagem (Baldé *et al.* 2024).

Para Xavier *et al.* (2021), a falta de um sistema de LR formal robusto, com estrutura para coleta e reciclagem, é um dos principais desafios do Brasil em relação ao gerenciamento de REEE, somado ao vasto tamanho do país (Baldé *et al.*, 2024). Para enfrentar esses desafios de forma eficaz, parcerias e iniciativas devem ser fomentadas entre os setores público e privado, academia e sociedade civil, para aumentar a conscientização, conduzir pesquisas, promover a inovação, aprimorar tecnologias de reciclagem, desenvolver melhores práticas e aprimorar a educação e a participação do público (Baldé *et al.*, 2024).

Uma dessas iniciativas é um mecanismo pioneiro no Brasil para oferecer às indústrias os benefícios científicos da pesquisa e do desenvolvimento em alto nível, e vincular projetos de pesquisa aplicados à realidade e à necessidade do setor industrial brasileiro. Trata-se do programa de doutoramento vinculado à indústria (Programa de Doutorado Acadêmico para Inovação - DAI), criado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O programa objetiva fomentar a pesquisa aplicada, o desenvolvimento tecnológico e a inovação através da pesquisa acadêmica; auxiliar as empresas no desenvolvimento ou na melhoria de produtos, processos e serviços que favoreçam o avanço de setores econômicos estratégicos; e promover ações de educação, popularização e divulgação científica.

A presente pesquisa é um dos projetos contemplados pelo programa, e estabelece uma parceria entre a UNIFEI e uma indústria brasileira fornecedora de soluções para REEE, por fins de confidencialidade chamada de ST neste trabalho. A ST faz parte da cadeia de fornecimento e desenvolvimento de uma empresa global de inovação e manufatura de EEE. A nível nacional, é a única capaz de integralizar todos os elos da cadeia reversa de REEE (desde a LR (coleta), desmontagem e separação de materiais, descaracterização e trituração de partes e peças, processamento para produção de matéria-prima reciclada, e produção de novas peças). Atualmente, a ST recebe pouco volume de REEE, operando aquém de sua capacidade, o que é um espelho do atual cenário brasileiro.

Portanto, o principal problema de pesquisa deste trabalho é: “como elevar os volumes de REEE coletados pelas indústrias formais de gestão de resíduos?”. Para responder a esta pergunta, esta pesquisa analisa a gestão da cadeia de REEE no cenário brasileiro sob a perspectiva da ST, incluindo outros elos da cadeia. Baseado nos princípios de EC e GSCM e, através do mecanismo de LR, visa levantar e testar soluções práticas que contribuam para o melhor gerenciamento de REEE, com foco na coleta, direcionamento e reciclagem de resíduos partindo do consumidor final. Isto é feito através do método de Pesquisa-Ação, uma abordagem

de aprendizagem na prática, a qual visa agir e criar conhecimento sobre essa ação (Coughlan e Coughlan, 2002), isto é, gerar teoria sobre uma mudança aplicada em um sistema social (Thiollent, 2007). Neste caso, são aplicadas iniciativas de coleta de REEE na prática, para validar sua relevância e adquirir conhecimento científico.

A coleta de dados empíricos permite não só identificar aquelas iniciativas de coleta que têm potencial de aplicação para alcançar o propósito da EC, como também as reais conexões entre os elos que compõem a cadeia. A identificação dos relacionamentos entre os elos permite realizar um mapeamento real da cadeia através da abordagem BPMN (*Business Process Model and Notation*), que utiliza um padrão gráfico de modelagem de processos baseado em fluxogramas (OMG, 2011). Segundo Soesanto *et al.* (2023), o uso desta ferramenta é raro na literatura referente à gestão de REEE.

Além disso, os resultados também são analisados através de matrizes de oportunidade e SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*), que examina os pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças das iniciativas testadas com base na literatura. A ferramenta de simulação computacional também é utilizada nas análises para observar cenários e gerar projeções para futuras coletas, pois permite antecipar e avaliar estratégias através de métodos estatísticos (Gennaro *et al.*, 2017; Felipe e Leismann, 2019).

Logo, a soma destas análises servirá de base para auxiliar tanto a empresa estudada quanto outras empresas do setor a programarem suas estratégias para impulsionar o volume de REEE coletado, visando recuperação, reciclagem e disposição final ambientalmente correta.

1.1 Objetivos Geral e Específicos

O objetivo geral deste estudo é elaborar e validar iniciativas para as empresas do setor formal de gestão de REEE que visem o aumento dos volumes de resíduos coletados. Para isso, parte-se de uma identificação da cadeia reversa de REEE e de suas iniciativas vigentes, e, através de ação, chega-se à identificação daquelas iniciativas em potencial. Para alcançar esse objetivo, é preciso segmentá-lo nos seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar a cadeia reversa de REEE no Brasil, seus integrantes, regulamentações e iniciativas de coleta vigentes;
- Aplicar iniciativas para elevar os volumes de coleta de REEE em campo, através de ações;
- Mapear os processos da cadeia, através da ferramenta BPMN (*Business Process and Notation*);

- Validar as iniciativas testadas qualitativamente, através de ferramentas como análises SWOT e matriz de oportunidades; e quantitativamente, gerando taxas de captação e simulando projeções (através de simulação).

1.2 Relevância e Justificativa

Do ponto de vista acadêmico, tem crescido o número de publicações referentes à gestão de REEE, atreladas à discussão político-social do tema. Uma revisão de literatura realizada pela presente pesquisa em 2020 (descrita no Capítulo 2, subitem 2.6), acerca das práticas de GSCM aplicadas aos REEE, revela que a maioria das publicações (63% delas) exploram casos reais, o que evidencia o engajamento dos pesquisadores em trazer para a ciência as práticas aplicadas pela indústria e a sociedade (Angouria-Tsorochidou *et al.*, 2018; Blake *et al.*, 2019; Cole *et al.* (2017, 2019a, 2019b); Dominish *et al.*, 2018; Golsteijn e Martinez, 2017; Liu *et al.*, 2015; Marconi *et al.*, 2018; Söderman e André, 2019; Tippayawong *et al.*, 2015; Veenstra *et al.* 2010). No entanto, a revisão demonstra forte abordagem dessas publicações acerca de discussões normativas e teóricas, a respeito de barreiras legais, culturais, sociais e tecnológicas, principalmente nos países em desenvolvimento, como o Brasil, para a implementação eficaz das iniciativas de GSCM aos REEE.

Outra revisão realizada por esta pesquisa sobre o conhecimento e o comportamento do consumidor final em relação aos REEE, descrita mais adiante neste estudo (Capítulo 2, subitem 2.7), demonstrou, igualmente, a prevalência das discussões normativas e teóricas (Ardi *et al.*, 2020; Cordova-Pizarro *et al.*, 2020; Corsini *et al.*, 2020; Echegaray e Hansstein, 2017; Islam *et al.* (2020, 2021); Kianpour *et al.*, 2017; Mansuy *et al.*, 2020; Nowakowski, 2019; Santos e Ogunseitan, 2022; Wilkinson e Williams, 2020). Especificamente no contexto brasileiro, nenhum dos estudos testa práticas de LR existentes considerando a perspectiva do consumidor e a importância de seu papel, o que é um dos pilares para o desenvolvimento da presente pesquisa.

De acordo com a regulamentação brasileira, é papel do consumidor descartar os REEE nas condições solicitadas e nos locais estabelecidos; ao setor privado cabe gerenciar os REEE de forma ambientalmente adequada, reincorporá-los na cadeia produtiva, e prevenir poluição ambiental; e, por fim, é papel do poder público fiscalizar o processo e, de forma compartilhada com os demais responsáveis pela cadeia, conscientizar e educar o consumidor (SINIR, 2019). Isso significa o compartilhamento de responsabilidade entre os setores público e privado e a sociedade civil para o gerenciamento dos REEE. No entanto, no Brasil, apenas a partir de 2020 regulamentou-se oficialmente a criação e implementação de sistemas LR de EEE domésticos (a nível do consumidor individual/residencial) a todos os fabricantes, importadores,

distribuidores e comerciantes, através do Decreto nº 10.240 de 2020 (Brasil, 2020).

Há uma falta de conscientização e de responsabilização adequada dos integrantes da cadeia de REEE, entre governos, indústrias e indivíduos, o que é consensual entre diversas publicações estudadas (Alamerew e Brissaud, 2018; Ardi *et al.*, 2020; Augusto *et al.*, 2018; Blake *et al.*, 2019; Campos *et al.*, 2014; Cole *et al.* (2019a, 2019b); Cordova-Pizarro *et al.* (2019; 2020); Corsini *et al.*, 2020; Dominish *et al.*, 2018; Ferreira *et al.*, 2019; Garg *et al.*; 2017; Isernia *et al.*, 2019; Islam *et al.* (2020, 2021); Kianpour *et al.*, 2017; Kuah e Wang, 2017; Mello *et al.*, 2016; Nowakowski, 2019; Oliveira *et al.*, 2017; Parajuly *et al.*, 2020; Rossini e Napolini, 2017; Sant'anna *et al.*, 2014; Santos e Ogunseitan, 2022; Vieira *et al.*, 2020). Também é comum a essas pesquisas o fato de analisarem o tema de forma conceitual, não analisando ou testando as relações e a promoção de soluções práticas para melhorar a gestão dos REEE.

Em concordância com essas publicações dos últimos 10 anos mencionadas, Pan *et al.* (2022) alegam que a responsabilização das partes interessadas, incluindo governos (legislação), indústria e sociedade ainda estão entre os temas mais abordados acerca da gestão de REEE mais recentemente. Também tem crescido o número de publicações referentes a sistemas de reciclagem de REEE; LR; e estratégias de EC aplicadas à fabricação (Pan *et al.*, 2022). No entanto, o Brasil, segundo Dias *et al.* (2022), carece de dados confiáveis sobre métricas referentes a taxas de coleta e reciclagem e o destino dos recursos. Na prática, ainda são necessários muitos esforços no que tange o planejamento e a gestão da LR de REEE. A legislação permanece mal aplicada pelo setor privado e pouco conhecida pelos consumidores alvo. Além disso, faltam instrumentos para implementar mecanismos de coleta, reciclagem e LR, somado ao fato de que a interligação dos pontos da cadeia não é efetiva (Baldé *et al.* 2024; Bernardo *et al.*, 2020; Santos e Ogunseitan, 2022); Xavier *et al.*, 2021).

A ST, empresa parceira desta pesquisa através do Programa DAI, citado anteriormente, é a maior empresa do Brasil apta a realizar todas as atividades do ciclo reverso de REEE. No entanto, espelha a realidade brasileira, uma vez que não alcança sua capacidade produtiva total por não receber quantidade suficiente desses resíduos. Logo, este trabalho justifica-se pela relevância em realizar suas análises com o suporte da ST, a indústria mais importante a vivenciar essa realidade no contexto brasileiro.

A presente pesquisa, portanto, pretende aplicar estudos práticos e gerar soluções, preenchendo a lacuna da literatura que há dentre os temas mais estudados na área, que abordam, em sua maioria, discussões teóricas. Assim, esta pesquisa visa estudar os relacionamentos entre as partes interessadas da cadeia reversa de REEE; e levantar e aplicar soluções para a melhor gestão de REEE através de iniciativas de LR, visando coletar esses resíduos e destiná-los ao

setor formal de reciclagem. Desta forma, também será possível preencher outras lacunas da literatura, gerando dados sobre as taxas de captação de REEE provenientes da entrega voluntária de resíduos pela população. Através da Pesquisa-Ação, esses dados serão coletados em campo, gerando resultados e análises verossímeis.

Esta pesquisa também apresenta relevância do ponto de vista prático. Enquanto a quantidade global de REEE cresce a uma taxa alarmante de mais de 2Mt por ano, apenas 22% desse volume é reaproveitado formalmente. As atividades de reciclagem não estão acompanhando o ritmo global de crescimento de REEE (Baldé *et al.*, 2024). Por isso, contribuir para o gerenciamento correto dos REEE é essencial, o que será feito neste trabalho através da elaboração e aplicação de iniciativas de coleta formais. O correto gerenciamento de REEE gera não somente benefícios ao meio ambiente; aumento da eficiência do uso de recursos naturais finitos; aumento da vida útil dos aterros sanitários; mas também benefícios à economia por meio do aumento de emprego, renda e criação de novos negócios (SINIR, 2019).

1.3 Estrutura da Tese

O presente estudo está estruturado em cinco capítulos. Após este capítulo introdutório, o Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica que suporta a pesquisa realizada, abordando as definições dos termos aqui estudados e revisões de literatura acerca do estado da arte do tema.

No Capítulo 3 encontra-se o planejamento metodológico utilizado para se atingir os objetivos desta pesquisa. O Capítulo 4 apresenta a implementação do que foi planejado a partir da metodologia adotada, descrevendo e avaliando os resultados das ações testadas para o alcance do objetivo.

O Capítulo 5 descreve as análises das iniciativas de coleta de REEE testadas. O Capítulo 6 traz a discussão dos resultados comparados à literatura. O Capítulo 7, finalmente, traz as conclusões do trabalho e identifica as oportunidades para estudos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os temas pesquisados de forma a contextualizar o objeto de estudo e as análises realizadas. Apresenta-se as definições de GSCM, LR, EC e REEE, e a legislação relativa ao tema. Apresenta-se ainda uma revisão sistemática da literatura que integra os temas GSCM, EC e REEE e sua abordagem em diversos países, e uma caracterização do estado da arte que engloba o consumidor final, ou usuário, ao gerenciamento de REEE, comparando os perfis dos consumidores brasileiros àqueles ao redor do mundo. Tais definições suportam a tese e guiam a definição de soluções para o objetivo proposto. Devido à natureza do tema, foram considerados artigos científicos nacionais e internacionais disponibilizados nos principais bancos de dados de pesquisas acadêmicas, trabalhos acadêmicos e de congressos, além de relatórios de dados e legislações.

2.1 Green Supply Chain Management (GSCM) e Economia Circular (EC)

Em português, a sigla refere-se à Gestão Verde da Cadeia de Suprimentos. De acordo com Oliveira *et al.* (2018), embora haja mais de 22 definições diferentes para o GSCM, a mais utilizada na literatura vem de Srivastava (2007), que a descreve como o pensamento que integra as cadeias de suprimentos verde desde o fornecedor, passando pelo fabricante, indo até o consumidor e retornando ao ciclo. Em outras palavras, o GSCM é a integração do pensamento ambiental ao gerenciamento da cadeia de suprimentos, incluindo *design* de produto, seleção e fornecimento de materiais, processos de fabricação, entrega do produto ao consumidor, bem como o gerenciamento do fim de sua vida útil (Srivastava, 2007).

Srivastava (2007) define que o propósito do GSCM é monitorar os programas de gerenciamento ambiental a práticas mais proativas, que, para Srivastava (2007) e Leite (2017), são: reduzir o fardo ecológico; remanufaturar produtos desgastados a uma condição semelhante à nova; reparar, retornando produtos usados à sua função inicial por conserto e/ou substituição de peças; reformar; reutilizar (produtos e/ou matéria-prima); canibalizar (por desmanche); reaproveitar peças do produto desativado para reposição em outro (em reparo ou remanufatura); e reciclar, transformando partes do produto descartado em matéria-prima secundária. Além destas, há também o gerenciamento de resíduos, incluindo redução de poluentes e disposição final, e a logística reversa (Srivastava, 2007).

Já Assumpção *et al.* (2019) discutem as práticas do GSCM sob a perspectiva da estrutura organizacional, que envolvem os processos de negócio (criação de valor para os *stakeholders*), componentes da cadeia (variáveis de gestão) e estrutura (rede de membros). Assim, definem onze práticas de GSCM que visam melhorar os relacionamentos e direcionar valor entre todos os

componentes da cadeia, entre elas: gestão ambiental interna (práticas ambientalmente amigáveis a nível operacional); compras verdes (matérias-primas - extração e aquisição, seleção de fornecedores, distribuição, embalagem, reciclagem, reutilização, redução de recursos, sistemas de gestão e destinação final dos produtos); cooperação com clientes (participação do cliente, percepções e sugestões colaborativas); eco design; recuperação de investimento (recuperação e descarte/venda de produtos excedentes ou obsoletos); inovação ambiental (tecnologias ambientais para reduzir ou eliminar impactos operacionais); desempenho ambiental (criação de indicadores para melhoria contínua de desempenho ambiental e econômico); conformidade verde (diretrizes, especificações e requisitos legais); *marketing* verde (facilitar o consumo, a produção, a distribuição e a promoção para atender às necessidades dos clientes em relação às questões ambientais; participação dos colaboradores na produção de inovações ambientais; relacionamento com fornecedores (colaboração, incentivo, cooperação e compartilhamento de técnicas e conhecimentos); e logística reversa.

As atividades de GSCM são consideradas pelas organizações como uma opção viável para reduzir o impacto ambiental das operações, além de aumentarem significativamente o desempenho corporativo. Consequentemente, uma boa imagem corporativa implica em maiores lucros, redução de custos e geração de valor para o negócio (Oliveira *et al.*, 2018).

Para transformar a cadeia de suprimentos tradicional em uma cadeia de suprimentos verde, é preciso que as organizações redesenhem sua cadeia, o que pode ser feito através do conceito de Economia Circular (EC) (Kazancoglu *et al.*, 2018). EC é um novo conceito econômico que surge da percepção de que mantendo-se a prática da economia linear, de sequência extração-fabricação-uso-descarte, além da demanda cada vez maior, alguns recursos naturais poderiam se findar. Mantendo-se os padrões produtivos, estima-se que até 2030 haverá escassez de recursos e aumento nos custos de materiais. Portanto, atualmente, fornecer novos padrões de consumo e produção é imperativo à transição para um modelo sustentável de desenvolvimento (Mahmoumgonbadi *et al.*, 2021).

A EC prioriza recursos naturais e humanos em relação ao capital e à energia, com ciclos de reutilização de produtos e matéria-prima (Ohde *et al.*, 2018). Por isso, a EC visa promover sistemas industriais ambientalmente e socialmente sustentáveis (Fundação Ellen MacArthur, 2015). É um paradigma alternativo que visa a superação do modelo de produção e consumo existente por meio de um uso mais eficaz de recursos, a fim de alcançar um melhor equilíbrio entre economia, meio ambiente e sociedade (Mahmoumgonbadi *et al.*, 2021).

Para o CE100 Brasil (2017), a EC é restaurativa e regenerativa por princípio, tendo como objetivo manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor o

tempo todo, buscando dissociar o desenvolvimento econômico do consumo de recursos finitos. Para Kirchherr *et al.* (2017), o conceito de EC é mais frequentemente descrito como uma combinação de atividades de redução, reutilização e reciclagem, tendo como principal objetivo a prosperidade econômica aliada à qualidade ambiental. Nesse aspecto, Hajar (2024) afirma que o modelo de desenvolvimento da EC busca sustentar o valor dos materiais e produtos no mais alto nível possível durante todo o ciclo de vida, aplicando o princípio dos 5R (Reduzir, Reutilizar, Reciclar, Recuperar e Reparar). Assim, buscando minimizar o desperdício e maximizar a reutilização de recursos, a EC oferece vantagens sobre a economia linear ao usar produtos, equipamentos e infraestrutura por mais tempo, melhorando sua produtividade (Hajar, 2024).

Há dois canais de EC, o de ciclo aberto e o fechado. No canal de ciclo aberto, o produto terá uma utilização distinta da que teve no canal de distribuição direto, ou seja, apresenta maior dificuldade de gerenciamento e muitas vezes não atrai as empresas que geram o resíduo. Um exemplo é o plástico PET, uma vez que o material reciclado não tem o mesmo uso do material virgem. Por outro lado, se o resultado do pós-consumo vai realimentar o setor produtivo que gerou o canal de distribuição direto, há um ciclo fechado. Os metais, em sua maioria, apresentam esse ciclo, uma vez que podem ser transformados e retornar ao início da cadeia de suprimentos (Gontijo, 2010).

Pode-se dizer que em ciclo fechado há o reprocessamento de fluxos de produtos e operações de recuperação de pós-venda/pós-consumo, trazendo benefícios ambientais, sociais e econômicos, mas, vinculado a grandes investimentos devido à necessidade de instalações dedicadas para coleta e reprocessamento de produtos ao final de sua vida útil tradicional. Cadeias de suprimentos de circuito fechado combinam as cadeias direta e reversa, simultaneamente, para cobrir todo o ciclo de vida do produto, do berço ao túmulo, formando “ciclos” que fazem os materiais (usados ou não) retornarem a pontos anteriores da cadeia para reutilização ou reprocessamento para novo uso. Esse arquétipo de cadeia de suprimentos que compreende uma infinidade de ciclos de materiais é típico de sistemas industriais de EC (Batista *et al.*, 2018).

A EC enfatiza a reciclagem de recursos, convertendo resíduos em recursos reutilizáveis, aumentando sua eficiência. O GSCM incorpora práticas ecologicamente corretas na produção e logística, visando reduzir as emissões de poluentes e o desperdício de recursos em toda a cadeia (Liu *et al.*, 2024). Desta forma, as práticas de GSCM se apresentam como estratégias corporativas para as empresas atingirem as metas de EC, pois reduzem o consumo de energia e as emissões de resíduos, melhoram a eficiência dos recursos e contribuem para o desenvolvimento sustentável (Kazancoglu *et al.* 2018; Liu *et al.*, 2024).

Os governos e órgãos supranacionais buscam incentivar a transição para a EC por meio de legislação e diretivas de cima para baixo, seguindo um princípio de “comando e controle” superiores. No entanto, maiores esforços de baixo para cima por parte das organizações industriais também são essenciais para que a EC seja impulsionada principalmente por atores econômicos privados, sendo puxada pelo mercado. Como resultado, o desenho e o planejamento de cadeias de suprimentos apropriadas constituem um alicerce significativo para a implementação de práticas de EC (Bressanelli *et al.*, 2020).

A estrutura da EC tem um impacto significativo nas cadeias de suprimentos, incluindo áreas-chave como a logística direta e a logística reversa. Este impacto na logística reversa leva a contribuições para práticas sustentáveis e eficientes de várias perspectivas (Hajar, 2024).

2.2 Logística Reversa (LR)

A LR surgiu como uma alavanca crítica para a construção de uma EC, definida como a logística que acontece na direção oposta, que inclui a redução de materiais no sistema direto para que menos materiais fluam de volta, a reutilização de materiais seja possível e a reciclagem seja facilitada (Butt *et al.*, 2023).

Embora o conceito de LR date de muito tempo atrás, a denominação do termo é difícil de rastrear com precisão (Brito e Dekker, 2002). O Conselho de Gestão Logística (*Council of Logistics Management*) publicou a primeira definição no início dos anos 1990 (Stock, 1992), como o termo usado para se referir ao papel da logística na reciclagem, eliminação de resíduos e gestão de materiais perigosos, incluindo atividades logísticas realizadas na redução da fonte, reciclagem, substituição, reutilização de materiais e descarte.

Ainda segundo o Conselho de Gestão Logística, a LR é o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e econômico de matérias-primas, estoques, produtos acabados e informações relacionadas do ponto de consumo até o ponto de origem, visando a recuperação de valor ou o descarte adequado (Tibben-Lembke e Rogers, 2002). Para Islam e Huda (2018), essa definição vincula diretamente as atividades de LR em um cenário de gerenciamento de resíduos que fornece uma abordagem holística para a conservação de recursos e reciclagem de produtos em fim de vida.

Do ponto de vista da LR, a vida útil de um produto não termina após o uso pelo cliente final. Em vez disso, os produtos em fim de vida devem retornar ao seu ponto de origem para serem descartados ou recuperados adequadamente (Simons *et al.*, 2024). Devido às crescentes regulamentações ambientais, potencial recuperação de recursos materiais valiosos para o mercado secundário e práticas comerciais sustentáveis, nos últimos anos, o conceito de LR foi aceito e

amplamente praticado nas indústrias de manufatura em todo o mundo (Islam e Huda, 2018). Para Tosarkani e Amin (2018), na LR são enfatizados além dos aspectos econômicos (visto que há um lucro significativo associado ao seu valor de recuperação), também os aspectos ambientais.

Para Butt *et al.* (2023), através da LR, as empresas podem se tornar mais ambientalmente eficientes por meio da reciclagem, reutilização e redução do uso de materiais. Por isso, a reciclagem (processamento de resíduos em novos produtos) é considerada um componente importante da LR. Assim, uma cadeia de ciclo fechado usa a LR para alimentar produtos que cumpriram sua finalidade de volta ao processo de logística direta (Butt *et al.*, 2023).

É possível dizer que a logística direta e reversa se fundem. Assim, o conceito de recuperação de materiais, dentro da GSCM, sublinha que não apenas os fluxos reversos devem ser considerados, mas também a integração com os fluxos diretos, uma vez que as atividades logísticas sobre materiais e produtos virgens também podem incluir atividades de LR (Brito e Dekker, 2002). A união desses fluxos forma ciclos, que compreendem um sistema de EC. Para Simons *et al.* (2024), atualmente, o conceito de EC propõe que a LR deve ser projetada para circularidade, incluindo insumos, produtos, processos e fluxos circulares.

Isto posto, observa-se que os conceitos de GSCM, EC e LR se interligam. Assim, para se atingir os objetivos de EC, aplica-se as práticas de GSCM, práticas operacionais ambientalmente amigáveis. Dentre estas práticas, a reutilização de materiais e a redução do uso de recursos e de geração de resíduos são estritamente condizentes com os objetivos de EC. A prática de aquisição de matérias-primas verdes, além daquelas certificadas, está relacionada àquelas recicladas, que foram convertidas de resíduos a novos recursos, outro objetivo da EC. Um meio para que esta prática seja possível é a LR, que é a via responsável pelo retorno do produto pós-consumo à indústria; o que também está relacionado à prática de destinação final dos produtos, ou seja, de gerenciamento do produto após sua vida útil.

Destaca-se a importância destes inter-relacionamentos para os fins desta pesquisa, que estudará a aplicação da LR, como uma prática de GSCM para gerenciamento de resíduos, a fim de garantir sua reciclagem para reinserção na indústria, visando EC.

Dentre os materiais para os quais cresce a abordagem de EC e LR, estão os equipamentos eletroeletrônicos.

2.4 Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos

O Relatório de Monitoramento Global de Lixo Eletrônico (*The Global E-Waste Monitor* 2024), de Baldé *et al.* (2024), é atualmente a maior referência em monitoramento de REEE no mundo. Ele é coorganizado pela Universidade das Nações Unidas (UNU), pelo Instituto das

Nações Unidas para a Formação e Pesquisa (UNITAR) e pela União Internacional das Telecomunicações (ITU), já estando em sua quarta edição desde 2014.

De acordo com este relatório, EEE incluem uma ampla gama de produtos com circuitos ou componentes elétricos com alimentação ou bateria, abrangendo quase todos os produtos de uso doméstico ou comercial, como utensílios básicos de cozinha, brinquedos, ferramentas, e itens de tecnologia da informação e comunicação, como telefones celulares, laptops etc. Os REEE têm natureza variada, que inclui uma composição complexa de materiais e componentes, uma ampla gama de tipos de produtos em rápida evolução que compreende cada vez mais peças miniaturizadas, eletrônicos incorporados em equipamentos tradicionais, roupas e brinquedos etc., e cada vez mais produtos interoperáveis com a capacidade de se conectar à Internet. Os EEE - qualquer coisa com um plugue ou uma bateria - têm um enorme potencial para a transformação das sociedades, por meio de geração de energia, cidades inteligentes, Inteligência Artificial e a Internet das Coisas (Baldé *et al.*, 2024).

Para fins estatísticos, todavia, EEE são classificados por função semelhante, composição de material, peso médio e atributos semelhantes de fim de vida. Assim, agrupam-se em seis categorias gerais que correspondem às suas características de gestão de resíduos, como descreve a Tabela 1.

Os EEE tornam-se resíduos quando descartados pelo proprietário sem a intenção de reutilização, o que é a definição de “produtos pós-consumo”. Cada produto tem um conteúdo de material diferente, é descartado e reciclado de maneiras diferentes e é desigualmente prejudicial ao meio ambiente e à saúde humana se não for gerenciado de maneira ambientalmente correta (Forti *et al.*, 2020).

Borthakur e Govind (2017) afirmam que os avanços tecnológicos e econômicos e o aumento da demanda e incentivos ao consumo proporcionaram uma redução da vida útil dos EEE e maiores taxas de substituição, com conseqüente crescimento na geração de lixo eletrônico. A partir disso, a consciência ambiental e regulamentações ambientais mais rigorosas levaram as indústrias a pensarem em gerenciamento ambiental, cadeias de suprimentos circulares, recuperação de produtos e LR (Bouzon *et al.*, 2016). A disposição REEE pode apresentar oportunidades comerciais, uma vez que contêm metais preciosos (ouro, alumínio, cobre, prata e bronze) (ABDI, 2013) e componentes recuperáveis (polímeros e vidro). Por também apresentarem materiais perigosos e contaminantes (níquel, chumbo e mercúrio) (Ahmadi e Amin, 2019), segundo Nowakowski (2018) e Calgaro *et al.* (2017), além de obrigatório por lei, devem ser separados e tratados para evitar problemas ambientais e de saúde humana.

Tabela 1 – Classificações de EEE

Categorias gerais de EEE		Exemplos
	Equipamentos de troca de temperatura	Refrigeradores; freezers; condicionadores de ar; bombas de calor.
	Telas e monitores	Televisores; monitores; laptops; notebooks; tablets.
	Lâmpadas	Fluorescentes; de descarga de alta intensidade; LED.
	Equipamentos de grande porte	Máquinas de lavar; secadoras de roupas; lavadoras de louça; fogões elétricos; máquinas de impressão de grande porte; equipamentos de fotocópia; painéis fotovoltaicos.
	Equipamentos de pequeno porte	Aspiradores de pó; micro-ondas; equipamentos de ventilação; torradeiras; chaleiras/cafeiteiras elétricas; barbeadores elétricos; balanças; calculadoras; aparelhos de rádio; câmeras, brinquedos elétricos e eletrônicos; pequenas ferramentas elétricas e eletrônicas; pequenos dispositivos médicos; pequenos instrumentos de monitoramento e controle.
	Pequenos equipamentos de TI e telecomunicações	Telefones celulares; dispositivos de Sistema de Posicionamento Global (GPS); calculadoras de bolso; <i>pen drives</i> ; roteadores; computadores pessoais (desktops); impressoras; telefones.

Fonte: Adaptado de Forti *et al.* (2020, p. 19)

A indústria de REEE está ganhando importância primordial dentro do contexto da EC. Sob um esquema de EC, a indústria de REEE tem um potencial econômico de reciclagem significativo, mas empresas, organizações e governos ainda lutam com sua implementação. Assim, ainda há um desafio considerável para alcançar os potenciais ganhos ambientais, sociais e econômicos associados à implementação da EC na indústria de REEE (Bressanelli *et al.*, 2020).

Segundo Baldé *et al.* (2024), em 2022, aproximadamente 62 milhões de toneladas (Mt) de REEE foram gerados no mundo, uma quantidade recorde desde 2010, sendo 7,8kg *per capita*. Em 2022, a coleta documentada formalmente foi de 13,8Mt, ou seja, apenas 22,3% do total gerado. Comparando-se com dados de 2019, que eram de aproximadamente 9Mt (Forti *et al.*, 2020), a taxa de coleta formal cresceu (a relação percentual entre a quantidade total de REEE reciclada e o total gerado). No entanto, apesar de avanços na coleta formal, esta conquista é ofuscada pelo rápido crescimento da quantidade de REEE em geral (Baldé *et al.*, 2024).

Ainda de acordo com o relatório de Baldé *et al.* (2024), estima-se que 16Mt de REEE sejam coletados e reciclados fora dos sistemas formais em países desenvolvidos com

infraestrutura de gerenciamento de resíduos; e que 18Mt sejam manipulados em países de renda baixa e média-baixa (em desenvolvimento) sem infraestrutura de gerenciamento, principalmente pelo setor informal. Os fluxos de efluentes de REEE são altamente atrativos para grandes refinarias de sucata, muitas delas localizadas em economias avançadas da Europa e Ásia, ao mesmo tempo em que técnicas de pré-processamento de baixo valor agregado permanecem principalmente confinadas nos países em desenvolvimento, o que configura uma distribuição desproporcional de danos e benefícios (Xavier *et al.*, 2021).

As atividades informais de coleta de REEE dominam o cenário em países em desenvolvimento, onde a promoção dessa indústria é complexa (Dias *et al.*, 2022). O tratamento informal de REEE, na ausência de controle legal, pode ocasionar problemas de poluição ambiental e saúde humana (Baldé *et al.*, 2024; Oliveira *et al.*, 2017). Entre as razões, estão o fato de que este setor não registrado e desestruturado utiliza processos ineficientes e inseguros, através de técnicas de tratamento frequentemente rudimentares e básicas (Cheshmeh *et al.*, 2023).

O tremendo crescimento das redes informais de reciclagem representa uma séria preocupação para governos e outros reformistas ambientais em todo o mundo, sendo, portanto, essencial focar no gerenciamento de REEE para promover métodos eficientes de descarte para proteger a saúde humana e o meio ambiente (Kumar *et al.*, 2022). As tecnologias existentes para o tratamento e reciclagem de REEE de forma a preservar saúde e recursos são reconhecidamente administradas pelo setor formal (Cheshmeh *et al.*, 2023). No entanto, ainda são necessários muitos esforços no que diz respeito a coordenação entre os setores, principalmente nos países em desenvolvimento.

2.5 A legislação sobre REEE no Brasil

Para Xavier *et al.* (2021), há uma correlação direta entre geração de REEE e o PIB (produto interno bruto) nos países das Américas. O Brasil é um país em desenvolvimento com a maior população (aproximadamente 212,6 milhões de pessoas em 2024) (IBGE, 2024) e o maior PIB da América Latina (2174 bilhões de dólares em 2023) (Fundo Monetário Internacional, 2024). Na América do Sul, o Brasil possui a maior taxa de geração de REEE em 2022 (2,4Mt), da qual cerca de apenas 3,2% foi documentado como formalmente coletado (0,08Mt) (Baldé *et al.*, 2024).

A regulamentação é importante para alcançar uma boa gestão de REEE. Lei em vigor no Brasil desde 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), visa à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos, incluindo produtos eletrônicos e seus componentes. A PNRS determina que os geradores (produtores, comerciantes, distribuidores) são

obrigados a implementar sistemas de LR para tratar seus resíduos; comercializar produtos aptos à reutilização, reciclagem ou outra forma de destinação adequada, com mínima geração de resíduos em sua fabricação e uso; recolher e dar destinação adequada aos produtos e seus resíduos após o uso. Nesse contexto, a LR é tida como um instrumento de desenvolvimento socioeconômico destinado a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos ao setor empresarial, para reaproveitamento ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Em 2019, o SINIR (Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos), o Ministério do Meio Ambiente, a ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica), a ABRADISTI (Associação Brasileira da Distribuição de Tecnologia da Informação), a ASSESPRO NACIONAL (Associação das Empresas Brasileiras de Tecnologia da Informação), e a *Green Eletron* (Gestora para Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos vinculada à ABINEE - sociedade civil sem fins lucrativos que representa os setores elétrico e eletrônico do Brasil), assinaram o “Acordo Setorial (AS) para Implementação do sistema de LR para REEE de uso doméstico” (por doméstico, leia-se: de tensão nominal não superior a 240 volts). O AS visa operacionalizar um sistema de LR de EEE e seus componentes colocados no mercado interno aos atores situados pela lei e pelo governo (SINIR, 2019).

A legislação determina que haja mecanismos para que o consumidor possa efetuar a devolução destes produtos para que o setor empresarial se encarregue de seu gerenciamento (SINIR, 2019; BRASIL, 2010). Assim, o AS estabelece metas para fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes sobre o número de PEVs (Pontos de Entrega Voluntária) que devem ser instalados, o número de cidades atendidas e o percentual de eletroeletrônicos a serem coletados e descartados corretamente. Individual ou coletivamente, as empresas devem gradualmente (de 2021 a 2025) instalar mais de 5.000 PEVs nas 400 maiores cidades do Brasil e coletar e destinar o equivalente em peso de 17% dos produtos colocados no mercado a partir de 2018.

A Lei e o AS preveem que o ciclo da LR de REEE ocorra de acordo com a Figura 1, seguindo as seguintes etapas: descarte pelo consumidor em pontos de entrega; recebimento e armazenamento adequado; transporte dos pontos de recebimento até pontos de consolidação ou destinação final (reutilização, reciclagem, recuperação ou disposição final ambientalmente adequada); tratamento dos resíduos; disposição final em aterros (SINIR, 2019).

Ainda de acordo com o SINIR (2019), o cidadão, no papel de consumidor, é responsável por descartar os resíduos nas condições solicitadas e nos locais estabelecidos. O setor privado, fica responsável pelo seu gerenciamento ambientalmente adequado, sua reincorporação na cadeia produtiva, adoção de inovações que tragam benefícios socioambientais bem como pelo uso racional dos materiais e prevenção da poluição ambiental. Por fim, cabe ao Poder Público

a fiscalização do processo e, de forma compartilhada com os demais responsáveis pelo sistema, conscientizar e educar o cidadão. Isso significa que o setor público, privado e a sociedade civil devem agir de forma conjunta para o gerenciamento dos REEE, através de compartilhamento de responsabilidade, gerando benefícios ao meio ambiente; aumento da vida útil dos aterros sanitários; aumento da eficiência do uso de recursos naturais; e benefícios à economia por meio do aumento de emprego, renda e geração de espaço para novos negócios e ampliação da oferta de produtos ambientalmente amigáveis (SINIR, 2019).

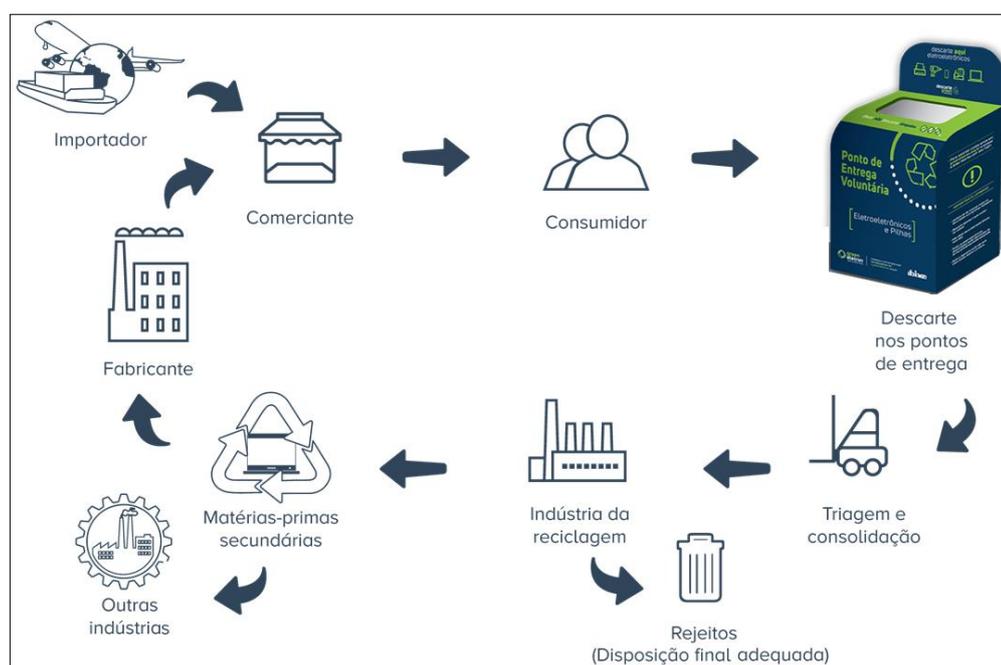


Figura 1 - Ciclo da LR de REEE proposto pela lei em conjunto com o AS
Fonte: SINIR (2019)

No entanto, importantes atores da cadeia, sobretudo o setor varejista, não aderiram ao AS, devido ao seu caráter contratual voluntário. Assim, entrou em vigor em 2020 o Decreto nº 10.240 (Brasil, 2020), que regulamente especificamente a LR de EEE de uso doméstico e seus componentes. O Decreto visa imputar obrigações semelhantes àquelas previstas no AS para todo o setor privado de EEE, que também passa a ter que estabelecer e implementar sistemas de LR de REEE de forma independente do sistema de coleta público. Um dos principais pontos de que trata o Decreto e que não está incluso no AS é o veto à remuneração, ressarcimento ou pagamento aos consumidores pela entrega de seus REEE nos PEVs, permitindo apenas a adoção de mecanismos de incentivo pelas empresas ou entidades gestoras. O Decreto também estabelece que o sistema de LR seja financiado integralmente pelas empresas, proporcionalmente a sua participação no mercado. Ora, na prática, o financiamento próprio pode vetar a adoção de mecanismos de incentivo ao consumidor, que não só não poderá ser ressarcido pelo descarte correto como acabará pagando

preços maiores pelo produto eletrônico para subsidiar o sistema de LR.

Ainda assim, esses arranjos legais permanecem em grande parte desconhecidos para os consumidores e mal aplicados entre fabricantes e autoridades. Além disso, faltam instrumentos formais e contínuos de *feedback* para fornecer a todos os *stakeholders* informações sobre seus respectivos papéis e possíveis sanções, além da implementação ineficaz de mecanismos de coleta, reciclagem e LR, principalmente em relação aos REEE (Echegaray e Hansstein, 2017). Além disso, a gestão ambientalmente correta de REEE é um desafio no Brasil devido ao vasto tamanho do país e ao amplo envolvimento do setor informal em atividades precárias de coleta e reciclagem (Baldé *et al.*, 2024).

2.5.1. Os setores formal e informal na legislação

Dentro dos aspectos legais e, para fins de denominação ao longo deste trabalho, serão definidos os setores formal e informal quanto à regulamentação do trabalho, como:

Setor formal: Aquele em que os trabalhadores são assalariados com carteira assinada (Machado *et al.* 2008); setor público ou privado regulamentado que envolve salários e transferências; funcionários públicos ou privados, empregadores e profissionais liberais (Souza *et al.*, 2020).

Setor informal: Aquele que encontrou “uma maneira de fazer as coisas” (Organização Internacional do Trabalho, 1972), envolvendo baixo nível exigido de capital e tecnologia. Engloba pequenas empresas familiares, o trabalhador autônomo (excluindo profissional liberal), e o serviço doméstico remunerado. Proveniente do setor primário, secundário e terciário como o comércio em pequena escala e serviços gerais. Envolve as atividades que ocupam nichos do mercado não preenchidos pela atividade tipicamente capitalista (Souza *et al.*, 2020).

Nos mercados de reciclagem de REEE, os setores formal e informal competem nos países em desenvolvimento pela aquisição de produtos usados, o que depende tanto dos preços de aquisição como dos serviços de coleta (Liu *et al.*, 2022). Neste caso, o setor formal, ou o setor privado, representa recicladores com qualificações de desmontagem, capazes de emitir certificados de destinação dos resíduos. Já o setor informal inclui prestadores de serviço sem qualificações ou certificações, como as oficinas de assistência técnica não autorizadas (sem vínculo com o fabricante) e os catadores de material reciclável (CMR).

2.6 Revisão Sistemática da Literatura: GSCM e EC aplicados a REEE

Foi realizada uma revisão sistemática da literatura acerca das práticas de GSCM e EC aplicadas ao setor de REEE empenhadas ao redor do mundo, bem como as principais barreiras e oportunidade a sua aplicação, através de um protocolo de busca reaplicável.

A primeira busca na literatura foi realizada em março de 2020 na base de dados *Scopus*, vinculada a vários bancos de publicações de impacto científico. A pesquisa combinou os conjuntos de palavras-chave em inglês “*green supply chain management*” e “*circular economy*”, através do operador lógico “OU”, adicionados ao operador “E” a “*electronic*”, buscando-se em títulos e resumos das publicações. Então, refinou-se a busca para excluir da seleção capítulos de livros, e para limitar as publicações à língua inglesa e de acesso livremente disponível na base de dados, sendo assim encontradas 37 publicações. A fim de complementar os resultados, foram adicionados à busca os termos “*Brazil*” OU “*Brazilian*”, em maio de 2020, na mesma base de dados e sob os mesmos critérios, de modo que foram encontradas mais 11 publicações. Ainda, uma terceira busca foi realizada no portal de periódicos nacional da Capes, em junho de 2020, buscando-se os termos “logística reversa” OU “cadeia reversa” E “eletrônicos”, em todos os campos de busca, refinada a português e inglês, e quanto à livre disponibilidade na plataforma, o que resultou em 25 publicações. Então, a partir da seleção e leitura iniciais, aplicou-se como critério de elegibilidade para refinamento final o vínculo das publicações com o tema, de modo que das 73 publicações encontradas foram consideradas, finalmente, 36 para esta revisão.

Assim, então, a Tabela 2, a seguir, evidencia a síntese dos temas abordados de acordo com os autores e origem das publicações. Quanto ao método de pesquisa, nota-se que 41% das publicações realizam estudos de caso e 22% utilizam o método *survey*. Isto significa que 63% das publicações exploram casos reais, evidenciando o engajamento dos pesquisadores em trazer para a ciência as práticas aplicadas pela indústria e sociedade. 16% das publicações aplicam o método de revisão para levantamento do estado da arte do tema; 16% desenvolvem métodos de modelagem para estudar ou aplicar práticas, e uma delas realiza um experimento.

Faz-se interessante notar que, mesmo que as buscas não tenham refinado período, todas as publicações são posteriores a 2010. No caso do Brasil, deve-se ao fato de ter sido esse o ano em que foi promulgada a PNRS. Dentre os estudos internacionais, nota-se um crescimento no número de publicações a partir de 2015, ano da adoção da diretiva acerca de resíduos eletrônicos pela Comissão Europeia, o Plano de Ação da União Europeia para EC - PAUEEC, dado que 60% destas publicações são oriundas da Europa.

Tabela 2 - Síntese da revisão sistemática

Autor(es)	Ano	Origem	Abordagem	Método de Pesquisa
Veenstra <i>et al.</i>	2010	China	Análise da cadeia de reciclagem (informal)	Survey
Liu <i>et al.</i>	2015	Taiwan	Performance ambiental em reciclagem de EEE	Survey
Tippayawong <i>et al.</i>	2015	Tailândia	Análise da cadeia de reciclagem de EEE	Survey
Garg <i>et al.</i>	2017	Índia	Análise da cadeia de reciclagem de EEE	Modelagem
Golsteijn e Martinez	2017	Holanda	Análise da reciclagem de EEE sob o PAUEEC	Estudo de caso
Cole <i>et al.</i>	2017	R. Unido	Análise das diretivas legais do PAUEEC	Estudo de caso
Angouria-Tsorochidou <i>et al.</i>	2018	Dinamarca	Análise das diretivas legais do PAUEEC	Estudo de caso
Alamerew e Brissaud	2018	Dinamarca	Análise das diretivas legais do PAUEEC	Modelagem
Marconi <i>et al.</i>	2018	Itália	Sugestão de um sistema de reciclagem	Estudo de caso
Isernia <i>et al.</i>	2019	Itália	Análise das diretivas legais do PAUEEC	Modelagem
Cesaro <i>et al.</i>	2019	Itália	Análise das diretivas legais do PAUEEC	Revisão
Cole <i>et al.</i>	2019a	R. Unido	Análise da cadeia de reciclagem de EEE	Survey
Cole <i>et al.</i>	2019b	R. Unido	Análise da cadeia de reciclagem de EEE	Survey
Söderman e André	2019	Suécia	Análise da cadeia de reciclagem de EEE	Estudo de caso
Parajuly <i>et al.</i>	2020	Alemanha	Análise das diretivas legais do PAUEEC	Revisão
Dominish <i>et al.</i>	2018	Austrália	Análise da cadeia de reciclagem - eletrodomésticos e eletrônicos pessoais	Estudo de caso
Blake <i>et al.</i>	2019	N. Zelândia		Estudo de caso
Cordova-Pizarro <i>et al.</i>	2019	México	Análise da cadeia de reciclagem - fator social	Survey
Ryen <i>et al.</i>	2018	EUA	Sugestão de um sistema de reciclagem	Experimento
Ruiz <i>et al.</i>	2012	Brasil	Análise da cadeia de reciclagem - pilhas e baterias	Estudo de caso
Campos <i>et al.</i>	2014	Brasil	Sugestão de um sistema de reciclagem	Modelagem
Moraes <i>et al.</i>	2014	Brasil	Análise da cadeia de reciclagem - telefones celulares	Modelagem
Sant'anna <i>et al.</i>	2014	Brasil	Análise da cadeia de reciclagem - fator social	Revisão
Araujo <i>et al.</i>	2015	Brasil	Análise da cadeia de reciclagem de EEE	Modelagem
Mello <i>et al.</i>	2016	Brasil	Análise da cadeia de reciclagem de EEE	Estudo de caso
Ferreira <i>et al.</i>	2016	Brasil	Análise da cadeia de reciclagem - fator social	Estudo de caso
Demajorovic <i>et al.</i>	2016	Brasil	Análise da cadeia de reciclagem - fator social	Survey
Oliveira Neto <i>et al.</i>	2017	Brasil	Análise da cadeia de reciclagem de EEE	Estudo de caso
Rossini e Napolini	2017	Brasil	Análise da cadeia de reciclagem - PNRS	Revisão
Oliveira <i>et al.</i>	2017	Brasil	Análise da cadeia de reciclagem de EEE	Revisão
Augusto <i>et al.</i>	2018	Brasil	Análise da cadeia de reciclagem - fator social	Estudo de caso
Afonso	2018	Brasil	Análise da cadeia de reciclagem de EEE	Revisão
Callefi e Barbosa	2018	Brasil	Análise da cadeia de reciclagem - fator social	Estudo de caso
Oliveira Neto <i>et al.</i>	2018	Brasil	Análise da cadeia de reciclagem - baterias	Estudo de caso
Ferreira <i>et al.</i>	2019	Brasil	Análise da cadeia de reciclagem - fator social	Estudo de caso
Vieira <i>et al.</i>	2020	Brasil	Análise da cadeia de reciclagem de EEE	Survey

Na Ásia, três publicações analisam a cadeia de reciclagem de EEE. Segundo Veenstra *et al.* (2010), até a época, grande parte da reciclagem de REEE na China ocorria de maneira informal e, portanto, insegura. Alguns anos depois, Liu *et al.* (2015) comprovaram os aspectos negativos dessa informalidade, demonstrando que o maior desempenho ambiental e adoção de práticas de GSCM em indústrias eletrônicas de Taiwan correspondem àquelas com melhores condições. Tippayawong *et al.* (2015) observam que o custo e a complexidade da implementação de práticas de GSCM podem ser o principal obstáculo ao seu sucesso. Para Garg *et al.* (2017) os principais fatores de sucesso para a adoção destas práticas nas organizações incluem regulamentos

governamentais; suporte organizacional; *design* e tecnologias ecológicas; minimização de resíduos e adoção de LR; e motivação dos consumidores.

Dentre as publicações provenientes da Europa, como mostrado pela Tabela 1, 75% delas abordam as diretrizes legais do PAUEEC, vigente desde 2015, que busca estimular o crescimento econômico sustentável através de regulamentações para a maximização da reutilização de EEE e prolongação de sua vida útil. Segundo Angouria-Tsorochidou *et al.* (2018), sobre tal diretiva, o custo de coleta e de reparo para reutilização de EEE seriam os fatores limitantes para sua aplicação, semelhante ao que foi observado fora da Europa por Tippayawong *et al.* (2015).

Golsteijn e Martinez (2017) afirmam que, apesar da reciclagem do lixo eletrônico doméstico na Holanda ter evitado emissões de CO₂ a partir da vigência das diretrizes, o país ainda apresenta baixa taxa de reciclagem, categorizando que a EC só tem êxito se a qualidade do material reciclado puder ser garantida e mantida. Söderman e André (2019) concordam que a reutilização de EEE só é benéfica se o conteúdo do produto permanecer inalterado ao longo do tempo, senão, o benefício depende da extensão em que um material é substituído e da eficiência da cadeia de reciclagem, por exemplo, reparos podem não ser motivados se a extensão de uso for curta e, ainda, caso haja vias de reciclagem funcional eficientes.

Assim, Alamerew e Brissaud (2018) afirmam que a União Europeia não alcançou a meta de recuperação dos EEE lançados no mercado naquele ano, ainda sendo inferior às taxas de reciclagem e reutilização de EEE, apesar da taxa ter aumentado substancialmente após a aplicação da legislação. Similarmente, Isernia *et al.* (2019) afirmam que 90% dos resíduos coletados seguem destinação conforme as diretivas, contudo, os regulamentos implantados na UE não são tão eficazes para o alcance das metas de coleta, levando a crer que o sistema de coletas é o ponto crítico, dado que as regiões com melhor desempenho quanto às diretrizes são as que mais investiram em centros de coleta e conscientização social.

Para a eficiente gestão dos REEE na UE, segundo Cesaro *et al.* (2018), é necessária abordagem interdisciplinar que envolva caracterização dos resíduos quanto a concentração dos materiais que os compõem, das formas de coleta, tratamento, e proteção da saúde humana e ambiental, sendo este o principal desafio à prática. Cole *et al.* (2017) também levantam a importância do envolvimento de outros elementos para o desenvolvimento de uma EC de EEE, como fatores políticos e econômicos; de LR; operações de processo (reparo, reforma); estética; funcionabilidade e segurança; aceitação do consumidor; e a responsabilidade do produtor.

Seguindo esta linha, Cole *et al.* (2019a, 2019b) apontam que a baixa taxa de EEE reutilizados no Reino Unido deve-se a fatores interconectados: ausência de metas e normas para reutilização e práticas de consumo mais sustentáveis (ex.: incentivo ao *design* para

desmontagem); infraestrutura inadequada, dado que muitos EEE pequenos integram o fluxo de resíduos comuns, também consequência da cultura dos consumidores; e questões culturais dos produtores, que, em geral, ainda não enxergam o potencial financeiro além do ambiental associado à reutilização, e relutam em se responsabilizar pelo produto após o fim de sua vida útil. Em concordância com Isernia *et al.* (2019), Cole *et al.* (2019a) apontam que a legislação tem sua importância, mas não é suficiente, pois é papel da sociedade reconhecer o valor do meio ambiente, aumentando a vida útil do produto, priorizando a reutilização sob a reciclagem e aprimorando os sistemas para maximizar a recuperação de recursos.

Parajuly *et al.* (2020) criticam o fato de que no PAUEEC o papel dos consumidores e os impactos de suas ações são ignorados, uma vez que o plano não aborda a lacuna conhecimento-ação ou os aspectos psicossociais do consumo em uma EC de EEE, que requer mudanças fundamentais no comportamento do consumidor, incluindo fatores como compra ecológica, adaptação a novos modelos de negócio, aceitação de produtos reparados/remanufaturados, e motivação e facilitação do descarte oportuno e adequado; apontando, em geral, que a falta de colaboração entre as partes interessadas no ciclo de vida dos EEE é a principal barreira à construção do sistema circular na UE.

Marconi *et al.* (2018) propõem uma forma de integrar as partes envolvidas no ciclo de vida de REEE através de uma plataforma online, de modo a vincular a demanda de materiais e componentes com o fornecimento de produtos em fim de vida útil, alegando, no entanto, que apesar de incentivado pelos regulamentos, ainda não há muitos exemplos aplicados.

Fora da Europa, permanecem as análises da cadeia de reciclagem de EEE. Segundo Cordova-Pizarro *et al.* (2019), no México, onde os processos de reciclagem são elementares, simples e não incluem tecnologias de processamento final, comum nas economias emergentes, a questão social é relevante no âmbito do tratamento do lixo eletrônico. Por um lado, os consumidores preferem soluções econômicas e rápidas de reparo, oferecidas por oficinas informais. Por outro lado, tais oficinas não atuam em conformidade com termos de segurança e saúde. Todavia, 90% dos REEE é obtido por estes canais informais. Assim, um investimento em tecnologia para os canais formais de recuperação traria benefícios financeiros e ecológicos, porém, causaria forte impacto social sobre o setor (Cordova-Pizarro *et al.*, 2019).

Ryen *et al.* (2018) comparam o sistema circular de recuperação de material eletrônico ao sistema bio-ecológico, em que seria possível desenvolver parcerias, infraestrutura, ferramentas e políticas necessárias para garantir um ecossistema duradouro, adaptável e rentável de lixo eletrônico, capaz de suportar escassez de material, flutuações de preço e inovação.

Na Oceania, ao contrário da política de REEE europeia, Blake *et al.* (2019) afirmam que 98,2% do lixo eletrônico doméstico da Nova Zelândia pode acabar em aterros, pois o custo do descarte adequado para reciclagem é alto, a população desconhece os serviços disponíveis e, apesar de haver uma lei de minimização de resíduos, o gerenciamento de lixo eletrônico não é obrigatório para os fabricantes. Para Dominish *et al.* (2018) há diversas barreiras para melhorar a longevidade de eletrônicos domésticos e pessoais na Austrália, como barreiras materiais (qualidade de produtos, reposição, obsolescência tecnológica); econômicas (alto custo de mão-de-obra para reparos, falta de lucratividade em reparo e revenda); e barreiras sociais do consumidor (tendência de substituir e não reparar, falta de interesse e/ou aceitação); além de questões legais que, no caso, não apoiam mudanças sociotécnicas fundamentais no *design* e uso dos produtos para que sua longevidade, remanufatura e reutilização sejam efetivas, em consonância com os europeus Cole *et al.* (2019a, 2019b) e Parajuly *et al.* (2020).

Em se tratando do Brasil, Mello *et al.* (2016) afirmam que no país há poucos centros de coleta e descarte de REEE, se concentrando majoritariamente no Estado de São Paulo e que, embora a PNRS responsabilize os fabricantes pelo destino de seus produtos, não há um real comprometimento entre a sociedade e o Governo para a efetiva aplicação da lei e o desenvolvimento sustentável da cadeia. Augusto *et al.* (2018) apontam que o Acordo Setorial ainda não havia sido implementado no Brasil à época devido a barreiras em torno dos objetivos impostos pelo governo, custos operacionais e leis conflitantes, ampliado pela falta de cultura e consciência do consumidor quanto ao descarte dos REEE, além da falta de legislação específica a favor da viabilidade dessa cadeia e incentivos fiscais e financeiros para sua consolidação.

Moraes *et al.* (2014) reiteram que apenas as baterias dos celulares são totalmente recicladas no Brasil, sendo a totalidade das placas de circuito interno (PCI), itens de maior valor, terceirizadas para a Europa, onde são tratadas a partir do uso intensivo de energia elétrica de fonte não renovável, quesito no qual o Brasil apresenta vantagem ambiental devido à sua matriz energética renovável; no entanto, economicamente, para que as PCI fossem tratadas no Brasil, o investimento financeiro ainda seria uma barreira à aplicação dessa tecnologia. Oliveira Neto *et al.* (2017) concordam que a principal atividade de reciclagem no Brasil é a dos polímeros, pois requerem tecnologia mais simples, mas de menor retorno financeiro, uma vez que o investimento em tecnologia para tratamento das PCI, de maior valor agregado, seria muito alto.

Segundo Afonso (2018), o Brasil só começou a dar atenção à questão dos REEE há relativamente pouco tempo, sendo que quase 90% das empresas no país realizam apenas a fase de desmanche e segregação dos componentes de REEE, em geral manualmente, exportando os componentes de maior valor (PCI), presentes em praticamente todos os EEE. Logo, entre os

maiores desafios nacionais estão o estabelecimento de um sistema de coleta seletiva eficiente e de uma LR robusta, o incentivo ao consumo consciente e, principalmente, a transferência de tecnologia para reciclagem de PCI (Afonso, 2018).

Rossini e Napolini (2017) discutem a obsolescência programada, estratégia na qual a indústria planeja o fim antecipado da vida útil do produto para estimular o consumo e movimentar o mercado, o que é incompatível com o desenvolvimento sustentável. No entanto, as pautas das discussões internacionais ainda não contemplaram diretamente essa questão como uma das causas da acentuada degradação ambiental, sendo combatidos apenas seus efeitos. Até 2017, a coleta seletiva de REEE era realizada por apenas 13,7% dos municípios brasileiros. Por isso, além da responsabilidade compartilhada, é imprescindível educação ambiental capaz de alterar os atuais padrões de produção e consumo (Rossini e Napolini, 2017).

Segundo Campos *et al.* (2014), é necessária a criação de um modelo para gerir os resíduos do ciclo produtivo de EEE que inclua uma análise sistêmica do fluxo de materiais e resíduos em toda a cadeia para apoiar a legislação, o desenvolvimento de novas políticas e até de novos negócios, devido à multi, trans e interdisciplinaridade dos REEE. Araujo *et al.* (2015) sugerem o uso de RFID (identificação por radiofrequência) para monitoramento/rastreamento de REEE, de modo a aumentar as práticas de vigilância e desempenho da cadeia, que ainda está em fase de construção no Brasil. Similarmente, Ferreira *et al.* (2016) propõem uma estrutura geral para a cadeia reversa pós-consumo de EEE pautada em três grandes elos principais: fornecedores, coletores de materiais recicláveis e processadores.

Sob o ponto de vista social, Sant'anna *et al.* (2014) indicam que, apesar de a lei determinar que para a efetiva LR de REEE o setor privado deve realizar parcerias com as associações de catadores de materiais recicláveis, na prática é diferente, o que aflora a imprescindibilidade da elaboração de políticas públicas voltadas a atender sua vulnerabilidade social, prover assistência técnica e capacitação. Ferreira *et al.* (2019) concordam que os membros das cooperativas de catadores são socialmente vulneráveis. Seu trabalho é a base para a indústria de reciclagem no país, mas, ainda assim, recebem pouco reconhecimento por sua contribuição. Sobre essa questão, a PNRS não é efetivamente inclusiva, não definindo a responsabilidade compartilhada dos atores (indivíduos, empresas e Estado). Ainda, além de interesses econômicos divergentes entre os setores público e privado, os atores desconfiam da capacidade técnica e operacional das cooperativas. Assim, o compromisso das empresas e autoridades públicas em investimentos técnicos, financeiros e de qualificação são fundamentais para a inclusão das cooperativas (Ferreira *et al.*, 2019).

Demajorovic *et al.* (2016) concordam que, tanto no Brasil como em outros países emergentes, os principais obstáculos relacionados ao cumprimento da LR de REEE dizem respeito ao trabalho com as cooperativas (falta de licença ambiental, de capacitação, habilidades e tecnologia), de modo que sem investimento eficiente para melhorar seus processos de gestão e qualificação, dificilmente a lei será cumprida.

Oliveira *et al.* (2017) também concordam que a reciclagem informal de REEE é crescente em países em desenvolvimento, devido à mão de obra barata e ausência ou baixo controle legal, o que gera problemas de poluição ambiental e saúde humana, e que, por isso, são necessários dispositivos legais, além de acordo entre governos, empresas, cooperativas e consumidores para aplicação de LR adequada. Para Vieira *et al.* (2020), as principais barreiras à implementação da LR de REEE em países em desenvolvimento são a falta de condições de infraestrutura física e logística, legislação e recursos financeiros; e no Brasil ainda se somam barreiras organizacionais, tecnológicas, culturais e relativas ao mercado, ao produto e à cadeia.

Na prática, Callefi e Barbosa (2018) comprovam a infraestrutura precária e passível de contaminação de uma cooperativa de coleta de REEE, o que mostra a necessidade de sua inclusão nas políticas alusivas. Segundo Ruiz *et al.* (2012) a prática da remanufatura de determinados componentes de pilhas e baterias ocorre em larga escala no Brasil, comprovando também, no entanto, a precariedade dos pontos de coleta públicos de REEE, demonstrando que os estes, afinal, não cumprem sua função socioambiental. Segundo Oliveira Neto *et al.* (2018), cerca de 30% das baterias portáteis e domésticas coletadas são “órfãs”, ou seja, não foram produzidas pelas empresas que as recebem para tratamento, o que mostra falha na REP nesses casos, evidenciando sua importância e maior compromisso do governo para aumentar a coleta, além de conscientização social sobre os riscos do descarte inadequado desses produtos.

Isso posto, é possível perceber, de maneira geral, que a realidade das práticas demonstra de forma empírica que ainda há muitos pontos a serem desenvolvidos para que se atinja a EC e o efetivo tratamento dos REEE sob as práticas da GSCM. Para Wendling *et al.* (2020), resultados ativos de políticas públicas estão associados à prosperidade econômica, que possibilita o investimento em programas voltados à saúde ambiental, como o gerenciamento da disposição do lixo. No entanto, em alguns países de origem dos artigos estudados há dissonância entre as normas vigentes, escassez de dados referentes à geração de REEE e à performance ambiental, levando a crer que o interesse por sua disposição correta é cultural, como apontado por Cole *et al.* (2019a), e não somente definido pela situação econômica do país em questão.

Deste modo, apesar das diferenças em termos de desenvolvimento socioeconômico, é possível dizer que os obstáculos à implementação eficaz da GSCM de REEE são semelhantes

entre os países listados nessa revisão, sendo que em aproximadamente 90% deles a legislação acerca de destinação correta dos REEE é compulsória. Contudo, questões culturais dos fabricantes e dos consumidores, tanto em relação ao descarte quanto à reciclagem, são um ponto em comum entre os países. Dentre as razões, há a falha em reconhecer, por parte desses atores, a sua real responsabilidade por desconhecimento ou falta de incentivo, ou devido à cultura da economia linear enraizada há décadas. Ademais, os pesquisadores parecem concordar que há lacunas em todas as legislações referentes.

Ainda, nos países em desenvolvimento, além da questão econômica, há também fatores sociais e tecnológicos envolvidos. Também não há um sistema de LR robusto, amplo e bem estabelecido, devido a falhas dos setores público e privado.

Para romper as barreiras e contribuir para as práticas de GSCM visando EC, é preciso ampliar a noção de importância da EC, de modo que toda a cadeia (consumidores, fabricantes e órgãos públicos) deve estar atrelada em conformidade com os mesmos objetivos, conhecendo e assumindo sua parcela de responsabilidade, desde a produção sustentável, consumo consciente, descarte e tratamento corretos. Desta revisão também se destaca como oportunidade para suprir as barreiras a importância do consumidor na cadeia, sua inclusão e participação.

2.7 Revisão sobre o conhecimento e o comportamento do consumidor em relação aos REEE

Um relatório da *Green Eletron* (2021) sobre REEE no Brasil realizou uma pesquisa em 2021, contemplando 2.075 pessoas, entre homens e mulheres de 18 a 65 anos, das classes A, B e C, de 13 Estados e do Distrito Federal, incluindo as regiões de maior renda e produtividade: SP, RJ, MG, ES, BA, CE, PE, RS, PR, SC, PA, GO, DF e MS, a partir do qual se pode obter informações relevantes a respeito do conhecimento do consumidor sobre o “lixo eletrônico” e seu comportamento ao descartá-lo.

Segundo o relatório (Green Eletron, 2021), a maioria da população pesquisada (87%) já ouviu falar do termo “lixo eletrônico”, mas este não é suficientemente claro. Um terço dos entrevistados (33%) acredita que lixo eletrônico está relacionado a mídias digitais, como *spam*, e-mails, fotos ou arquivos (lixo digital). 10% referem-se a resíduos/sucatas remanescentes após o descarte de aparelhos eletrônicos (algo que não poderia ser reciclado); 5% acreditam que são os componentes desses aparelhos; 2% acham que é o local de descarte e 7% conhece o termo, mas não sabe seu significado, como mostra a Figura 2 a seguir. Surpreendentemente, os jovens declaram maior desconhecimento, 14% (18-25 anos) contra 4% dentre a faixa de 26-65 anos.



Figura 2 - Conhecimento da população brasileira acerca de lixo eletrônico
Fonte: Green Eletron (2021)

71% dos entrevistados afirmaram que não há muita informação na mídia sobre o lixo eletrônico e seu descarte correto. Um terço dos entrevistados (33%) nunca ouviu falar de pontos de descarte correto para lixo eletrônico. Dentre estes, o desconhecimento está mais relacionado aos níveis de baixa renda (41%) (Green Eletron, 2021). A Figura 3 a seguir demonstra o percentual de respondentes que já ouviram falar em pontos de coleta de lixo eletrônico, separados por gênero, classe social e idade.



Figura 3 - Respondentes que já ouviram falar em pontos de coleta de lixo eletrônico
Fonte: Green Eletron (2021)

Dentre os que já ouviram falar sobre os pontos de coleta, 43% não sabem ou não conhecem onde levar, 25% nunca levaram seus dispositivos para descarte, e 7% dão destinação ao lixo eletrônico de outra maneira (por doação a amigos ou parentes, venda ou contactando uma empresa para coletá-los). Dentre os outros 25% dos respondentes que já ouviram falar e já descartaram seu lixo eletrônico em PEVs, os níveis de renda são relevantes - 84% dos respondentes de alta renda já descartaram em PEVs, 75% dentre os de média renda, e 69% dentre os de baixa renda. Ainda, quanto mais próximos os PEVs estiverem do consumidor,

maior será a frequência de descarte. Dentre os motivos para não descartar em PEVs estão falta de tempo (10%), falta de informação (6%) e falta de interesse (4%). Dos itens descartados mais corretamente estão pilhas e baterias (66%), celulares e smartphones (58%), tablets, notebooks e desktops (30%), monitores (29%), telefones fixos, modems e roteadores (29%), TVs (24%), impressoras (23%), fones de ouvido (19%) (Green Eletron, 2021).

49% dos entrevistados às vezes, muitas vezes ou sempre descartam REEE junto ao lixo reciclável, o que pode causar danos ao meio ambiente e à saúde dos recicladores. 50% dos entrevistados descartam regularmente o lixo eletrônico junto com o lixo doméstico (mais frequente em regiões de baixa renda: 21%), que, além de prejudicar o meio ambiente, não permite a reciclagem de matérias-primas, que acabam contaminadas. REEE requerem tecnologia e tratamento específico, e poucas instituições no Brasil garantem a reciclagem segura desses itens. 54% dos entrevistados não sabem da existência de empresas de reciclagem certificadas para contactar para coletar seus REEE. Cerca de 87% dos entrevistados acumulam ou já acumularam em casa eletrodomésticos sem uso, o que mostra falta de informação sobre o que pode ser descartado e como fazê-lo corretamente (Green Eletron, 2021).

Em outro estudo do Brasil, Echegaray e Hansstein (2017) mostram que, embora a maioria dos consumidores tenha intenções positivas em relação ao descarte responsável de REEE por vislumbrar condições vantajosas para a reciclagem e sua aceitação social, apenas alguns deles se comportam de acordo na prática, principalmente entre a sociedade de maior renda. Além disso, os brasileiros não percebem nenhum conflito em defender questões ambientais relevantes e exibir atitudes verdes em produtos, ao mesmo tempo em que negligenciam comportamentos verdes básicos, como o descarte ambientalmente responsável de resíduos. É certo que as práticas de descarte de produtos permanecem pouco influenciadas por visões favoráveis ao meio ambiente (Echegaray, Hansstein, 2017).

Um dos principais desafios da gestão de resíduos sólidos relativamente fraca no Brasil é a falta de consciência do consumidor sobre os perigos de descartar REEE junto com o lixo comum ou mesmo como lixo comum reciclável. Além disso, os consumidores costumam acumular EEE obsoletos ou danificados nas residências, dificultando a reciclagem e a circularização dos materiais. Campanhas de separação e destinação correta do lixo eletrônico são necessárias para o bom funcionamento do sistema de LR no Brasil (Santos, Ogunseitan, 2022).

De acordo com Kuah e Wang (2017) na Ásia, grande gerador de lixo eletrônico, a conscientização sobre programas de doação, troca, serviços de reparo e lojas de sucata é alta quanto a determinados REEEs (telefones celulares, consoles de jogos, laptops, tablets, dispositivos GPS e câmeras). Por outro lado, a conscientização sobre EC, pontos e programas

de coleta de REEE e organizações de reciclagem é particularmente baixa (Kuah, Wang, 2017). Assim como constatado por Echegaray e Hansstein (2017) no Brasil, nos países da Ásia fatores ambientais são altamente considerados por consumidores, porém, a consciência ambiental relativamente alta contrasta com a taxa de compra extremamente baixa de eletrônicos reciclados ou remanufaturados, o que reflete uma lacuna entre comportamento e atitude (entre os ideais dos consumidores e suas preocupações pragmáticas, como confiança, qualidade, confiabilidade, preço, conveniência) (Kuah, Wang, 2017).

Ardi *et al.* (2020) ressaltam que no contexto de um país em desenvolvimento, como a Indonésia, que carece de sistemas bem estabelecidos e onde a taxa de coleta é baixa, o descarte de resíduos de telefones celulares no lixo doméstico é uma prática comum, e, embora os cidadãos estejam cientes dos perigos dessa atitude, ainda não estão preocupados ou conscientes o suficiente sobre os impactos ambientais dessa ação.

No México, fabricantes e distribuidores não oferecem alternativas para descarte adequado de REEE ou instalações de coleta para reciclagem responsável, e também não há esquemas públicos de coleta ou centros de coleta voluntária suficientes. Isto é um agravante à falta de conscientização e desconfiança do consumidor por entregar seus produtos em pontos de coleta públicos, que faz com que os consumidores armazenem seus equipamentos ou descartem incorretamente. Mas há no país uma causalidade positiva entre a escolaridade do consumidor e o conhecimento sobre o destino de seus REEE após o descarte, além de maior consciência ecológica e atitude para garantir reciclagem e descarte responsável. É útil a criação de um esquema de incentivos como benefícios econômicos, e de políticas públicas incluindo sanções e/ou penalidades para promover o uso, descarte, reciclagem e reutilização responsáveis para todos os atores da cadeia (Cordova-Pizarro *et al.*, 2020).

O sucesso de uma cadeia reversa de REEE depende da intenção dos consumidores em participar. Na Malásia, esse comportamento é influenciado principalmente pela percepção do consumidor sobre o risco associado aos resíduos e seu conhecimento sobre os benefícios da reutilização, reparo e reciclagem de eletrônicos. Também é influenciado pela forma como as empresas coletam seus REEE em termos de adequação, acessibilidade e informações disponíveis sobre como, onde e quando devolver os produtos e a autoeficácia (a capacidade e a autoconfiança do consumidor sobre a devolução de produtos) (Kianpour *et al.*, 2017).

No Reino Unido, onde vigora o PAUEEC, 40% dos itens de entretenimento doméstico eletrônico (TVs, dispositivos de áudio e vídeo e consoles de jogos) sem uso são guardados em casa, devido ao seu valor residual/funcional, por razões sociais (futura doação), sentimentais ou monetárias, ou por falta de conhecimento sobre o descarte. Esses resíduos também são comumente

enviados para reciclagem através de programas oficiais ou plataformas *online*, ou descartados junto com resíduos recicláveis. Mas parece não haver pontos de coleta de REEE convenientes e acessíveis o suficiente para coleta regular (periódica) no país (Wilkinson, Williams, 2020).

Para Nowakowski (2019), EEE em fida de vida útil de pequenas dimensões costumam ser guardados em casa na Polônia, especialmente acessórios/equipamentos de informática e telefones celulares, por motivos como uso no futuro, falta de interesse em buscar outros meios de descarte, e pelo valor residual percebido, o que perturba a abordagem da EC. Há, no entanto, uma significância de níveis de escolaridade, idade, sexo e tipo de residência quanto à maior conscientização e atitudes (Nowakowski, 2019). Na Bélgica, a preferência dos consumidores pelos serviços de coleta de REEE relaciona-se a uma natureza orientada a preços de coleta, onde os consumidores têm alta disposição em pagar pela coleta domiciliar de máquinas de lavar, pelo seu tamanho, mas não têm preferência quanto aos telefones celulares, comumente armazenados. Além disso, renda, estrutura familiar, ocupação profissional e disponibilidade de local para armazenamento também impactam nessas preferências (Mansuy *et al.*, 2020).

Na Austrália, no geral, a estrutura de coleta de lixo eletrônico não é simplificada, e não há opções para os consumidores descartarem qualquer tipo de lixo eletrônico em um único ponto, mesmo para produtos específicos para os quais há um programa de coleta e reciclagem gerenciado por fabricantes (como telefones celulares). Idade, tamanho da família e renda estão significativamente associados à familiaridade com o programa de coleta. Há a necessidade de campanhas de conscientização ambiental, incluindo um sistema de coleta otimizado para reciclagem, baseado em varejistas e orientado a incentivos (Islam *et al.*, 2020).

Para Islam *et al.* (2021), os consumidores são o ponto de partida para a gestão do resíduo eletrônico, e exigem mudanças substanciais nos sistemas de gerenciamento existentes ao redor do mundo, demandando por opções formais de coleta; segurança de dados e informações; preços e modos de compensação; diferentes opções de serviço de coleta (*online*, porta a porta, centros de reciclagem permanentes); e confiança para participação em plataformas de reciclagem e reparo de baixo custo para EEE. A política, a arquitetura do sistema de gestão, a cultura e o comportamento do consumidor de cada país e a disponibilidade de uma gama diversificada de categorias de produtos no mercado definem e conectam sistemas de EC e de gestão sustentável de REEE (Islam *et al.*, 2021).

A análise da literatura de Corsini *et al.* (2020) revela que há uma maior abordagem entre as pesquisas quanto a comportamentos de reciclagem de REEE em detrimento de atividades de coleta, que são relativamente novas e possuem barreiras substanciais para implementação por empresas. O comportamento do consumidor pode determinar a dinâmica de gestão de REEE,

por exemplo, quanto a quantidades de volumes de resíduos disponíveis nos sistemas de coleta coletiva (no contexto da dinâmica da REP) ou nas cadeias de coleta e devolução privadas (Corsini *et al.*, 2020). Os autores alegam que não há uma tendência entre as variáveis sociodemográficas e o comportamento do consumidor quanto ao gerenciamento de fim de vida de EEE (Corsini *et al.*, 2020), em concordância com Islam *et al.* (2021).

A Tabela 3, a seguir, resume os principais pontos desta revisão.

Tabela 3 - Resumo sobre o conhecimento e o comportamento dos consumidores em relação aos REEE

Autores	Ano	País	Principal abordagem
Ardi <i>et al.</i>	2020	Indonésia	Consumidores não estão preocupados ou conscientes o suficiente quanto ao descarte de telefones celulares em lixo doméstico, sendo uma prática comum.
Cordova-Pizarro <i>et al.</i>	2020	México	Consumidores armazenam seus REEE ou descartam incorretamente devido à falta de conscientização ou desconfiança nos pontos de coleta públicos.
Corsini <i>et al.</i>	2020	Revisão de literatura	O comportamento do consumidor é que define a dinâmica de gestão de REEE nos sistemas de coleta públicos ou privados. Quanto ao gerenciamento de REEE, não há uma tendência entre as variáveis sociodemográficas e o comportamento do consumidor.
Echegaray e Hansstein	2017	Brasil	Sociedade de maior renda tem maiores intenções positivas de descarte de REEE. Brasileiros defendem questões e produtos verdes, mas negligenciam comportamentos verdes básicos como o descarte responsável de resíduos.
Green Eletron	2021	Brasil	Consumidores não costumam apresentar conhecimento suficientemente claro sobre definição, descarte correto e destinação dos REEE, resultando no seu descarte junto com lixo comum/reciclável.
Islam <i>et al.</i>	2021	Revisão de literatura	Consumidores são o ponto de partida para a gestão de REEE, e demandam mudanças substanciais nos sistemas de gerenciamento, como confiança para participar em plataformas de reciclagem e opções formais de coleta.
Islam <i>et al.</i>	2020	Austrália	Não há um ponto único para o descarte voluntário de tipos variados de REEE, mesmo nos programas de coleta por REP. Idade e renda estão relacionados ao maior nível de consciência. Consumidores demandam campanhas de conscientização ambiental, e de um sistema de coleta otimizado para reciclagem.
Kianpour <i>et al.</i>	2017	Malásia	Consumidores são influenciados a participar da cadeia reversa de REEE através de informações disponibilizadas por empresas de coleta sobre seus serviços, aliado ao conhecimento sobre os benefícios da reciclagem.
Kuah e Wang	2017	China, Indonésia, Singapura, Tailândia e Vietnam	A taxa de compra de eletrônicos reciclados ou remanufaturados é extremamente baixa, apesar dos fatores ambientais serem altamente considerados pelos consumidores.
Mansuy <i>et al.</i>	2020	Bélgica	Fatores como renda, estrutura familiar, ocupação profissional, e disponibilidade de local para armazenamento influenciam a preferência dos consumidores pelos serviços de coleta de REEE.
Nowakowski	2019	Polônia	Além do valor residual percebido, a falta de interesse em buscar outros meios de descarte acarretam no acúmulo de REEE de pequenas dimensões em residências.
Santos e Ogunseitan	2022	Brasil	A reciclagem e circularização dos REEE é dificultada pelo acúmulo em residências e descarte em lixo comum pelos consumidores, devido à falta de consciência do consumidor sobre os perigos do descarte incorreto.
Wilkinson e Williams	2020	Inglaterra	Eletrônicos de entretenimento doméstico sem uso são armazenados em casa devido ao valor residual/funcional, razões sociais, sentimentais ou monetárias dos consumidores.

Em suma, a literatura permite inferir que comportamentos e preferências do consumidor se assemelham ao redor do mundo, tanto nos países em que há normas vigentes a respeito do descarte e reciclagem de REEE quanto nos que ainda caminham para tal, dado que os comportamentos não podem ser explicados unicamente por características sociodemográficas.

Além disso, embora haja leis que determinem atitudes em relação à coleta e descarte de REEE do ponto de vista governamental, e da necessidade de se buscar uma EC por fins de preservação ecológica, financeira e de recursos do ponto de vista industrial, o consumidor é claramente o principal elo entre os extremos da cadeia reversa. No entanto, este é muito pouco considerado, incentivado ou incluído nas discussões. Assim, a conscientização ambiental e/ou divulgação de informações disponíveis sobre o descarte correto dos REEE se mostram não apenas relevantes em termos de conhecimento e participação, mas também essenciais.

Portanto, é nesta lacuna que esta pesquisa se aplica, visando demonstrar os meios que o consumidor tem de participar da cadeia e seu real potencial.

2.8 Taxa de captação de REEE

De acordo com Forti *et al.* (2020), até 2019 havia apenas algumas fontes de dados sobre estatísticas de REEE globais, como as ferramentas de cálculo de REEE desenvolvidas pela Comissão Europeia de 2019. Agências internacionais, como a Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, e a Divisão Estatística das Nações Unidas, começaram recentemente a recolher dados sobre a gestão de REEE através de questionários específicos dirigidos aos ministérios responsáveis pela sua gestão ou aos Institutos Nacionais de Estatística. Vários países fora da Europa ainda carecem de uma ferramenta de medição estatística de REEE (Forti *et al.*, 2020). Por isso, Baldé *et al.* (2024) desenvolveram sua própria ferramenta estatística para medição de geração de REEE pelo mundo, através do *Global E-waste Statistics Partnership* (GESP), com apoio da Organização da Nações Unidas, gerando a adoção de uma estrutura de medição harmonizada entre todos os continentes.

Alguns estudos levantam suas próprias taxas de captação de REEE em alguns países, fora do processo criado pelo GESp, envolvendo em alguns casos a participação do consumidor final. Em geral, estes estudos aplicam simulações computacionais para se aproximar dos dados reais inexistentes. A taxa de captação de REEE mede a porcentagem de resíduos efetivamente coletados em relação à quantidade de resíduos que se tem o potencial de capturar.

Compara-se alguns desses estudos provenientes de países em desenvolvimento de grandes dimensões. No Brasil, Dias *et al.* (2022) mapeiam as indústrias recicladoras de REEE,

estimando a real taxa de reciclagem nacional (77kt por ano), com base na quantidade de resíduos processados (3,6% do total de REEE gerado). No entanto, os resultados são generalizados e não especificam a fonte dos resíduos (sejam consumidores finais ou empresas geradoras). Os dados de Dias *et al.* (2022) demonstram uma taxa de captação brasileira (de 3,6%) próxima daquela definida pelo relatório de Baldé *et al.* (2024) (de 3,2%). Isto significa que tem surgido mais dados a respeito da gestão formal de REEE. Ainda assim, esses dados não se diferenciam por amostra, isto é, não são suficientes para auxiliar a indústria.

Na China, Guo e Zhong (2023) levantam um modelo de simulação matemático sobre a taxa de participação do consumidor na entrega de REEE aos setores formal e informal, isto é, a taxa de captação de resíduos. Os autores consideram dimensões econômicas (custos de redução de material), ambientais (emissão de CO₂) e sociais (atributos do consumidor). No entanto, o estudo é limitado a um único tipo de REEE (*notebooks*), e não aplicado a um ambiente real. Guo e Zhong (2023) definem como taxa de captação de um cenário de referência o valor de 33%, sendo 28% a taxa de captação do setor formal, e 5% a do setor informal.

Também na China, Qu *et al.* (2022) constroem um modelo de decisão quanto a estratégias de preço e quantidades coletadas, considerando os canais *online* de entrega de REEE pelo consumidor, analisando sua interação com os recicladores e o governo, e apresentando também resultados simulados. Dentre os parâmetros, Qu *et al.* (2022) consideram que um valor ótimo de taxa de coleta, sem considerar subsídios, penalidades ou recompensas atribuídas pelo governo, é de 21,5% (para canais *online*s e físicos).

Ainda na China, Yin *et al.* (2024) exploram a determinação de metas ótimas de coleta sob a perspectiva de responsabilidade compartilhada. Para uma coleta privada independente de auxílio do governo, assumem como taxa de coleta mínima para as empresas o valor de 23,8%, testando cenários através de modelos de simulação computacional. Para fins de comparação, a China recicla formalmente 16% do total de REEE gerado, segundo Baldé *et al.* (2024).

Koshta *et al.* (2024) desenvolvem um modelo para localização de pontos de coleta de REEE domésticos na Índia para empresas coletoras. Considerando tanto canais de entrega (com recebimento de incentivos) e de coleta gratuita, os autores determinam para os cálculos a taxa mínima de 30% de captação de REEE. Nesse caso, a Índia coleta formalmente apenas 0,9% do total gerado (Forti *et al.*, 2020). Nota-se uma grande diferença entre o real e o planejado, dado que o trabalho de Koshta *et al.* (2024) parte da criação de cenários.

Não obstante, cada um desses estudos tem bases de dados e cálculos diferentes, além de parâmetros específicos, o que impede a sua comparação. Além de que é preciso ter em mente suas diferentes taxas formais de captação.

No Brasil, não se conhece especificamente a quantidade de resíduos que se tem o potencial de capturar através do consumidor final, dentre amostras específicas da população. Estas informações podem auxiliar o setor formal na promoção de iniciativas e coleta. Assim, este estudo pretende preencher esta lacuna, através de um método que ampare aplicação prática e teoria, como será descrito no Capítulo seguinte.

3. PLANEJAMENTO METODOLÓGICO

A revisão bibliográfica mostrou vieses para o problema de pesquisa. Em todo o mundo, os volumes de REEE formalmente coletados são baixos, e o comportamento do consumidor quanto ao descarte é equiparável entre os países. Em vista disso, são necessárias estratégias para o aumento das coletas formais. Para tal, é preciso se conhecer as potenciais iniciativas de coleta de REEE do setor formal, as potenciais fontes de coleta, e quais são esses potenciais. Para isso, é preciso testar essas iniciativas na prática, para validá-las e demonstrar sua aplicabilidade.

Para alcançar este objetivo, utiliza-se um método que conecta a aplicação prática de uma investigação e a criação de teoria sobre seus resultados. Este capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados para a execução deste propósito.

3.1 Método

Uma vez que a gestão de REEE é um problema social contemporâneo, a abordagem mais adequada para resolvê-lo é aprendendo na prática. Além disso, é necessário apresentar artifícios reais para a solução do problema, uma vez que não são conhecidos até então. Assim, a metodologia empregada é a Pesquisa-Ação (PA), pois é um método destinado a agir e criar conhecimento sobre essa ação (Coughlan e Coughlan 2002). A PA é uma metodologia que combina a geração de teoria com a mudança do sistema social através da ação do pesquisador. É um tipo de pesquisa social com base empírica, e um processo indutivo em que pesquisadores e participantes representativos da situação estão envolvidos de forma cooperativa ou participativa na ação (Thiollent, 2007).

Neste caso, a PA foi utilizada com a finalidade de testar na prática iniciativas de coleta de REEE pela cadeia reversa, a partir de informações baseadas em análises teóricas, para validar sua relevância e adquirir conhecimento científico. Além disso, há um histórico comprovado de resultados positivos obtidos ao usar PA em programas de LR de gestão de resíduos (Alves *et al.*, 2019; Bernardo e Lima, 2017b; Fagundes *et al.*, 2017, Paes *et al.*, 2017), uma vez que o método ajuda a resolver problemas existentes através da implementação de melhorias. A PA como metodologia é capaz de atuar sobre as dificuldades associadas à implementação de programas que promovam uma mistura de métodos conceituais com teorias práticas. A cada etapa, ao identificar dificuldades, os pesquisadores envolvidos dedicam tempo para analisar a literatura existente e buscar soluções mais adequadas, o que auxilia na tomada de decisões mais rápidas (Alves *et al.*, 2019).

Para Coughlan e Coughlan (2002), a PA envolve três etapas: a pré-fase, quando a PA é planejada, em que se busca entender o contexto do objeto de estudo. As fases principais, que

formam ciclos que envolvem coleta de dados, análise, planejamento de ações, implementação de ações e avaliação. E a metáfase, que ocorre ao longo do ciclo das fases principais e está relacionada ao monitoramento e aprendizado (Coughlan, Coghlan, 2002).

Esta pesquisa utilizou uma estrutura de PA adaptada dos estudos de Mohebalizadeh e Ghazinoori (2020) e Mello *et al.* (2012), como mostra a Figura 4, que consta em três etapas. A primeira etapa é a fase de planejamento, que inclui reconhecimento do contexto, do grupo-alvo, do problema, do objetivo da pesquisa e dos critérios de avaliação (Fig. 4, atividade 1). Na segunda etapa ocorre a própria aplicação, ou a implementação do plano de ação, que envolve coleta de dados e análises para implementação da ação (Fig. 4, atividades 2 - 4). É nesta etapa que se realizam os ciclos da PA. Estes ciclos envolvem também a terceira etapa (Fig. 4, atividade 5), a avaliação dos resultados para gerar um relatório da ação a cada ciclo executado.

Todas as etapas são acompanhadas por atividades de monitoramento e aprendizagem, que refletem sobre as lições aprendidas a cada ciclo, para o planejamento de um próximo. Esta visão e investigação geral finalmente definem a execução de uma PA do ponto de vista acadêmico (Mohebalizadeh, Ghazinoori, 2020). Neste tópico será descrita a Etapa 1 da PA proposta.

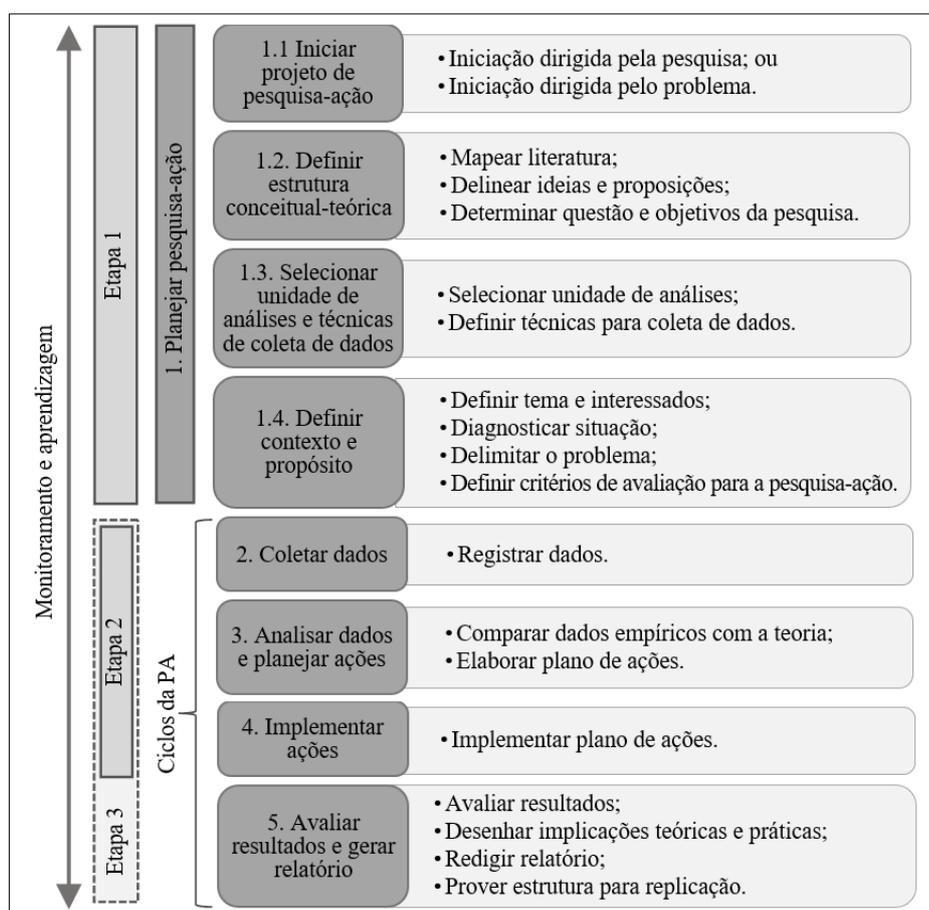


Figura 4 - Detalhe das etapas, fases e atividades da estrutura de pesquisa-ação proposta
 Fonte: adaptado de Mohebalizadeh e Ghazinoori (2020) e Mello *et al.* (2012)

3.1.1 Planejamento da PA

Antes da execução dos ciclos propriamente dita, a primeira etapa da PA delinea o seu planejamento, subdividido em quatro fases, como mostrado na Figura 5. A primeira destas fases aborda como o projeto de ação foi iniciado, que pode começar de duas formas. Em uma delas, o pesquisador identifica um problema na literatura e, em seguida, procura um objeto de estudo onde esse problema possa ser resolvido cientificamente (iniciação dirigida pela pesquisa). A outra caracteriza-se quando uma organização define um problema e o apresenta aos pesquisadores, que participam das propostas de soluções (iniciação dirigida pelo problema), que foi o caso deste estudo. A empresa aqui estudada foi quem deu o ponto de partida ao perceber a necessidade de buscar iniciativas para elevar seu volume de REEE coletados.

Esta empresa, portanto, é uma grande organização responsável por serviços de LR e reciclagem de REEE, localizada na cidade de Sorocaba, interior de São Paulo (a oitava maior cidade do Estado). É uma fornecedora de soluções para a indústria de EEE de médio porte (125 funcionários), que faz parte da cadeia de fornecimento e desenvolvimento de uma empresa global de inovação e manufatura presente em 30 países, incluindo o Brasil. A empresa é relevante para a base deste estudo por ser a maior do país capaz de integrar todos os elos da cadeia reversa de REEE (LR, desmontagem, separação e descaracterização de materiais, processamento de materiais reciclados e produção de novas peças para reinserção em novos produtos). Para fins de confidencialidade, a empresa será aqui referida como ST.

A segunda fase consistiu em definir o referencial teórico-conceitual. Mapeando-se a literatura, observou-se vieses a serem preenchidos para se chegar à questão de pesquisa da PA. Não só a empresa estudada requer alternativas para programar suas estratégias e elevar seus níveis de coleta de REEE, como esta é uma demanda comum a todo o setor e, comum também a outros países em desenvolvimento. Para suprir esta demanda, é necessário se conhecer a cadeia, seus elos e seu inter-relacionamento. Também é preciso se conhecer o cenário atual efetivo, para que se possa programar estratégias de coleta, e avaliar o que funciona ou não dentre elas. Assim, a questão a ser respondida pela PA é: “que quantidades de REEE se tem o potencial de capturar, dentre os principais elos da cadeia reversa de REEE?”.

A terceira fase diz respeito à unidade de análises e às técnicas de coleta de dados. Os dados preliminares sobre os processos da empresa foram coletados por meio de discussões e entrevistas com os membros da organização, sessões de *brainstorming*, reuniões *online* e comunicações informais, incluindo *feedback* da equipe, e por meio de documentos da empresa, análise de relatórios internos e públicos e observações participantes dos processos por meio de visita à unidade de análise. Desde uma das primeiras entrevistas, durante reuniões com o gerente

do programa e o gerente de relacionamento, eles apresentaram “oportunidades de pesquisa e aprimoramento sobre formas de aumentar o baixo volume arrecadado”, e uma visão do ponto de vista científico sobre “como fazemos hoje?”, o que implica na necessidade de se caracteriza os processos, e, de forma macro, caracterizar a cadeia.

A quarta fase define o contexto e o propósito da PA. Entre estas atividades estão a definição das partes interessadas e do time da PA, o diagnóstico da situação, a delimitação do problema e a definição dos critérios de avaliação. Segundo Mohebalizadeh e Ghazinoori (2020) e Thiollent (2007), esta fase de diagnóstico inclui o reconhecimento dos problemas da empresa e o planejamento de ações para responder às questões de pesquisa, juntamente com as eventuais ações e suas consequências. Esta fase será detalhada no subitem a seguir. A Figura 5, em seguida, é um recorte da estrutura da PA descrevendo a Etapa 1 descrita neste tópico.

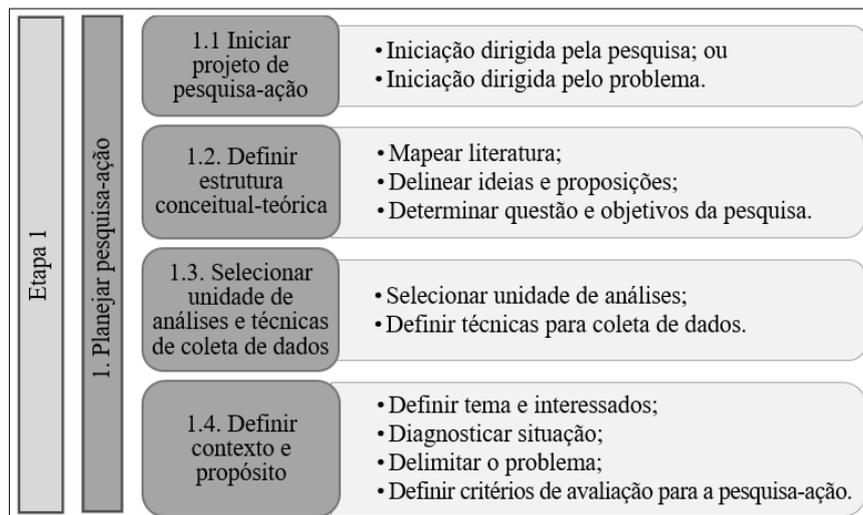


Figura 5 - Fragmento da estrutura da pesquisa-ação: Etapa 1

3.1.2 Contexto da PA

O primeiro subitem da fase de contextualização da PA diz respeito à definição das partes interessadas, ou da equipe da PA (Fig. 5, acima, subitem 1.4). A pesquisadora e seis membros da organização formaram a equipe da PA, um grupo responsável por estabelecer de forma conjunta os principais objetivos do estudo. Dentre os membros da empresa estiveram os responsáveis pelos processos da organização analisados, incluindo o gerente do programa, o gerente de TI, o gerente de relacionamento, o assistente do programa, o assistente de negócios e o diretor do programa.

O segundo subitem diz respeito ao diagnóstico da situação. Para isso, em princípio, foram coletados dados sobre os processos da empresa, através das técnicas mencionadas. Estas

informações permitem conhecer o funcionamento dos processos da empresa e seu relacionamento com outros elos da cadeia, o que permitirá, posteriormente, um mapeamento da cadeia.

Atestou-se os tipos de material coletado e a forma como são coletados pela empresa. Dentre os materiais coletados estão: *hardware* de linha verde, como impressoras, desktops, monitores, notebooks, celulares e servidores de qualquer porte; suprimentos de impressão (cartuchos de tinta e toners de impressão); resíduos industriais de partes, peças e componentes de EEE de qualquer porte (com exceção dos equipamentos de linha branca, que são refrigeradores, lavadoras, fogões etc.).

Todos estes materiais chegam à ST por sistema de logística terceirizado, que conta com uma frota de 450 veículos, tanto os provenientes de fonte empresarial quanto doméstica. Os REEE então são separados de acordo com o tipo de material para receber a destinação mais adequada, que pode ser tanto a destruição quanto a remanufatura. Equipamentos que possuem armazenamento de dados passam por um processo criterioso de eliminação para garantir segurança das informações sigilosas dos clientes. Os equipamentos para remanufatura são desmontados, em geral manualmente, e separados por tipo de material e cor. A partir disso, é realizada a separação do plástico, principal produto reciclado, em requisitos como cor, resistência e fluidez (que orienta sua utilidade). O plástico então é descaracterizado, triturado, derretido e se transforma em granulados com as mesmas características da matéria prima virgem. Parte dele é destinada internamente à manufatura de partes e peças de uma das empresas parceiras (impressoras e alças sustentação de embalagens de novos notebooks). Aqueles que não serão reutilizados pela ST são vendidos a diferentes indústrias.

Todos os demais materiais processados, como PCI, metais ferrosos e não ferrosos, vidro, baterias, e os materiais das embalagens (papelão, papel, plásticos flexíveis, isopor, madeira de paletes, etc.) são destinados a parceiros homologados para recuperação e transformação de cada tipo de resíduo. O sistema garante e emite laudos de destruição e destinação ambientalmente correta, seguindo requerimentos legais de reciclagem responsável, gestão ambiental, e certificação *zero waste* (resíduo zero), que atesta que nenhum resíduo se encaminhe a aterros.

Em 2020, a ST atendeu, ao todo, mais de 24.600 chamados de coleta em todo o território nacional através das diversas formas em que atua. Foram recebidas e processadas nesse ano 1276t de REEE, como mostra a Tabela 3 a seguir, dentre os quais 625t de plástico foram reciclados e transformados em matéria-prima, sendo 400t de plástico reutilizadas pela própria cadeia interna da ST para produção novas partes e peças.

Tabela 4 - Volume de materiais processados pela ST em 2020

TOTAL POR TIPO DE MATERIAL	
PRODUTO	TOTAL PROCESSADO (kg)
PLÁSTICO	625.709,00
ALUMÍNIO	4.799,00
BATERIA	2.501,00
PAPEL	277.406
METAIS	255.063,00
VIDRO	8.734,00
OUTROS COMPONENTES	12.789,00
PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO	25.787,00
MADEIRA	64.089,00
TOTAL (kg)	1.276.877,00

Fonte: ST (2020)

Quanto a atuação, a ST atende tanto parcerias *business-to-business* (B2B) como *business-to-client* (B2C), além de parcerias com ONGs e associações de recicladores informais. As parcerias B2B envolvem empresas privadas, grandes geradoras de REEE, e associações nacionais de produtores, distribuidores e importadores de EEE para coleta e tratamento de seus resíduos para fins do cumprimento da PNRS, e correspondem a aproximadamente 80% do volume total de REEE coletado pela ST.

O relacionamento B2C, através do qual o cliente final pode descartar seus REEE domésticos, realiza-se através de duas parcerias. Uma delas é empreendida pela *Green Eletron*, gestora de REEE que faz parte do AS, citado no item 2.5 deste trabalho. A *Green Eletron* operacionaliza a LR de seus associados para cumprimento da PNRS, disponibilizando cerca de 400 PEVs para coleta em várias regiões do Brasil, que são gerenciados pela ST. Estes PEVs são disponibilizados de acordo com a localização demo-geográfica da região, concentrando-se principalmente na região Sudeste. São caixas coletoras de tamanhos pequeno (P), médio (M), grande (G), e extra grande (GG), capazes de receber REEE com tamanhos entre 18cm x 50cm, 30cm x 55cm, 30cm x 60cm, e 50cm x 70cm respectivamente. As Figuras 6 e 7 a seguir exemplificam essas caixas e seus diferentes tamanhos.



Figura 6 - PEVs Green Eletron tamanho P (à esquerda) e M (à direita)



Figura 7 - PEVs Green Eletron tamanho G (à esquerda) e GG (à direita)

A outra parceria B2C realiza-se através de um importante cliente privado de grande porte, a HP (*Hewlett-Packard Inc.*), que disponibiliza ao consumidor um programa de devolução, pertencendo também ao plano coletivo da *Green Eletron*. Sendo a HP um dos principais clientes da ST tanto em LR quanto em soluções de desenvolvimento, a equipe da PA estabeleceu esta parceria como um dos focos das análises.

Atualmente, a HP é líder na reciclagem em circuito fechado de plástico no mundo. Até 2020, fabricou mais de 4,9 bilhões de cartuchos usando 125.000t cumulativas de plástico reciclado globalmente, incluindo cartuchos reciclados, além de garrafas plásticas pós-consumo. No Brasil, 82% dos seus cartuchos de tinta são produzidos contendo de 45% a 70% de plástico reciclado; e 100% dos cartuchos de toner produzidos contêm entre 5 e 45% de plástico reciclado.

Pioneira na reciclagem de eletrônicos desde 1987 (Degher, 2002), a HP lançou em 1991 o programa de devolução e reciclagem para cartuchos de impressão, denominado Programa HP

Planet Partners (PHPPP), disponível em todo o mundo, permitindo não apenas a devolução gratuita de suprimentos de impressão da própria marca por clientes individuais e comerciais, mas também equipamentos de *hardware* de escritório domésticos de todos os fabricantes. Disponível no Brasil desde 2008, o PHPPP é gerenciado pela ST, e coleta em todo o território nacional suprimentos de impressão originais, da própria marca e de uma marca vinculada: cartuchos e toners de impressão (que não tenham sido recarregados/remanufaturados), cabeças e garrafas de tinta de impressão, seringas de toner, kits de transferência de imagem e de manutenção para impressoras). Além de *hardwares* como equipamentos de escritório domésticos de quaisquer marcas: impressoras de mesa, desktops, monitores, *tablets*, e acessórios, como teclados, mouses, cabos.

O PHPPP se aplica através de duas formas. Uma delas refere-se apenas ao descarte de cartuchos de impressão, via PEVs próprios. Há cerca de 400 PEVs HP, exemplificado pela Figura 8, disponíveis em várias regiões do Brasil, concentrando-se principalmente na região sudeste, e normalmente localizados em grandes centros, próximos ou dentro de lojas autorizadas da marca, cuja localização está disponível na página eletrônica da HP. Estes possuem um dispositivo que avisa diretamente a ST quando estão cheios e precisam ser coletados.



Figura 8 - PEV para cartuchos HP
Fonte: ST

Outra forma é a coleta local, através da solicitação via plataforma *online*, tanto para suprimentos de impressão quanto para eletrodomésticos de escritório doméstico, por um sistema gratuito baseado no consumidor final. Para a devolução de 5-20 cartuchos, o cliente receberá um *e-ticket* para postagem gratuita via Correios. Para mais de 20 cartuchos, toners, equipamentos e acessórios, a coleta será realizada gratuitamente no endereço do cliente independentemente da quantidade ou volume dos itens. A coleta é realizada por empresas logísticas terceirizadas, e

gerenciada pela ST, responsável pelo recebimento, armazenagem e tratamento dos equipamentos em seu centro de reciclagem. O programa atendeu, em média, entre 2020 e 2021, aproximadamente 270 chamados mensais de clientes.

Em 2020, a ST capturou 660 toneladas de REEE via parceria HP (somando PEVs e chamados). Entre *hardware* e suprimentos de impressão, o sistema coletou em média nesse período cerca de 55t de REEE mensais. Em 2021, 54% dos *hardwares* coletados eram HP (320t), comparado a 272t de outras marcas. Ainda em 2021, foram coletados 1,4 milhões de unidades de cartuchos e toners pós-consumo. O volume de cartuchos coletados por mês em 2021 via plataforma *online* (10t) é oito vezes maior que o descartado por meio dos PEVs (1,2t). Sem considerar os toners e *hardwares* recolhidos pela plataforma *online*, esses números já demonstram que este é o principal canal de descarte de REEE do programa.

Todos os REEE recolhidos pelo PHPPP são tratados pela ST. Como citado, o principal produto reciclado é o plástico, o qual irá compor 40% do material para produção de novas impressoras HP fabricadas pela própria rede ST. No entanto, 28% deste plástico reciclado precisa ser adquirido de fontes externas (material plástico virgem ou de outras empresas de reciclagem, como as garrafas plásticas citadas), uma vez que a ST opera abaixo de sua capacidade de reciclagem. Isso significa que todo o plástico reciclado de REEE tratado pela ST é reinserido (em ciclo fechado) na fabricação de novas impressoras HP, mas as quantidades de material são insuficientes para atender às necessidades de produção. A razão para isso é a baixo volume de REEE coletado.

Além dessas formas de coleta, a ST também possui parcerias com cooperativas de catadores de material reciclável (CCMR) que, até dados de 2022, abrangiam uma área de até 200km de sua sede, compreendendo oito cooperativas (com cerca de 30 cooperados cada, em média). As parcerias são regidas através de uma consultoria e financiada também por seu principal parceiro, a HP. O serviço de consultoria apoia as cooperativas sob aspectos jurídicos e financeiros, para que, sob o regime de pessoa jurídica, cumpram requisitos legais e ambientais, necessários à coleta e venda do material à ST, ou seja, se tornem formalizadas. A ST, por sua vez, apoia as CCMR de modo operacional, por exemplo, fornecendo treinamentos e dispositivos para separação e embalagem dos materiais coletados.

No entanto, as CCMR ainda são de pequeno porte e financeiramente vulneráveis. Por exemplo, a cooperativa representante do município em que a ST está localizada só atinge 2% da coleta de REEE da cidade (dados de 2021). Dentre os motivos, está o fato de que a respectiva prefeitura prefere apoiar programas de entidades assistenciais, entre eles o de recuperação e montagem de *kits* de informática a serem doados às entidades. Estes programas, no entanto, não

cumprem todos os aspectos legais, uma vez que não preveem a destinação final dos resíduos não reaproveitados. Em outras palavras, a prefeitura não apoia ou dá assistência às cooperativas para que um volume maior de REEE possa ser coletado e, principalmente, destinado corretamente. Além disso, a vulnerabilidade das cooperativas também está nos aspectos financeiros de seu serviço, pois têm ideia assistencialista, sendo para muito associados a única fonte de renda e sobrevivência, e por isso buscam por pagamento imediato pela venda de seu material.

Os materiais provenientes das CCMR formalizadas, parceiras da ST, passam por inspeção mais minuciosa na expedição, pois, muitas vezes, principalmente no início do relacionamento de parceria, não há um padrão de coleta, e além de conter materiais eletrônicos diversos, pode haver contaminação por outros tipos de resíduos coletados. A parceria com CCMR também recebe e trata, além da linha verde, alguns materiais da linha marrom (aparelhos de informação e entretenimento), como DVDs, TVs, aparelho de som, câmeras. Até dados de 2022, as cooperativas coletavam e enviavam à ST em média 4t/mês de REEE cada (32t/mês no total). A meta da empresa à época era dobrar a quantidade coletada e aumentar o número de parcerias de 8 para 30 cooperativas, o equivalente a 240t/mês, alcançando até 400km da sede. Entre as alternativas da empresa para atingir a meta estão programas de inclusão a condomínios fechados a nível local/regional da ST, e campanhas de coleta na região e em escolas (com foco no consumidor final).

3.1.2.1 Caracterização da Cadeia

Sabe-se que uma boa gestão de REEE é composta pela integração consonante de todos os elementos que compõem as atividades da cadeia a fim de atender a seus objetivos, considerando a atuação de diferentes agentes, como o reciclador, o operador logístico, a sociedade e o poder público, cujo desempenho considera aspectos econômicos (custo-benefício), ambientais (emissão de poluentes, geração de resíduos, níveis de reaproveitamento e descarte correto) e sociais (geração de emprego, distribuição de renda e qualidade de vida).

Tendo em vista não somente os dados relativos às operações da ST e algumas de suas parcerias/conexões, mas também os dados obtidos através das análises de literatura, foi possível identificar os principais elos da cadeia reversa de REEE no Brasil, como é mostrado pela Figura 9 a seguir.

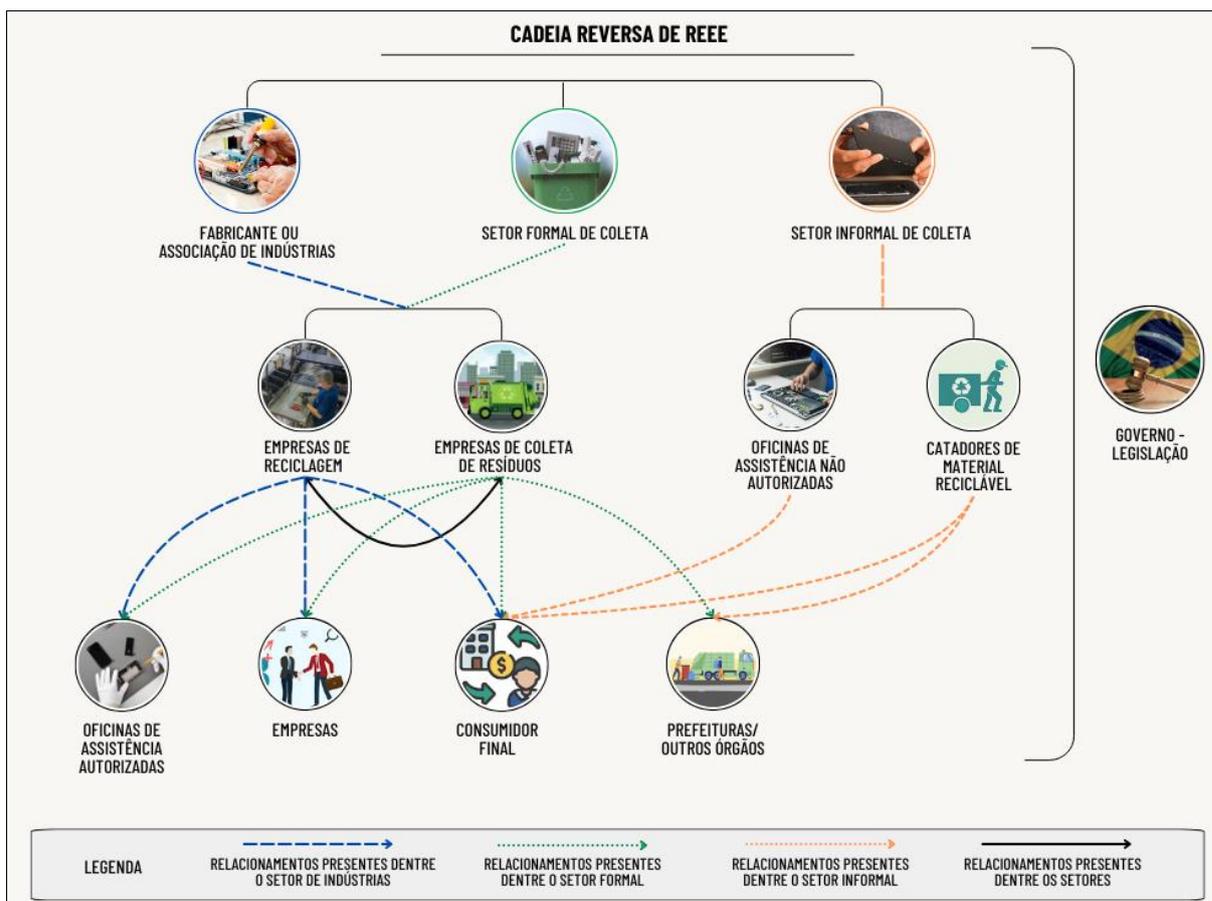


Figura 9 - Elos da cadeia reversa de REEE no Brasil

Fonte: A autora

A cadeia reversa de REEE é formada por três principais setores, que se desdobram em mais dois níveis, sendo o próprio fabricante ou associação de indústrias, e os setores formal e informal de LR (coleta/transporte) e reciclagem. Segundo Pan *et al.* (2020), muita atenção é dada na literatura às empresas recicladoras, sem considerar outras funções importantes da cadeia reversa de REEE, como varejistas (vinculados à indústria) e prestadores de serviços de LR. Por isso, o setor privado aqui é dividido entre o fabricante (ou o importador) e as empresas formais de coleta e de reciclagem.

O fabricante de EEE é obrigado pela lei a recolher parte de seus produtos pós-consumo. Para isto, a indústria precisa coletar REEE através de oficinas de assistência técnica autorizadas, empresas geradoras de REEE (B2B) ou alcançando o consumidor final (B2C). Com este fim, o fabricante pode fixar parcerias com empresas de LR e de reciclagem, o setor formal de reciclagem (como faz a HP), ou ainda, pode se associar a um sistema coletivo de gerenciamento de resíduos, através das associações de fabricantes, como a *Green Eletron*, que operacionaliza a LR de seus membros.

O setor formal de LR e reciclagem pode prestar serviço tanto ao fabricante quanto ao setor informal. Este setor caracteriza-se por empresas que realizam apenas a reciclagem dos produtos e as que realizam também sua LR, e que se relacionam entre si. Algumas empresas recicladoras realizam sua própria LR de resíduos. No caso de atuarem em atividades separadas, devem ser parceiras entre si, isto é, as empresas de reciclagem e tratamento recebem REEE de empresas coletoras. Ambas podem oferecer parcerias com os fabricantes ou outras empresas para coletar e/ou tratar os REEE, recebendo REEE de vários fabricantes ao mesmo tempo.

No caso de empresas que realizam apenas a reciclagem dos resíduos, é possível tratar os resíduos coletados pelas prestadoras de LR parceiras e, ainda, captar determinado tipo de material, seja proveniente de REEE ou não, para suprir demanda de reciclagem e/ou fabricação de matéria prima reciclada. Como exemplo, a ST recicla materiais plásticos de REEE e fabrica plástico reciclado, no entanto, para suprir sua demanda de produção do material reciclado, recebe também plásticos já segregados de outras fontes para reciclagem. De acordo com Dias *et al.* (2022), é comum que pequenos recicladores costumem vender parte de seus produtos a empresas de reciclagem maiores. Tanto por ser mais viável financeiramente como porque as pequenas instalações têm metas de vendas regulares a cumprir. Ainda, pelo fato de que as pequenas empresas muitas vezes não possuem a infraestrutura necessária para separar completamente alguns componentes específicos, tendo de vendê-los às empresas maiores (Dias *et al.*, 2022).

As empresas de LR podem oferecer serviços de coleta a empresas geradoras, associações de fabricantes, a prefeituras, via coleta seletiva, ou outros órgãos, incluindo CCMR formalizadas, e diretamente ao consumidor final (por exemplo, o relacionamento ST - HP - consumidor final). As iniciativas de coleta aplicadas ao consumidor final podem envolver PEVs, coletas em domicílio solicitadas pelo cliente, coleta seletiva porta-a-porta, e campanhas de coleta, que podem ser direcionadas a amostras específicas, de acordo com o seu potencial. Seu relacionamento com o setor informal é atualmente um desafio. Estratégias de parcerias entre estes dois setores são necessárias para que o setor informal participe efetivamente da cadeia contribuindo com o seu potencial.

O setor informal, muito presente nos países em desenvolvimento, abrange as oficinas de assistência técnica não-autorizadas (sem vínculo com o fabricante) e, os catadores de material reciclável. Estes, por sua vez, coletam material em parceria com prefeituras (por exemplo, coleta seletiva), que provêm do consumidor final, e de doações ou coleta de resíduos garimpados do lixo comum. O setor informal necessita de parcerias eficientes com prefeituras ou outros órgãos para que não apenas a coleta seja disponibilizada, mas para que haja também

mecanismos para interação com o setor formal, empresas de LR e/ou reciclagem, o que deve ser oferecido pelo setor privado.

Todos esses elos são regidos pelo governo/poder público que, através da legislação, estabelece seus papéis e responsabilidades, bem como o relacionamento ideal entre eles, ainda que esta não seja totalmente cumprida na prática. Nesse aspecto, cabe ao poder público a fiscalização e aplicação da legislação existente, bem como a responsabilização de cada ente, principalmente os fabricantes e geradores de REEE, o que pode ser feito através de incentivos fiscais e econômicos, e através de sanções. O poder público deve também disseminar e apoiar o setor privado na divulgação de informações aos consumidores sobre o descarte correto de REEE e as formas de fazê-lo. Deste modo, os consumidores precisam ser incentivados a participar da cadeia. Somente a sinergia entre todos os atores é capaz de enfrentar adequadamente o desafio da gestão dos REEE.

A partir deste mapeamento, é possível perceber, assim como constatado pela análise de literatura, e notado por Islam *et al.* (2021), que o consumidor final é parte comum a todos os elos da cadeia reversa, isto é, é o principal ponto de partida para a gestão dos REEE, por onde a cadeia reversa tem início. Por isso, o consumidor final deve ser considerado como tal na gestão de REEE, sendo o foco de políticas educativas, disseminação de informações e incentivos à participação.

À exceção de grandes empresas geradoras de REEE, o caminho do resíduo dentro da cadeia depende, basicamente, da via que será escolhida pelo consumidor final, que, por sua vez depende da via de retorno que é disponibilizada pelo setor privado, seja ele representado pelo próprio fabricante ou pelas empresas de LR e reciclagem formais. Portanto, considera-se esta evidência para o penúltimo subitem do planejamento da PA, que corresponde à delimitação do problema dentro do contexto (Fig. 5, pág. 50, subitem 1.4). Logo, a implementação da PA e o planejamento das ações e análises terão foco no consumidor final.

É importante citar que, diferente da fase de planejamento, na fase de implementação ocorrem novas coletas de dados, de acordo com a definição e a forma como será implementado cada plano de ação, tendo a unidade de análises como plano de fundo. As ações compreendem iniciativas de coleta de REEE aplicadas ao consumidor final e a elos que dependam de sua participação direta, caracterizadas como campanhas de coleta. As iniciativas serão testadas a fim de se avaliar suas respostas quanto ao funcionamento da cadeia na prática e, quanto aos resultados referentes ao volume de REEE capaz de ser coletado. Definindo o último subitem da etapa de planejamento, então, serão estabelecidas metas de coleta, em kg, para cada ciclo, que serão utilizadas como critério de avaliação da PA. A etapa de implementação da PA será descrita no próximo Capítulo.

4. IMPLEMENTAÇÃO

As fases seguintes ao planejamento da PA correspondem à aplicação dos ciclos, que incluem o planejamento e a implementação dos planos de ação, e a avaliação dos resultados de cada ação. O plano de ação tem o intuito de investigar iniciativas que envolvam o consumidor final na coleta de REEE, para gerar base de dados sobre os potenciais volumes a serem coletados e, investigar os resultados sob o ponto de vista prático. Para isso, os planos de ação foram limitados a amostras específicas de consumidores, considerando seu potencial conhecido de participação e/ou geração de resíduos. Esta delimitação também permitiu a definição de metas tangíveis, baseadas em informações reais.

Ao final da execução dos ciclos, se faz uma análise geral dos resultados, o que será descrito neste Capítulo. Ao final do Capítulo, uma tabela resume os processos da PA aplicados, com base na metodologia estudada, e provê estrutura para replicação.

4.1 Primeiro Ciclo da PA - Iniciativa 1

4.1.1. Planejamento e Implementação do Plano de Ação

Para o primeiro ciclo da PA, o plano de ação envolveu o consumidor final de nível acadêmico (de alto nível de escolaridade). Este público foi escolhido, pois, o maior nível de escolaridade, conforme constatado por Nowakowski (2019) e Cordova-Pizarro *et al.* (2020), tem uma relação positiva com o nível de consciência e atitude em relação ao descarte de resíduos, o que tende a ter respostas favoráveis à proposta.

Assim, a ação correspondeu à aplicação de uma campanha de coleta de REEE no campus da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, em Itajubá-MG, que abrange um público com grau de escolaridade de nível superior ou acima. Esta ação teve como objetivo analisar a eficácia da campanha em termos de volume coletado através do programa ST-HP-consumidor (PHPPP). Para isso, foram seguidos os critérios estabelecidos pelo programa, isto é, limitando os REEE aceitos a suprimentos de impressão e material de escritório de uso pessoal (suprimentos de impressão HP e cartuchos de toner HP e Samsung, e *hardware* de escritório de quaisquer marcas).

Como citado anteriormente, a ST coletou 660t de REEE via parceria HP em 2020 em todo o Brasil. A média de REEE gerada *per capita* no Brasil é de 11,4kg (Baldé *et al.* 2024). A população brasileira é de 212.583.750 habitantes (IBGE, 2024). Desta forma, somente através da HP, a ST coletou no Brasil em um ano 0,03% do total gerado, como mostra a equação seguinte:

$$\text{Volume total gerado em 2020 no Brasil: } 212.583.750 \times 11,4 = 2.423.454t$$

$$\text{Taxa de captação da ST via HP: } \frac{660}{2.423.454} \times 100 \cong 0,03\%$$

Com base nessas informações, uma vez que a meta da campanha era aumentar o volume de REEE coletados em relação à empresa, definiu-se como objetivo atingir pelo duas vezes a taxa de captação anual de resíduos da ST via HP (0,03% do total gerado). Considerando-se a taxa de geração de Baldé *et al.* (2024), e que a amostra do Campus da UNIFEI tem uma população de 9000 pessoas, obtém-se o valor da meta correspondente a 60kg, como demonstra a equação:

$$\text{Volume gerado pela população do Campus: } 9000 \times 11,4 \times \frac{0,03}{100} = 30\text{kg}$$

$$\text{Meta} = 30 \times 2 \cong \mathbf{60\text{kg}}$$

Então, a princípio, a campanha foi direcionada apenas a professores e funcionários do Instituto de Engenharia de Produção e Gestão (55 pessoas), durante o período de duas semanas, entre os dias úteis de 14 a 25 de março de 2022, em horários pré-definidos, limitando um ponto específico de coleta no Campus. Divulgou-se o panfleto da campanha, mostrado pela Figura 10, a diante, por via eletrônica.



CAMPANHA DE COLETA DE ELETRÔNICOS USADOS

SUPRIMENTOS DE IMPRESSÃO HP E SAMSUNG



CARTUCHOS DE TINTA HP



TONERS HP E SAMSUNG



EQUIPAMENTOS DE HOME OFFICE (TODAS AS MARCAS)


TABLETS


NOTEBOOKS


CABOS


TECALDOS E MOUSES


MONITORES


DESKTOPS


IMPRESSORAS

TRAGA SEUS CARTUCHOS E HARDWARES PARA A DESTINAÇÃO CORRETA

DE 14/03 A 25/03
SEG A SEX, 9H - 12H, 14H - 17H

LOCAL: LAB LOGTRANS, PRÉDIO DO IEPG (TÉRREO)
(BLOCO B, SALAS B3166 E B3120,
PRÓXIMO A SALA DOS PROFESSORES)

Mais informações:



Figura 10 - Panfleto de divulgação da campanha

Nesse período, foram coletados treze suprimentos de impressão (cartuchos de toner) e três *hardwares* (notebooks), dentro do escopo especificado na campanha, e uma placa de vídeo, não especificada no escopo. Tal volume coletado foi avaliado como baixo, abaixo da meta.

Então, preparou-se um novo plano, em que a campanha foi divulgada a toda a comunidade acadêmica da UNIFEI, incluindo alunos de graduação (78% do público), pós-graduação, professores e funcionários de todos os institutos (22%), com um alcance de cerca de 9 mil pessoas. Mais uma vez, limitou-se o prazo a duas semanas, entre os dias úteis de 04 a 15 de abril de 2022, e mantendo-se um único ponto fixo de recebimento. O panfleto da campanha (Figura 11) foi veiculado novamente via divulgação eletrônica, modificando-se apenas as datas em relação à primeira divulgação.

A nova campanha atingiu um resultado satisfatório. Foram coletados mais 29 cartuchos de toner, e uma variedade de hardwares, incluindo duas impressoras, um desktop, um tablet, três monitores, dois *notebooks*, cinco teclados, sete mouses, diversos cabos, entre outros itens. Alguns materiais fora do escopo delimitado também foram recebidos na segunda campanha. Considerando que o PHPPP inclui o aceite de outros itens (sem especificação), como será mostrado na etapa seguinte, alguns desses foram mantidos para envio, como roteadores, *modems*, GPS, escâner, fones de ouvido, carregadores, memórias externas, *pen drives*, *nobreak*, peças de eletrônicos desmontados (cooler, leitor de CD, tela de acrílico). Já alguns foram especificamente listados como não aceitos pelo programa e não puderam ser enviados, como uma TV CRT (tubo de raios catódicos), algumas lâmpadas e cartuchos de impressão de outra marca. Tais itens foram enviados a uma ONG local para a correta destinação.

O volume arrecadado, somando-se as duas coletas, foi capaz de preencher onze caixas de papelão com *hardware* (136kg ao todo), e duas caixas (63kg ao todo) com suprimentos de impressão (toners), como mostra a Figura 11. O peso total estimado foi de cerca de 200kg, o que evidencia a efetividade da divulgação para a coleta de volume relevante de REEE, uma vez que o volume superou em mais de três vezes a meta proposta (60kg).



Figura 11 - REEE coletados embalados

Durante o andamento da coleta, a equipe da PA recebeu *feedback* positivo do público durante e após sua conclusão. As pessoas elogiaram a iniciativa e expressaram o desejo de participar de futuras campanhas, pois costumam acumular REEE em casa. É interessante notar que grande parte dos equipamentos de grande porte arrecadados datavam de antes de 2010, como um *desktop*, um monitor CRT e um *nobreak*. Esses itens estavam sendo guardados em casa pelos consumidores, que diziam não saber como descartá-los antes. Muitos consumidores que trouxeram os seus resíduos questionaram também se poderiam trazer outros tipos de REEE que não se enquadrassem no escopo da campanha, afirmando que esta foi a primeira oportunidade que tiveram para dar a correta destinação aos resíduos que vinham acumulando. Isso evidenciou a importância de um relacionamento mais próximo entre os atores envolvidos na cadeia de LR de REEE. Além disso, o *feedback* dos participantes mostrou a necessidade de oferecer à população um ponto de descarte de seus resíduos, principalmente em locais distantes das grandes cidades (como foi o caso da população estudada).

Os resíduos foram, então, embalados em caixas, e foi solicitada a coleta do material através da plataforma digital da HP. No 28/04/22 o provedor logístico da ST (empresa de coleta terceirizada) enviou para esta coleta um carro estilo furgão comercial leve, com capacidade de cerca de 620kg de carga. A Figura 12 exibe a foto do furgão já carregado com o material coletado no Campus. Um único funcionário foi encarregado de dirigir e realizar a coleta manualmente. Não houve agendamento prévio em contato com a solicitante, apenas contato via telefone no momento da coleta para confirmar quantidade de caixas e local.



Figura 12 - Veículo utilizado para a coleta solicitada no Campus

Sabe-se que, via informação interna, de acordo com a demanda, as coletas fracionadas, que são realizadas em caminhões menores, são concentradas em um ponto pelo provedor logístico até atingirem volume para envio ao centro de reciclagem, o equivalente a um caminhão cheio, desde que se cumpra o prazo estabelecido. Dados da organização também informam que o ponto final que reúne as coletas antes de serem finalmente entregues ao centro de reciclagem fica na cidade de Guarulhos - SP, mas, uma vez terceirizado, informações sobre a definição de rota ou tamanho dos automóveis não são de responsabilidade da ST.

Ainda de acordo com informações da empresa, em 2020 foram realizadas 3476 coletas através da parceria HP, cerca de 15% do total de coletas. Destas, 62 foram infrutíferas, seja por motivo de endereço ou responsável pela solicitação não encontrados, falha no volume declarado versus tamanho do veículo enviado, entre outros. Entre março e dezembro de 2020 foram realizadas 1399 coletas, das quais 39 infrutíferas, sendo efetivadas 901 referentes a suprimentos, 459 referentes a *hardwares*.

No prazo de 45 dias após recebimento dos materiais no centro de reciclagem, é disponibilizado ao cliente na plataforma online um relatório atestando o recebimento dos materiais, sua descrição, quantidade e peso, e um certificado de destruição destes, atestado por licenças ambientais e ISOs (9000, 14001:2015 e 45001:2018), o que demonstra a preocupação da ST e da HP em garantir confiabilidade e transparência ao cliente.

As Figuras 13 e 14, na sequência, mostram, respectivamente, as declarações de carregamento e transporte emitidas pelo provedor logístico referentes à coleta dos *hardwares* e suprimentos de impressão da campanha, em que constam na parte inferior a assinatura do responsável pela entrega dos materiais no ponto de coleta (UNIFEI) e a data.

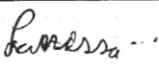
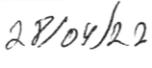
DECLARACAO DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE		Data de emissao:
<p style="text-align: center;">- SOROCABA - SP</p> <p>TB-83527</p> <p style="text-align: center;">TBHP-HD EXTERNO</p>		<p>25/04/22</p>  <p>Pedido de Coleta:</p> <p>701117</p>
REMITENTE DOS MATERIAIS		
Razão Social: MARIANA BERNARDES		CNPJ: 10620509678
Endereço: AVENIDA BPS, 1303, PINHEIRINHO, 1303, 1303		I.E.:
Cidade: ITAJUBA - PINHEIRINHO - Uf: MG		CEP: 37500903
Contato: MARIANA BERNARDES		TEL: 35991249151
E-mail:		
DESTINATARIO DOS MATERIAIS		
Razão Social:		CNPJ:
Endereço:		I.E.:
Bairro:		CEP:
Cidade: SOROCABA		UF: SP
DESCRICAÇÃO DO MATERIAL		
TIPO	Volumes	Peso estimado (Kg)
Produtos eletronicos pos consumo	12	135.53
Observacoes:CONTATO[MARIANA BERNARDES,35991249151,MARIANA.19BERNARDES@GMAIL.COM] OBSIENTRAR NO CAMPUS UNIFEL, PORTARIA 1, BLOCO B (IEPG), SALA B3120. SÃO 12 CAIXAS DE PAPELÃO MÉDIAS/PEQUENAS]		
PROVEDOR LOGISTICO		
Razão Social: VIA MUNDO		CNPJ: 18997640000183
Endereço: RUA BRAZÁPOLIS, 60		I.E.: 796.149.150.118
Bairro: CIDADE INDUSTRIAL SATÉLITE DE		CEP: 07223090
Cidade: GUARULHOS		UF: SP
CLIENTE		
Assinatura do remetente		Carimbo da empresa
Assinatura do destinatário		
Data de emissão do material		
Data de entrega do material		
Observações: *[Termo de doação] Ao entregar seus produtos, você está abrindo mão do seu direito de propriedade sobre eles. * Dispensa a emissão de nota fiscal dos seguintes Estados: Bahia, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo, conforme ajuste SINIEF 38/20, de 14 Out 2020.		
 		

Figura 13 - Declaração de carregamento e transporte emitida pelo provedor logístico referente à coleta da campanha (hardware)

DECLARAÇÃO DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE		Data de emissão:
- SOROCABA - SP		25/04/22
TB-83528		
TBHP-SUPPLIES		Pedido de Coleta: 701265
REMETENTE DOS MATERIAIS		
Razão Social: MARIANA BERNARDES	CNPJ: 10620509678	
Endereço: AVENIDA BPS, 1303, PINHEIRINHO, 1303 - ENTRAR NO CAMPUS UNIFEI, PORTARIA 1, BLOCO B (IEPG), SALA B31	I.E.:	
Cidade: ITAJUBA - PINHEIRINHO - Uf: MG	CEP: 37500903	
Contato: MARIANA BERNARDES	TEL: 35991249151	
E-mail:		
DESTINATÁRIO DOS MATERIAIS		
Razão Social:	CNPJ:	
Endereço:	I.E.:	
Bairro:	CEP:	
Cidade: SOROCABA	UF: SP	
DESCRIÇÃO DO MATERIAL		
TIPO	Volumes	Peso estimado (Kg)
Produtos eletrônicos por consumo	2	63,00
Observações: CONTATO[MARIANA_BERNARDES35991249151;MARIANA.VBERNARDES@GMAIL.COM] OBS(ENTRAR NO CAMPUS UNIFEI, PORTARIA 1, BLOCO B (IEPG), SALA B31)		
PROVEDOR LOGÍSTICO		
Razão Social: VIA MUNDO	CNPJ: 18997640000183	
Endereço: RUA BRAZÁPOLIS, 60	I.E.: 796.149.150.118	
Bairro: CIDADE INDUSTRIAL SATÉLITE DE	CEP: 07223090	
Cidade: GUARULHOS	UF: SP	
CLASSE		
Nome do responsável pela liberação do material		Carimbo da empresa
Assinatura do responsável pela liberação do material		
RG do responsável pela liberação do material		
Data da liberação do material		
Observações: * [Termo de doação] Ao entregar seus produtos, você está abrindo mão do seu direito de propriedade sobre eles. * Dispensa a emissão de nota fiscal dos seguintes Estados: Bahia, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo, conforme ajuste SINIEF 38/20, de 14 Out 2020.		
		28/04/22

Figura 14 - Declaração de carregamento e transporte emitida pelo provedor logístico referente à coleta da campanha (suprimentos de impressão)

4.1.2. Avaliação dos Resultados

Em termos de implicações práticas, este ciclo apresentou resultados satisfatórios: foram coletados 200kg de REEE, mais que o triplo da meta estimada. De acordo com a equação a seguir, é possível estimar que a campanha realizada conseguiu captar 0,2% dos resíduos gerados pela amostra alcançada (9000 pessoas, 11,4kg por pessoa) para destinação formal.

$$\text{Taxa de captação da amostra acadêmica} = \frac{\text{total coletado (kg)}}{\text{total gerado (kg)}} = \frac{200}{9000 \times 11,4} \times 100 \cong 0,2\%$$

Em termos de implicações teóricas, a alta adesão à campanha, e a razão pela qual os itens antigos foram mantidos em casa e não foram descartados de outra forma pelos consumidores podem estar relacionadas ao nível de consciência ambiental, que está relacionado ao nível de escolaridade da amostra (Nowakowski, 2019; Cordova-Pizarro *et al.* 2020). Isto também confirma o que a literatura tem mostrado mundialmente: que os consumidores, em geral, não têm conhecimento das alternativas para descarte de REEE, e tendem a guardá-los em casa por longos períodos, principalmente os itens de maior porte (Green Eletron, 2021; Santos e Ogunseitan, 2022; Wilkinson e Williams, 2020; Nowakowski, 2019; Mansuy *et al.*, 2020).

Os resultados deste ciclo também demonstram que os consumidores parecem interessados em futuras campanhas periódicas, o que reforça a importância de manter um relacionamento constante com eles. No entanto, um fator que pode influenciar a participação do consumidor, de forma a limitá-la, e que deve ser considerado como ponto fraco em campanhas de coleta (ou mesmo PEVs), é o fato de que o consumidor precisar levar, por seus próprios meios, os resíduos até o ponto de coleta (Koshta *et al.* 2024; Green Eletron, 2021). Além disso, os resultados demonstraram que não é possível limitar totalmente os REEE a serem coletados.

Em síntese, como lições aprendidas neste ciclo, deduz-se que campanhas de coleta de REEE aplicadas ao público acadêmico tendem a ser eficazes. Além disso, podem ser aplicadas periodicamente para engajamento deste público. Estas lições permitem que um novo plano de ação seja aplicado a outros grupos sociais.

4.2. Segundo Ciclo da PA - Iniciativa 2

4.2.1. Planejamento e Implementação do Plano de Ação

Uma vez que o ciclo anterior obteve sucesso dentro do ambiente acadêmico, buscou-se aplicar um novo ciclo de campanha de coleta abrangendo também um ambiente educacional, porém de nível infantil a médio.

Crianças em idade escolar têm elevados níveis de preocupação ambiental e consciência sobre o lixo, além de partilharem um sentido de responsabilidade, que parece estar correlacionado com a adoção de comportamentos pró-ambientais, isto é, que visam minimizar o impacto negativo de suas ações no mundo. Além de sua consciência, preocupação e senso de responsabilidade, os alunos podem influenciar positivamente seus pares, familiares e a comunidade em geral, ao mesmo tempo em que são observadores cuidadosos de seu ambiente (Praet *et al.*, 2023).

Então, aplicou-se uma campanha de coleta de REEE a uma escola privada da cidade de Itajubá-MG, compreendendo alunos do ensino fundamental até o ensino médio (78%), além de professores e funcionários (22%), ao todo 640 pessoas. A escola oferece campanhas periódicas

de coleta de resíduos, o que foi um fator que justificou e contribuiu para sua escolha. Além disso, a escolha da escola privada também se justifica pelo fato de que renda é um fator relevante no nível de consciência ambiental e participação (Echegaray, Hansstein, 2017; Mansuy *et al.*, 2020; Islam *et al.*, 2020, Green Eletron, 2021).

Esta campanha englobou pequenos eletrodomésticos e equipamentos de escritório, sem limitá-los. Por isso, a coleta contou com a parceria de uma empresa local, a AGIT Soluções Ambientais LTDA (empresa de pequeno porte, com sede em Itajubá-MG, que realiza LR e destinação de diversos tipos de resíduos). Foi definida a mesma meta de volume estipulada para a UNIFEI (60kg), por se tratar também de um ambiente de ensino, e por não haver outro estudo anterior comparativo.

A campanha foi divulgada na escola durante o mês de setembro de 2023, sendo anunciada presencialmente a todas as salas de aula por um pesquisador membro da equipe da PA, e de forma *online* para professores e funcionários através de um cartaz (Figura 15), que também foi colocado no ponto de coleta definido dentro da escola (Figura 16). A campanha ficou ativa durante um mês (entre setembro e outubro). A data de coleta foi divulgada no ponto de coleta e, aos professores e funcionários de forma *online*.



Figura 15 - Panfleto da campanha de coleta divulgado na escola



Figura 16 - Ponto de coleta no interior da escola

A coleta foi realizada pela AGIT, gratuitamente, através de um caminhão baú no dia 27/10/23. Não só foram coletados materiais de uso pessoal, como fones de ouvido, cabos, monitores, teclados, *mouses*, eletrodomésticos de cozinha, *desktops* e, pilhas e baterias, mas também material obsoleto do laboratório de informática da escola, como *desktops* completos. Ao todo, foram coletados 210kg, volume de 3,5 vezes a meta. As Figuras 17, 18 e 19 exemplificam os materiais coletados nessa campanha.



Figura 17 - Materiais descartados pelos alunos no ponto de coleta da escola



Figura 18 - Materiais descartados pelo laboratório de informática da escola



Figura 19 - Materiais reunidos no baú do caminhão de coleta

4.2.2. Avaliação dos Resultados

O volume coletado neste ciclo foi considerado satisfatório, uma vez que atingiu 3,5 vezes a meta para uma população relativamente pequena (quando se considera que foi utilizada

a mesma meta da campanha da UNIFEI do ciclo anterior). Portanto, na prática, os resultados demonstram o alto engajamento do público escolar. Para a amostra, a taxa de captação corresponde a aproximadamente 2,8%, conforme a equação:

$$\text{Taxa de captação da amostra escolar} = \frac{\text{total coletado (kg)}}{\text{total gerado (kg)}} = \frac{210}{640 \times 11,4} \times 100 = 2,8\%$$

Durante a divulgação na escola, foi interessante notar a participação e o conhecimento dos grupos de crianças dos primeiros anos do ensino fundamental. O panfleto da campanha, divulgado nas salas de aula, perguntava o que era resíduo eletrônico e, entre os principais voluntários a responder à pergunta estavam crianças desse grupo, que respondiam corretamente.

Assim como no ciclo anterior, esta campanha também apresenta como possível fator limitante à participação a necessidade do consumidor de transportar os REEE até o ponto de coleta. No geral, por seu interesse e senso de preocupação ambiental, e por sua capacidade de influenciar sua comunidade, crianças em idade escolar têm alto potencial de alavancar campanhas. Deste modo, tem-se como lição aprendida que campanhas aplicadas a este público tendem a atingir sucesso.

4.3. Terceiro Ciclo da PA - Iniciativa 3

4.3.1. Planejamento e Implementação do Plano de Ação

Com o intuito de se avaliar a efetividade de campanhas de coleta aplicadas a outro elo da cadeia próximo ao consumidor final, o setor informal, a ação testada neste ciclo foi a aplicação de campanhas de coleta a oficinas de assistência eletrônica (OAE) informais, de duas cidades do sul do Estado de Minas Gerais, Itajubá e São Gonçalo do Sapucaí. Estas OAE representam pequenas empresas, não dotadas de alta qualificação, tecnologia ou certificação.

Os consumidores tendem a procurar as OAE para reparos de seus equipamentos, e não aos fabricantes, costume comum em países em desenvolvimento (Uriarte-Ruiz, 2022). Por isso, as OAE têm um papel mais ativo que os comerciantes de eletrônicos na mediação entre consumidores e fabricantes, apresentando-se como potenciais geradores de resíduos (Moura *et al.*, 2017).

A prefeitura municipal de São Gonçalo do Sapucaí-MG (SGS) solicitou da AGIT, em 2022, a realização de uma campanha de coleta de REEE na cidade (população de 24.000 habitantes, IBGE, 2022). Então, a AGIT contactou a presente pesquisadora para realizar consultoria e análise dos dados, auxiliando na coleta, que foi realizada final de 2022. Havia na cidade 15 OAE registradas no Google® no momento da campanha, entre assistência técnica a eletrodomésticos em geral, itens de informática e celulares. Aqui também se incluiu oficinas de assistência a

equipamentos de linha branca (bens de consumo de grande porte: geladeiras, lavadoras, etc.). A campanha foi divulgada de forma *online* pela prefeitura, e de forma presencial por um agente da prefeitura. A Figura 20 demonstra o panfleto divulgado.



Figura 20 - Panfleto de divulgação da campanha para as OAE de SGS

De 15 OAE, seis participaram da coleta. A coleta foi realizada pela AGIT em seis dias diferentes, entre os meses de novembro/2022 e abril/2023 nos pontos comerciais das OAE de forma gratuita. Ao todo, foram coletados 1135kg de REEE.

A partir disso, então, foi realizada uma campanha de coleta para as OAE de Itajubá-MG (93000 habitantes, segundo o IBGE (2022)). Estabeleceu-se como meta o valor de 733kg, com base na coleta realizada em SGS, comparando-se a população das duas cidades e na realização de uma coleta única (dada a duração de seis meses em SGS), como mostra a equação abaixo. Esta campanha abrangeu eletrodomésticos (exceto linha branca) e telefones celulares.

$$Meta = \frac{População\ de\ Itajubá \times Volume\ coletado\ em\ SGS}{População\ de\ SGS \times Duração\ da\ campanha\ em\ SGS} = \frac{93000 \times 1135}{24000 \times 6} = 733\ kg$$

Foram mapeadas todas as OAE com ponto comercial registradas no Google® em funcionamento em junho/2023 em Itajubá, um total de 40 empresas. A partir deste mapeamento, então, a campanha foi divulgada pelos pesquisadores membros da equipe da PA para todas as

OAE via telefone/rede social ou presencialmente, com auxílio do panfleto mostrado na Figura 21, entre 27 de junho a 11 de julho de 2023. Junto ao panfleto, foi divulgado que a coleta seria realizada nas instalações de cada oficina pela AGIT, de forma gratuita e em data a combinar.



Figura 21 - Panfleto da campanha divulgado às OAE de Itajubá/MG

Após a divulgação, a equipe de PA obteve 50% de abstenções nas respostas. Dentre as 20 OAE respondentes, 13 delas (65%) destinam seus REEE ao setor informal, representado por catadores de material reciclável (CMR) individuais. Três delas não possuíam material suficiente para descartar no momento, uma delas alegou entregar para outra empresa de coleta, e seis OAE aceitaram participar da coleta na data programada, no dia 21 de julho de 2023 no período matutino. No dia programado, no entanto, uma OAE não confirmou a participação, duas OAE estavam fechadas, e, portanto, a coleta foi realizada pela AGIT em apenas três delas.

É interessante frisar que as empresas que não possuíam material para descarte no momento e as que estavam fechadas no dia da coleta manifestaram interesse em participar de coletas futuras.

Então, foram coletados ao todo 525kg de REEE. Deste, aproximadamente 500kg correspondiam a eletrodomésticos de áudio e vídeo (TVs CRT, aparelhos de vídeo e DVD,

aparelhos de som) que, em maioria, estavam armazenados desde o início dos anos 2000 em uma OAE. O restante correspondeu a 25kg de baterias de celular. Foi utilizado para a coleta um caminhão baú da AGIT. A Figura 22 mostra os materiais coletados.



Figura 22 - Eletrodomésticos de áudio e vídeo coletados no baú do caminhão (esq.) e baterias coletadas (dir.)

Notou-se, novamente, que a maior parte dos equipamentos de grandes dimensões recolhidos tinha data da década de 90 aos anos 2000, por exemplo, televisores e monitores CRT e caixas de som. Estes equipamentos estiveram acumulados em um depósito de uma OAE durante todos estes anos, desde que perderam sua utilidade, demonstrando características de seu esquecimento e abandono. Esses fatores se devem principalmente às suas grandes dimensões e a consequente dificuldade em descartá-los, mencionados pelo proprietário da OAE.

Salienta-se, também, que foi observado um padrão dos resíduos coletados nas OAE especializadas em reparos de celulares, constando apenas baterias inservíveis. Infere-se, portanto, que a maioria das partes e componentes de celulares é reutilizada informalmente dentro do próprio setor, e praticamente nada é descartado. Também se ressalta a consciência das OAE de celulares, que têm a preocupação de guardar as baterias para descarte correto e seguro.

Por fim, a AGIT transportou e armazenou os resíduos coletados em suas instalações para destinação. As coletas deste ciclo, e do ciclo anterior realizadas em Itajubá, foram reunidas pela AGIT (725,5kg) e, por uma questão de custos logísticos e de venda do material, optou-se pelo envio dos materiais à GM&C.

A GM&C é uma empresa gestora de REEE, localizada em São José dos Campos - SP, que realiza LR, compra, separação e destinação de partes de REEE para respectiva reciclagem por parceiros homologados e destinação final certificada. A empresa gerou um laudo, cujas partes principais estão explicitadas na Figura 23 a seguir, que atesta a quantidade coletada, a separação dos resíduos por quantidade, e a emissão de certificado de destinação final.

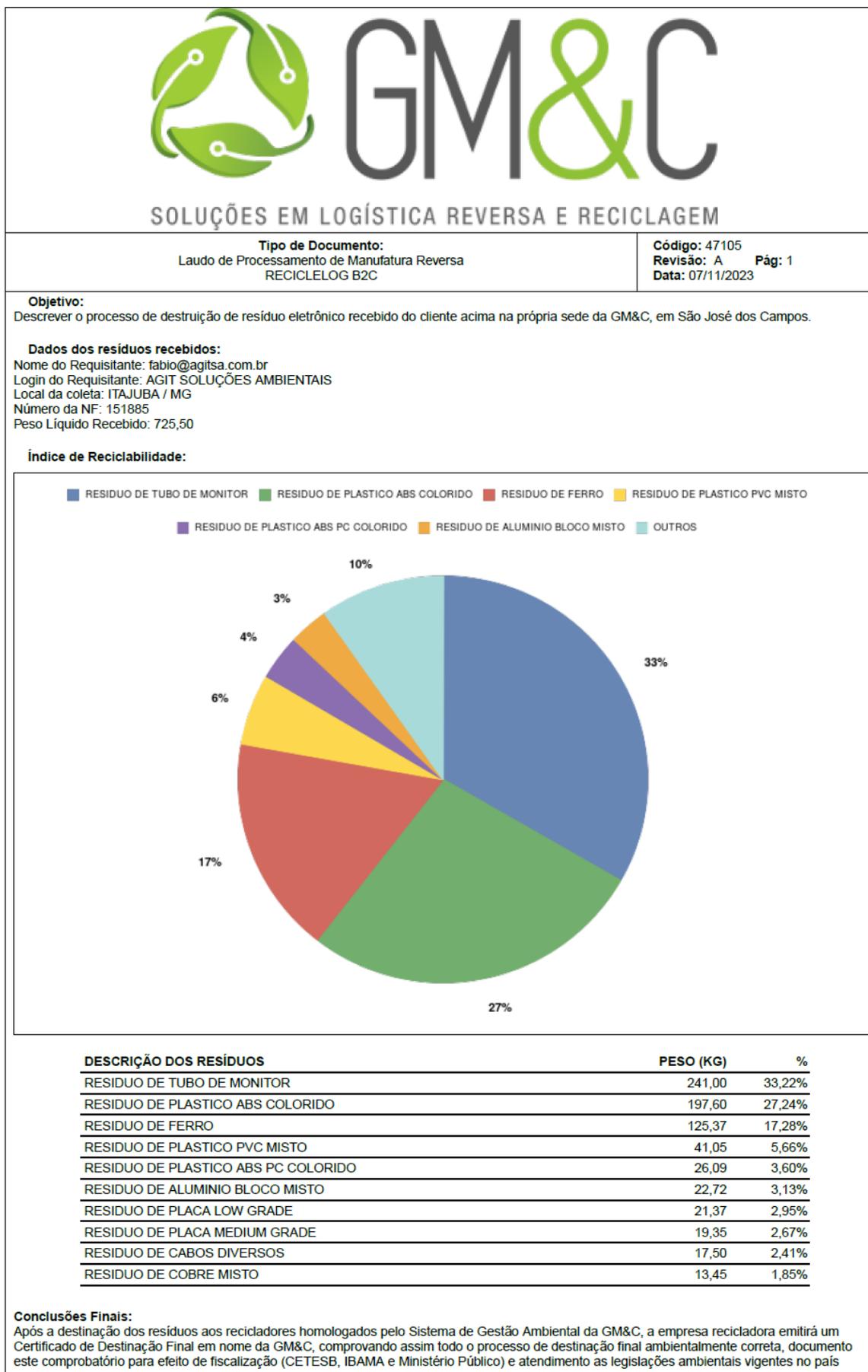


Figura 23 - Laudo de processamento dos resíduos coletados nos Ciclos 2 e 3

4.3.2. Avaliação dos Resultados

Em termos práticos, a meta de volume coletado para este ciclo não foi atingida. Apesar de as OAE possuírem alto potencial de geração de resíduos, a adesão à campanha foi baixa, assim como o volume coletado. Isso se deve, provavelmente, ao fato de que há poucas opções formais para o descarte de REEE das OAE.

Considerando-se que nas duas cidades estudadas há, em média, uma OAE para cada 2100 habitantes, com respectivo potencial de geração de 23940kg de REEE (11,4kg *per capita*), e que foram captados 188kg, em média, em cada OAE, é possível estimar que a taxa de captação de REEE foi de aproximadamente 0,8% dos resíduos, em média, como mostra a equação:

$$\text{Taxa de captação das OAE} = \frac{\text{total coletado (kg)}}{\text{total gerado (kg)}} = \frac{188}{2100 \times 11,4} \times 100 \cong 0,8\%$$

Sobre os resíduos, constata-se que, sobretudo os REEE de maiores dimensões e massa, se não forem encaminhados para formas alternativas de eliminação, tendem a ser acumulados durante longos períodos, não sendo reinseridos na cadeia, o que foi o caso das TVs e outros eletrônicos armazenadas em uma OAE há anos. Quanto aos resíduos de celulares, é interessante notar o quão pouco se descarta no setor (apenas baterias), o que é compatível com a realidade. Na prática, os fabricantes não costumam reparar ou reutilizar peças de celular (Ali e Shirazi, 2023), o que é realizado pelas OAE de maneira informal, prática muito comum em países em desenvolvimento (Uriarte-Ruiz, 2022).

Esta iniciativa apresentou como fatores de dificuldade: a necessidade de contatar individualmente cada OAE; a dificuldade em agendar a coleta com os responsáveis, em data que fosse comum também às outras OAE; e a dificuldade em coletar resíduos de grandes dimensões, em más condições de armazenamento. Este último fator relaciona-se a primeira coleta que foi oferecida à uma OAE em anos de acúmulo de resíduos. Isto significa que, provavelmente, as coletas seguintes não devem encontrar esta dificuldade novamente, demonstrando a importância da periodicidade regular entre as coletas.

Apesar de pequena, uma porcentagem das OAE demonstrou-se interessada participar de futuras campanhas de coleta, o que realça a importância de se manter uma relação mais estreita entre as partes envolvidas na cadeia de LR de REEE. Isto é, é evidente o quanto as OAE necessitam da proximidade com as empresas formais de coleta e reciclagem de REEE, mais uma vez demonstrando a necessidade de campanhas periódicas de coleta.

Apesar de as OAE representarem uma conexão entre consumidores finais e fabricantes, elas não são incluídas pelo AS, e por isso encontram dificuldade em descartar seus REEE. Isso as leva a destiná-los dentro do próprio setor informal, em que a disposição final dos resíduos não é conhecida ou certificada e, por isso, não se pode garantir que seja ambientalmente adequada (Moura *et al.*, 2017; Guarnieri *et al.*, 2016). No entanto, evidências substanciais demonstram que a reciclagem informal leva a uma gestão ineficaz do resíduo eletrônico (Pan *et al.*, 2022). Neste aspecto, destaca-se a alta participação dos CMR na gestão dos REEE. Como já mencionado neste trabalho, apesar de seu trabalho ser a base para a indústria de reciclagem, os CMR são socialmente vulneráveis e carecem de assistência técnica e capacitação, não sendo incluídos na cadeia formal de REEE como determina a lei (Ferreira *et al.*, 2019; Sant’anna *et al.*, 2014).

De maneira geral, percebe-se a inexistência de uma conexão entre o setor informal e formal, isto é, entre as OAE/CMR e o setor privado, o que supriria tanto a demanda de volume por parte da indústria de reciclagem, quanto as necessidades de trabalho e geração de renda do setor informal, e aliviaria o acúmulo de REEE e o conseqüente descarte inadequado. Esta é uma lição aprendida neste ciclo, bem como sobre a importância do fortalecimento desse relacionamento, que pode ser testado em ciclos futuros.

4.4 Análise geral da PA

Concluindo-se a etapa de implementação de planos de ação, avaliou-se que os três ciclos da PA aplicados, ofereceram respostas satisfatórias quanto ao funcionamento da cadeia na prática. Assim, dentro das limitações da pesquisa, a PA cumpriu seus objetivos. Obteve-se sucesso nas iniciativas aplicadas diretamente ao público acadêmico e escolar, como esperado, por compartilharem de educação e consciência. É válido frisar que esses atributos são fatores positivos à receptividade de políticas educativas e campanhas de conscientização. Na iniciativa aplicada às OAE, unidades geradoras de REEE, apesar de não ter atingido a meta, foi possível levantar informações sobre o real funcionamento do setor informal.

Ao todo, a união das iniciativas permitiu coletar 2,06t de REEE que estavam acumulados, impossibilitados de gerar valor econômico e ecológico. A estes resíduos foi dado destino alinhado à recuperação de valor, reciclagem, e disposição final ambientalmente correta, gerando benefícios financeiros e de preservação ambiental; além de desobstruir o espaço que ocupavam na casa dos consumidores e nas oficinas.

Os dados de volumes coletados nas iniciativas serão úteis para a geração e projeção de cenários, para, finalmente se conhecer a taxa de captação real de cada amostra. Os resultados

também permitirão realizar análises sobre os potenciais qualitativos de cada iniciativa, e desenhar um mapa da cadeia reversa de REEE mais próximo da realidade.

Uma vez que foi realizada uma análise de resultados a cada ciclo, redigindo implicações teóricas e práticas, a última atividade desta PA corresponde à geração de estrutura para replicação. Portanto, assim como Mohebalizadeh e Ghazinoori (2020), esta pesquisa apresenta na Tabela 5 uma síntese da PA executada, seus processos e resultados. Cada etapa ou ciclo da PA inclui a descrição do tempo para realização de cada uma delas (desde a geração da ideia até o fim de sua execução), os objetivos, fontes, planejamento, ação, avaliação e lições aprendidas. Segundo Mohebalizadeh e Ghazinoori (2020), as lições aprendidas podem ser apresentadas tanto em termos da aplicação prática, quanto da geração de conhecimento. Aqui, são apresentadas em termos práticos, relativos ao processo testado, isto é, como as razões ou constatações de cada ciclo.

Tabela 5 - Síntese da PA

Ciclos Passos	Pré-fase		Aplicação		
	Planejamento e preparação	Contextualização e delimitação do problema	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
Tempo de duração	12 meses	12 meses	3 meses	3 meses	8 meses
Objetivo	Definir o problema de pesquisa Definir unidade de análises (empresa que trouxe o problema à pesquisa) Diagnosticar o problema	Caracterizar os processos da cadeia reversa de REEE no Brasil Identificar os relacionamentos entre os elos desta cadeia	Aplicar uma campanha de coleta de REEE ao consumidor final: público acadêmico	Aplicar uma campanha de coleta de REEE ao consumidor final: público escolar infanto-juvenil	Aplicar uma campanha de coleta de REEE ao setor informal: oficinas de assistência eletrônica
Fontes	Revisão de literatura Documentos e visita à empresa Comunicação com membros da empresa	Revisão de literatura Documentos e visita à empresa Comunicação com membros da empresa	Aplicação prática à sociedade	Aplicação prática à sociedade	Aplicação prática à sociedade
Planejamento	Identificar as partes interessadas Estabelecer equipe da PA Levantar dados	Analisar dados coletados Desenhar a cadeia	Selecionar o público participante (amostra a ser analisada) Delimitar escopo de materiais aceitos Definir períodos e ponto de coleta Definir critérios de avaliação (meta)	Selecionar o público participante (amostra a ser analisada) Delimitar escopo de materiais aceitos Definir períodos e ponto de coleta Definir critérios de avaliação (meta) Definir parceria com empresa coletora	Selecionar o público participante (amostra a ser analisada) Delimitar escopo de materiais aceitos Definir períodos e ponto de coleta Definir critérios de avaliação (meta) Definir parceria com empresa coletora
Ação	Registrar dados coletados	Elaborar organograma da cadeia reversa de REEE no Brasil Identificar o principal elo a ser o foco das próximas ações	Divulgar a campanha Coletar e identificar o material Enviar o material à empresa para tratamento	Divulgar a campanha Coletar e identificar o material Acionar a empresa parceira para coleta	Divulgar a campanha Coletar e identificar o material Acionar a empresa parceira para coleta
Avaliação	Validação dos dados pela pesquisadora e pela equipe da PA	Validação dos processos mapeados pela equipe da PA	Avaliar a eficácia da campanha de acordo com a meta estabelecida Discutir resultados de acordo com a literatura	Avaliar a eficácia da campanha de acordo com a meta estabelecida Discutir resultados de acordo com a literatura	Avaliar a eficácia da campanha de acordo com a meta estabelecida Discutir resultados de acordo com a literatura
Lições aprendidas	Necessidade de identificar as causas e soluções para solucionar o problema (mapear a cadeia)	A importância do consumidor final na cadeia As estratégias para coleta de REEE devem envolver o consumidor final e elos próximos a ele	Campanhas de coleta aplicadas ao público de alto nível de escolaridade tendem a atingir sucesso	Campanhas de coleta aplicadas ao público escolar infanto-juvenil tendem a atingir sucesso	Falta de opções formais para o descarte de REEE da OAE informais Necessidade de fortalecer o elo entre setor formal-informal-consumidor final para futuras campanhas

5. ANÁLISES

A aplicação da PA permitiu conhecer a cadeia reversa, além de testar na prática iniciativas de coleta de REEE. Através dos resultados foi possível identificar algumas conexões entre os elos que não foram anteriormente notadas na caracterização inicial da cadeia, incluindo a inexistência de relacionamentos cruciais entre alguns deles. Isto permitirá o desenho de um mapa da cadeia mais completo, incluindo um mapeamento através da ferramenta BPMN (*Business Process Model and Notation*).

A partir dos resultados, também será possível realizar análises qualitativas de cada iniciativa, como uma análise SWOT e matrizes de oportunidade. Ainda, será possível ilustrar cenários e gerar projeções sobre os potenciais volumes de coleta de cada amostra através de simulação computacional.

Assim, estas análises permitirão identificar os potenciais quantitativos e qualitativos de cada iniciativa testada, bem como identificar a cadeia como um todo, o que será demonstrado neste Capítulo. Deste modo, as empresas do setor formal podem visualizar seu atual posicionamento na cadeia, para então definir novas estratégias para captação de REEE.

5.1 Mapeamento da Cadeia Reversa de REEE

Do ponto de vista reverso, foram analisados através das iniciativas os elos da cadeia de REEE relacionados aos três setores: a indústria, e os setores formal e informal de LR e reciclagem. Dentre eles foi possível identificar na prática a relação entre consumidor final e o fabricante (HP), gerenciada por uma empresa de reciclagem de resíduos (ST); a relação entre o consumidor final e empresas de LR de resíduos (público acadêmico e escolar e AGIT); empresas de LR e de tratamento de resíduos (AGIT e GM&C). E, além destes, também foi possível identificar relacionamentos entre outros elos: oficinas de assistência técnica não autorizadas e CMR; e oficinas de assistência técnica não autorizadas e empresas de LR de resíduos (OAE e AGIT).

A Figura 24, a seguir, exhibe novamente a cadeia reversa de REEE, desmembrando o elo do consumidor final entre o público em geral e os públicos estudados nesta pesquisa. As setas em vermelho demonstram os outros relacionamentos identificados na prática e o fluxo das iniciativas entre os setores.

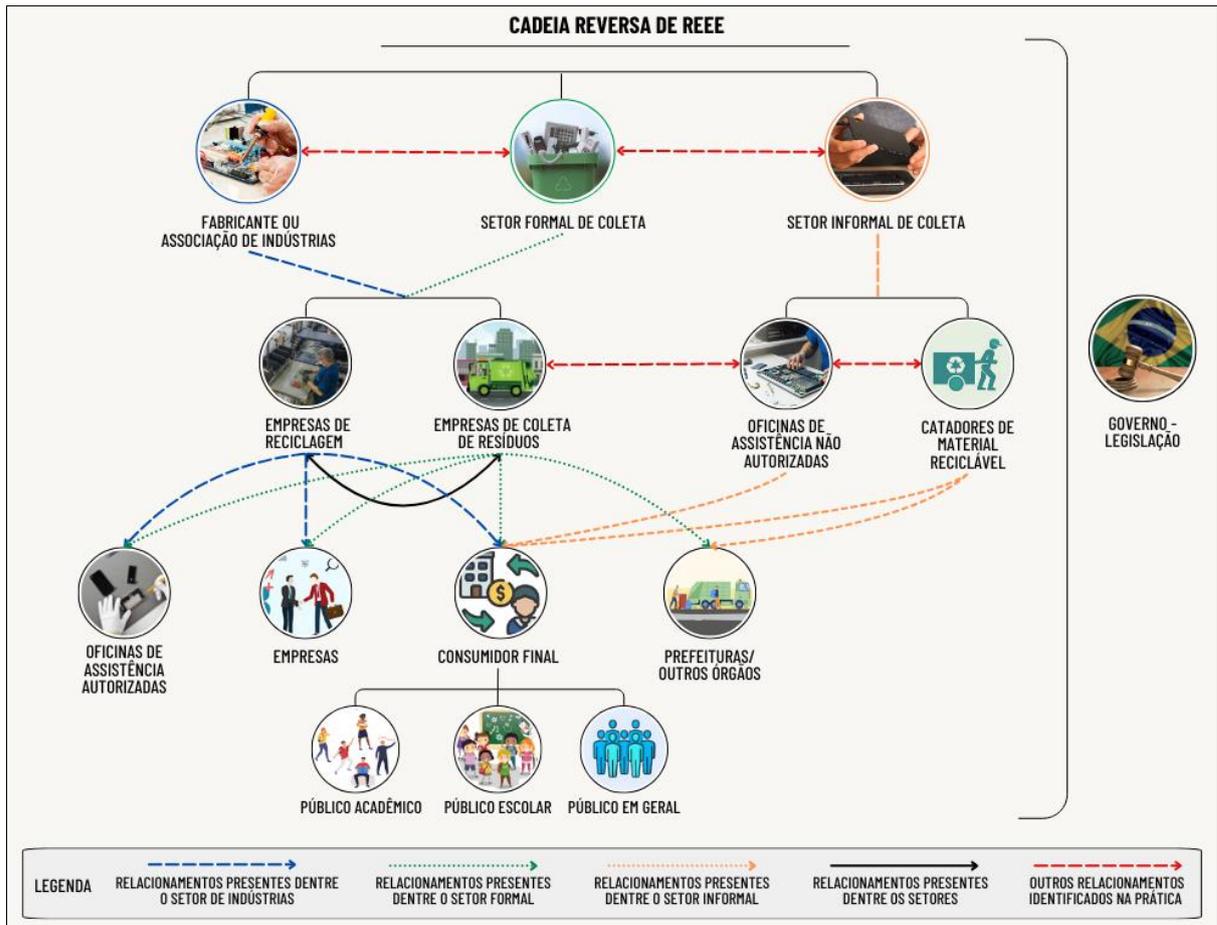


Figura 24 - Cadeia reversa de REEE incluindo os relacionamentos identificados

A partir dessa figura, e de acordo com as análises entre teoria e prática realizadas por este trabalho, é possível levantar um conjunto das iniciativas mais importantes que contemplam toda a cadeia, como descreve a Tabela 6, a seguir. Salienta-se, novamente, através da Figura 24, o quanto os elos estão interligados, o que fica evidente através Tabela 6.

A Tabela 6 salienta as iniciativas provenientes da indústria, do setor formal (empresas de coleta e LR), do setor informal e do poder público. Entre as iniciativas da indústria e do setor formal, estão o oferecimento de serviços de LR/reciclagem e a quem devem ser aplicados, assim como os meios para fazê-lo; e o estabelecimento de parcerias entre as partes. As iniciativas do setor informal compreendem as parcerias que devem ser estabelecidas para a coleta de REEE. As iniciativas do poder público empreendem fazer cumprir a lei, apoiar e atuar em colaboração com os outros setores.

Tabela 6 - Conjunto das iniciativas da cadeia reversa para coleta de REEE

Iniciativas		Via:	
Iniciativas da indústria (fabricante)	Oferecer serviços de LR ao consumidor final	Coleta a domicílio	
		PEVs	
	Oferecer serviços de LR a empresas geradoras de REEE	Campanhas de coleta/campanhas de devolução programadas	
		Coleta local	
Fixar parcerias com empresas LR e/ou de reciclagem	Coleta de seus próprios resíduos e outros		
Coletar material de oficinas de assistência autorizadas	Coleta local ou através de empresas parceiras		
Iniciativas do setor formal	Oferecer serviços de LR de resíduos	Consumidor final	PEVs
			Campanhas de coleta Público acadêmico e escolar
		Parcerias com empresas geradoras de REEE	
	Oferecer serviços de reciclagem/tratamento de REEE	Resíduos provenientes de LR própria ou de empresas de LR	
		Empresas fornecedoras de partes de resíduos já segregados	
		Fixar parcerias com a indústria para coleta/reciclagem de REEE	
Fixar parcerias com o setor informal	Oficinas de assistência não autorizadas		
Iniciativas do setor informal	Fixar parcerias com prefeituras ou outros órgãos	CMR	
	Fixar parcerias com o setor formal	Empresas de LR	
Empresas de reciclagem/tratamento			
Iniciativas do poder público	Fiscalizar, responsabilizar e fazer cumprir a legislação	Incentivos econômicos/fiscais e sanções	
	Disseminar informações quanto ao descarte correto de REEE	Colaboração com o setor privado (fabricante e setor formal de LR/reciclagem)	
	Apoiar o setor privado na inclusão dos CMR		

Para Soesanto *et al.* (2023), um mapa que permita visualizar com clareza os processos e os relacionamentos entre os atores é importante para as organizações que lidam com a gestão de REEE, para que possam encontrar seus pontos fortes e fracos e planejar melhorias para aumentar a eficiência e a eficácia de seus processos. Neste caso, Soesanto *et al.* (2023) utilizam a ferramenta BPMN para conduzir o mapeamento dos processos de coleta de REEE, considerando apenas a empresa coletora.

Com base nos relacionamentos entre os elos da cadeia reversa de REEE identificados nesta pesquisa, e com auxílio das iniciativas demonstradas na Tabela 10, é possível desenhar um mapa dos processos entre esses elos, englobando toda a cadeia. Para isso, utiliza-se também a ferramenta BPMN. O BPMN é um padrão para modelagem de processos de negócios que fornece uma notação gráfica para especificar processos baseado em fluxogramas tradicionais,

padronizando modelos e notações, fornecendo um meio simples de comunicar informações do processo a todos os interessados (OMG, 2011).

Assim, o BPMN do fluxo dos processos da cadeia reversa formal de REEE é demonstrado pela Figura 25, em seguida. As raias verticais (*lanes*) representam os atores da cadeia, aos quais cabem decisões e ações, separados em *pools*. A Figura 26, na sequência, legenda os símbolos utilizados neste mapeamento. Salienta-se que, nesse mapeamento, o fluxo tem início a partir do momento em que o EEE perde sua utilidade (e vira resíduo), seja proveniente do consumidor final ou de empresas geradoras via parceria B2B.

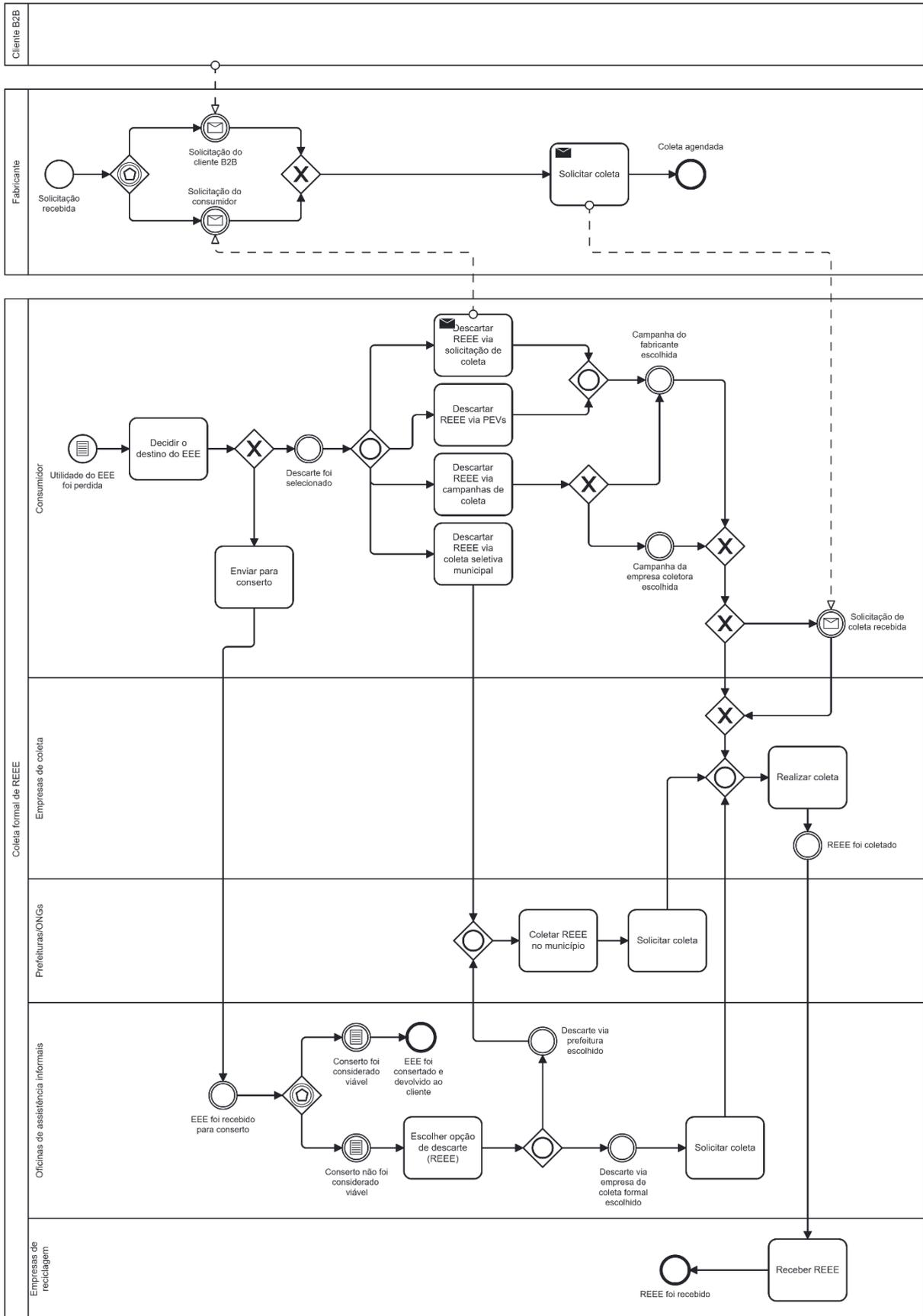


Figura 25 - BPMN da cadeia reversa de REEE

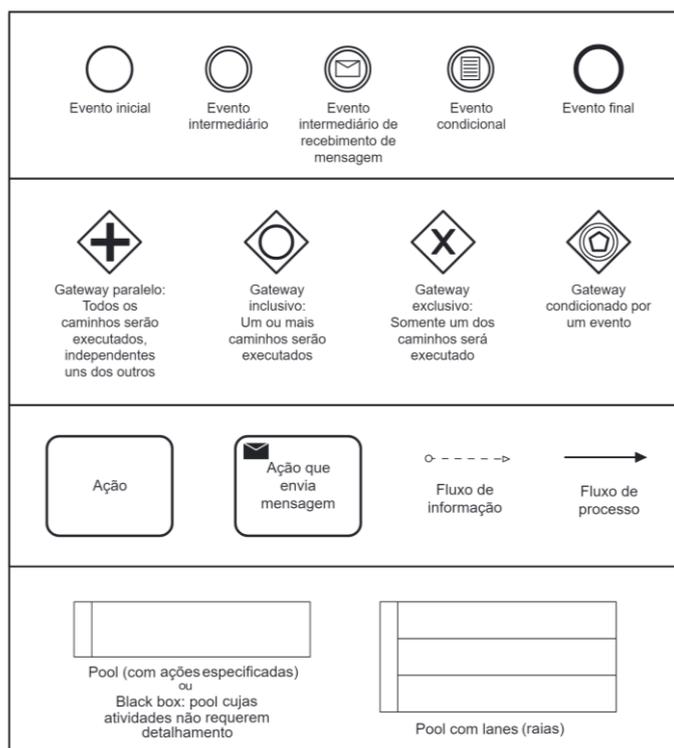


Figura 26 - Símbolos utilizados no BPMN apresentado

O mapa demonstra, portanto, que a indústria, ou o fabricante, coleta REEE através de canais oferecidos ao consumidor final, sejam eles coleta a domicílio; PEVs, ou campanhas de coleta periódicas pré-definidas; além de coletar material de empresas geradoras de REEE (B2B). Estas coletas são realizadas por empresas coletoras parceiras, que podem coletar REEE proveniente de todos os elos (consumidor final, empresas geradoras, fabricantes, prefeituras, OAE informais). As campanhas de coleta realizadas para o consumidor final podem ou não ter vínculo com o fabricante. Como exemplo, a Iniciativa 1, testada neste trabalho, incluiu o fabricante (HP) no escopo da campanha e na solicitação da coleta. As Iniciativas 2 e 3 contaram apenas com a empresa coletora.

Através do mapeamento, nota-se como alguns atores do setor informal podem estar incluídos na coleta formal (como as OAE e as coletas realizadas pela prefeitura). As ONGs citadas no título da raia “prefeituras/ONGs” correspondem às cooperativas de CMR, considerando-se aquelas que também coletam material através de coleta seletiva em alguns municípios. Portanto, iniciativas do setor formal para abranger o setor informal são essenciais para sua participação na cadeia. Após a coleta, os REEE são destinados às empresas recicladoras, o ponto final do mapeamento.

Por se tratar de processos externos aos fluxos da cadeia, o papel do poder público não foi incluído neste mapeamento. Porém, é preciso considerá-lo na gestão dos REEE. Ao poder

público cabe a fiscalização e aplicação da legislação existente, bem como a responsabilização de cada ente, principalmente os fabricantes e geradores de REEE. Isto pode ser feito através de incentivos fiscais e econômicos, e através de sanções. O poder público deve também disseminar e apoiar o setor privado na divulgação de informações aos consumidores sobre o descarte correto de REEE e as formas de fazê-lo. Deste modo, os consumidores precisam ser incentivados a participar da cadeia.

Em síntese, através deste mapeamento, cada ente do setor pode identificar seu papel e suas iniciativas correspondentes, para que possa identificar os potenciais pontos em que precisa atuar ou modificar suas estratégias para a melhor gestão dos REEE.

5.2 Análise de Oportunidades

Dentro de um conjunto de métodos disponíveis para melhorar o processo de desenvolvimento de estratégia, a análise SWOT é a mais utilizada. Da sigla em inglês, SWOT (*strengths, weaknesses, opportunities, threats*), a ferramenta examina os pontos fortes e fracos, e as oportunidades e ameaças. Classificar a importância de diferentes fatores dentro de uma categoria SWOT, bem como classificar opções estratégicas alternativas, é opcional e pode ser feito tanto de forma qualitativa como quantitativa. Uma maneira simples é através do julgamento do analisador envolvido (Rauch *et al.* 2015).

Cada ponto da matriz foi levantado com base nas evidências da literatura que suportam esta pesquisa, e nos resultados obtidos através das iniciativas testadas, e respondido pela autora sob a ótica do objetivo empresarial de se aumentar os volumes de REEE coletados. A Tabela 7 identifica esses pontos em relação a cada iniciativa estudada.

Os pontos fortes dizem respeito ao grau de engajamento do público, considerado neste caso pelo fator escolaridade (Cordova-Pizarro *et al.*, 2020; Nowakowski, 2019; Praet *et al.*, 2023) e pelo potencial de geração de resíduos da amostra, no caso das OAE (Moura *et al.*, 2017).

Como oportunidades, destaca-se a realização de campanhas futuras ou periódicas de coleta, que são bem aceitas pelos públicos educacionais infantil e superior (Cordova-Pizarro *et al.* 2020; Nowakowski, 2019; Praet *et al.*, 2023). Bem como campanhas de conscientização oferecidas pelo setor privado, demandadas pelos consumidores (Islam *et al.*, 2020).

Entre os pontos fracos, observou-se na prática a dificuldade de limitar os tipos de REEE coletados (uma questão definida pelo programa da ST analisado). Os consumidores tem dificuldade e consideram confusa a especificação de itens delimitados, como notado por Islam *et al.* (2020).

Entre as ameaças estão a provável dificuldade do consumidor em levar seus REEE por meios próprios até o ponto de coleta, ponto mencionado pelo relatório *Green Eletron* (2021), por

Guo e Zhong (2023), Islam *et al.* (2021), Kostha *et al.* (2024).

Há também a participação do setor de reciclagem informal (CRM) quanto aos resíduos das OAE como ameaça presente nos países em desenvolvimento (Baldé *et al.*, 2024; Cheshmeh *et al.*, 2023; Dias *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2017;). Esta “ameaça” diz respeito a informalidade e insegurança existentes em seus processos informais, e à alta taxa de REEE que circulam nesse meio, constatado nesta pesquisa (65%) e confirmado por Baldé *et al.* (2024).

Tabela 7 - Análise SWOT das iniciativas estudadas

Iniciativa 1 <i>Coleta de REEE aplicada ao público acadêmico</i>	Pontos fortes Alto engajamento do público	Oportunidades Realização de coletas periódicas Boa receptividade para futuras campanhas de conscientização e coletas
	Pontos fracos Não é possível limitar totalmente os tipos de REEE que serão coletados	Ameaças Probabilidade de baixa participação do consumidor por dificuldade em levar por meios próprios os REEE até o ponto de coleta
Iniciativa 2 <i>Coleta de REEE aplicada ao público escolar infantil-juvenil privado</i>	Pontos fortes Alto engajamento do público	Oportunidades Realização de campanhas periódicas Boa receptividade para futuras campanhas de conscientização e coletas
	Pontos fracos Não é possível limitar totalmente os tipos de REEE que serão coletados Questões burocráticas que envolvem o ensino infantil privado (acesso, contato, divulgação, supervisão etc.)	Ameaças Probabilidade de baixa participação do consumidor por dificuldade em levar os REEE ao ponto de coleta por conta própria
Iniciativa 3 <i>Coleta de REEE aplicada às OAE</i>	Pontos fortes Alto potencial de geração de REEE, inclusive em peso (incluindo materiais de grande volume)	Oportunidades Realização de coletas periódicas programadas
	Pontos fracos Dificuldade de contato (que necessita ser individual a cada unidade) Dificuldades técnicas para coleta (agendar horário, separar material, carregar material de grandes dimensões)	Ameaças Alta participação dos CMR Facilidade do “descarte” dos resíduos pelas OAE dentro do próprio setor informal

Ao investigar os pontos fortes, como o alto potencial de engajamento do público e o alto potencial de geração de REEE, as partes interessadas podem capitalizar as vantagens existentes e planejar estratégias de campanhas. Campanhas de conscientização comprovadamente aumentam a participação do consumidor em coletas futuras (Guo e Zhong, 2023; Kuah e Wang,

2020), as quais devem ser promovidas pelos setores público e privado. Assim, o potencial das amostras pode ser mais bem explorado.

Quanto aos pontos fracos, Islam *et al.* (2020) salientam que pontos de coleta que aceitem um número maior de tipos de resíduos eletrônicos tendem a ter maior taxa de participação. Por isso, para sanar esta questão, estes mesmos autores propõem como solução para as empresas considerar um maior escopo de materiais aceitos em cada ponto, e, em seguida, trabalhar a logística de distribuição (ainda que internamente), o que garantiria a conveniência do consumidor e melhor recuperação de recursos (Islam *et al.*, 2020).

As questões burocráticas/técnicas sobre o contato com as partes (escolas e OAE) e as coletas em si são inerentes à gestão dos REEE, e fazem parte de todo processo. Uma empresa formal possui atributos e credibilidade para contatar os responsáveis pelas escolas e definir em conjunto a estruturação de campanhas de conscientização e coleta que atendam a ambos, demonstrando benefícios e segurança na execução da campanha.

Quanto as OAE, também é necessário estruturar meios para contatá-las. Campanhas publicitárias via mídias sociais podem colaborar para sua atratividade e sanar esta dificuldade. Ainda, uma vez haja a primeira coleta, o caminho para coletas periódicas fica previamente estabelecido entre as partes. Quanto à necessidade de maior estrutura para coleta de resíduos das OAE, um ponto fraco em relação às coletas de REEE individuais, este não é um impedimento para sua realização, pelo contrário, pois deve-se levar em conta seu potencial de geração/coleta, o que pode ser feito a partir de um planejamento estratégico e logístico para sanar esta dificuldade técnica.

As ameaças relativas ao traslado do consumidor até o ponto de coleta, podem ser mitigadas através da instalação de mais de um ponto, em locais estratégicos previamente estudados. A divulgação desses pontos pode ser realizada através das campanhas de conscientização, que são pontos fortes para atrair maior participação.

Em relação à participação dos CMR, uma possível solução é inclui-los na cadeia formal, através de um elo permanente com as empresas recicladoras, que auxiliasse na revenda de seu material coletado, por exemplo. Ainda, existe a ameaça da facilidade de as OAE descartarem seus resíduos pelas OAE dentro do próprio setor informal por não encontrarem opções formais. Esta ameaça pode ser transformada em oportunidade, uma vez que a quantidade de REEE coletada tem o potencial de ser alavancada se as OAE destinarem seus REEE diretamente às empresas coletoras/recicladoras. Portanto, a criação desta ponte entre os setores é crucial para suprir esta ameaça e oportunizar seu potencial de coleta.

Matrizes de oportunidade também foram utilizadas para identificar o grau de probabilidade de sucesso das iniciativas, considerando-se em uma delas o potencial de participação da amostra (engajamento) em relação às dificuldades para sua execução, como a facilidade de contato e acesso à amostra; e em outra o potencial de geração de resíduos em relação à facilidade de coleta (como coleta de pequenos REEE ou daqueles de grande porte, que requerem pessoal, equipamentos de apoio, veículos grandes etc.). Assim, as Figuras 27 e 28 situam cada uma das iniciativas quanto aos referidos critérios:



Figura 27 - Matriz de oportunidade participação X acesso

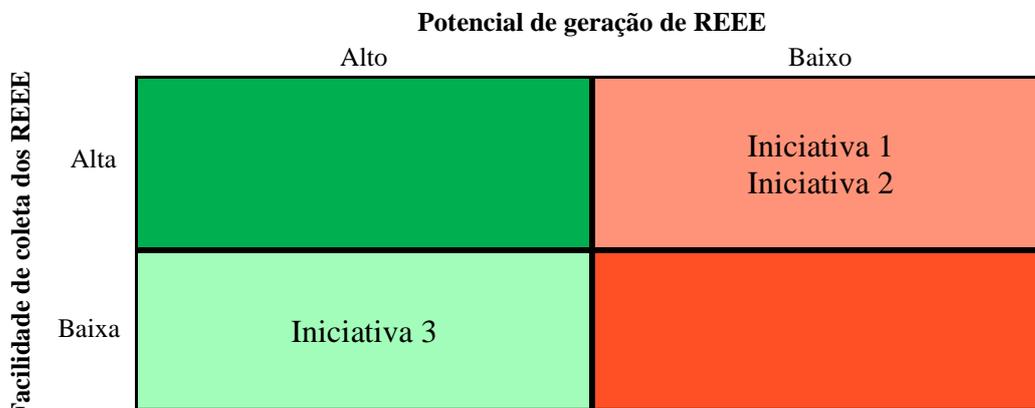


Figura 28 - Matriz de oportunidade geração X coleta

Portanto, percebe-se que as Iniciativas 1 e 2 têm alto potencial de engajamento e apresentam facilidade na coleta dos REEE (materiais de pequeno porte). A Iniciativa 1 tem mais facilidade de acesso por se tratar de um ambiente público com abertura ao contato com empresas e outros órgãos. A Iniciativa 2, no entanto, tem baixa facilidade de acesso, por se tratar de ambiente escolar infantil e privado, ao qual a burocracia é inerente.

A Iniciativa 3 também apresenta baixa facilidade de contato, uma vez que é necessário contato individual com cada uma das oficinas. Também apresenta baixa facilidade de coleta de REEE, pois incluem-se aqui em algumas oficinas a presença de itens de grandes dimensões e

volume. No entanto, é a iniciativa que mais tem potencial de geração de REEE. Esses fatores devem ser levados em conta para a tomada de decisão estratégica.

Como mencionado na análise SWOT, é possível suprir a dificuldade de contato com os públicos estudados (Iniciativas 2 e 3) e a dificuldade de coleta de grandes volumes (Iniciativa 3), através de soluções estratégicas e logísticas. Para aumentar ainda mais o engajamento da população, podem ser realizadas campanhas de conscientização, e estabelecer pontos de coleta que aceitem tipos variados de REEE, localizados em locais estratégicos e bem divulgados. E para aumentar o engajamento das OAE, é necessário criar um vínculo direto com elas, para aproveitar seu potencial de geração.

5.3 Geração de Cenários e Projeções

Com o intuito de se observar o impacto de diferentes variáveis no comportamento do sistema estudado, isto é, o funcionamento da cadeia e suas respostas às coletas executadas, utilizou-se o modelo de simulação computacional. A ferramenta foi utilizada para variar valores como quantidade de volumes de resíduos coletados, tempo de coleta e tamanho da amostra para observar seus resultados e gerar projeções. Os resultados da PA foram analisados sob bases de dados diferentes, sendo consideradas pessoas físicas (consumidor final direto) no caso dos públicos acadêmico e escolar, e unidades de concentração de REEE, no caso das OAE. Por esta razão, visando-se gerar e analisar cenários e projeções sob os mesmos parâmetros, foi utilizada a simulação computacional.

A simulação reproduz uma operação ou um sistema real em um intervalo de tempo, possibilitando projetar comportamentos e avaliar estratégias (Gennaro *et al.*, 2017; Pereira *et al.*, 2018), através de métodos estatísticos para combinar as probabilidades de cenários esperados ocorrerem (Felipe e Leismann, 2019). Neste caso, o sistema estudado envolve variáveis estocásticas, isto é, a presença de elementos aleatórios, como a quantidade de volume coletado. Por isso, utiliza-se a o modelo de Simulação a Eventos Discretos, que lida com este tipo de dados através de um *software*. O *software* utilizado foi o *FlexSim*®, que oferece uma ampla biblioteca de objetos e operações, além de ser gratuito e fácil de usar (Syahputri *et al.*, 2021).

Dessa forma, as campanhas de coleta de REEE aplicadas às três amostras (público universitário; o público de escola infanto-juvenil; e OAE) foram retratados através da simulação para se conhecer informações não obtidas através da aplicação da PA, como as quantidades de pessoas efetivamente participantes, ou de material total coletado. E, ainda, para gerar projeções acerca do potencial de coletas futuras.

Dado o caráter das campanhas, os dados de entrada do modelo, como os pesos dos REEE coletados e a quantidade coletada por dia/momento do dia, são variáveis. Portanto, é preciso se considerar as características de incerteza no processo, que se deve às variabilidades inerentes ao sistema. Por isso, assume-se que a variabilidade dos parâmetros de entrada seguirá uma distribuição estatística. Essa abordagem mais realista permitirá capturar as nuances dinâmicas da campanha, levando em conta as flutuações nos valores dos pesos dos equipamentos e na quantidade de participantes ao longo do tempo. Os modelos então serão criados e validados, isto é, verificados em relação à sua proximidade com a realidade. Em seguida, serão propostos cenários, como descrito no próximo subitem.

5.3.1. Modelo da Iniciativa 1

Para a realização do modelo de simulação da campanha realizada no ambiente acadêmico (UNIFEI), utilizou-se uma distribuição uniforme para os pesos dos REEE coletados. Esta escolha foi baseada no conhecimento prévio dos valores dos pesos máximo e mínimo dos resíduos aceitos no escopo da campanha, para os quais foram atribuídas probabilidades iguais de chegada dentro de um intervalo, definido entre o mínimo de 0,14kg (considerando-se cabos), e máximo de 10kg (considerando-se um *desktop* completo).

O período do modelo foi definido pelo tempo da campanha real: duas semanas (10 dias úteis). No que diz respeito à quantidade de pessoas que entregaram seus resíduos e aos horários associados às entregas, também se fez necessário utilizar uma distribuição uniforme. Entretanto, o *software* apenas permitia a opção de inserir a quantidade de entregas em determinados horários. Portanto, optou-se por utilizar o *software* Excel® para gerar valores aleatórios inteiros por meio da distribuição uniforme para estas entradas, de modo que no período da manhã considerou-se um mínimo de zero e máximo de quatro pessoas; e à tarde zero e cinco pessoas. Destaca-se que o valor máximo aumenta no período da tarde devido à presença de maior número de alunos em aula neste período. Então, os valores gerados pelo Excel® foram inseridos no *FlexSim*® dentro do intervalo de chegada, para o qual foi aplicado o intervalo de variabilidade constante.

Assim, o modelo foi executado e validado, uma vez que obteve o valor de 198kg, bem próximo da realidade (199kg). O modelo também representou que houve 38 entradas, isto é, 38 pessoas participaram da campanha entregando seus resíduos (o que, de fato, não foi computado no sistema real, apenas o volume arrecadado). A Figura 29 demonstra o modelo real gerado pelo *software*, em que os objetos foram simplificados para fins de melhor visualização dos resultados numéricos.

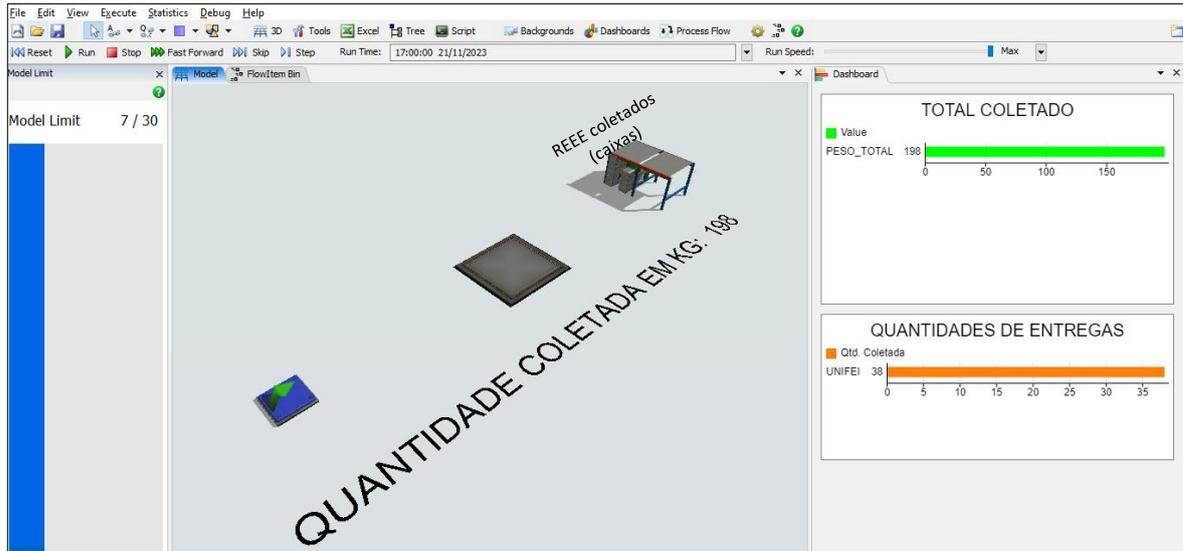


Figura 29 - Modelo real da Iniciativa 1, gerado pelo Flexsim®

Então, com o objetivo de obter uma previsão mais abrangente para esta coleta e, consequentemente, uma maior quantidade de REEE coletados, foi conduzida uma simulação no FlexSim® pelo período de 28 dias. No decorrer desse processo, foram ajustadas as quantidades máximas de pessoas participantes, mantendo-se a mesma distribuição uniforme para modelar este cenário (manhã: entre zero e sete; tarde: entre zero e oito). Para este cenário, o modelo de simulação obteve o valor de 1008kg. Para isso, seria necessária a participação de 204 pessoas, como demonstra a Figura 30.

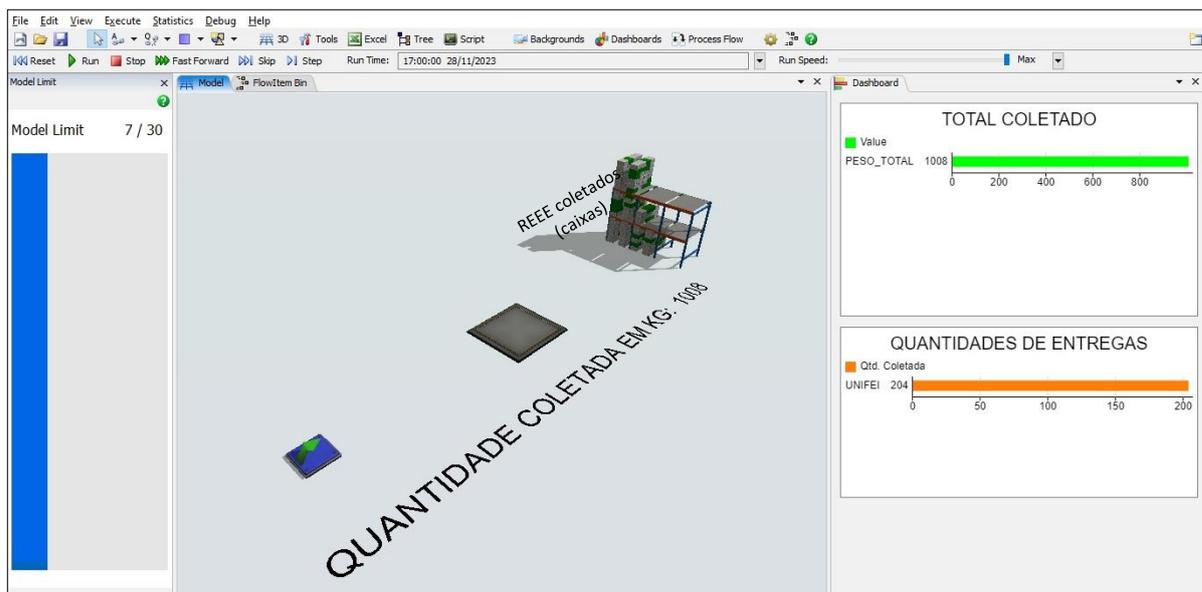


Figura 30 - Modelo de projeção da Iniciativa 1, gerado pelo Flexsim®

Por meio da análise deste cenário, considerando-se a amostra acadêmica estudada e o número provável de participantes do cenário real (38 entre 9000), conclui-se que para alcançar a

quantidade de cerca 1008kg, em uma campanha pontual aberta por um mês, seria necessário atingir uma amostra de 48315 pessoas do público acadêmico (para se atingir 204 entregas), como mostra a equação seguinte. Este valor é equivalente a cinco universidades deste mesmo porte.

$$\text{População a ser alcançada} = \frac{(\text{n}^\circ \text{ de entradas simulado} \times \text{população real alcançada})}{\text{n}^\circ \text{ de entradas real}}$$

$$\text{População a ser alcançada} = \frac{(204 \times 9000)}{38} = 48315 \text{ pessoas}$$

5.3.2 Modelo da Iniciativa 2

Para a realização do modelo de simulação da campanha no ambiente escolar infanto-juvenil privado, manteve-se praticamente os mesmos parâmetros do modelo anterior, utilizando-se uma distribuição uniforme para os pesos dos REEE entre os intervalos mínimo de 0,14kg e máximo de 9,8kg. Também foram gerados valores aleatórios (entre zero e três) no Excel® para a quantidade de pessoas participantes nos períodos de manhã e tarde, durante os 21 dias úteis da campanha. Neste caso, por se tratar de uma escola de ensino fundamental e médio, considerou-se que há o mesmo número de alunos durante o período da manhã e da tarde.

Assim, o modelo de simulação obteve o valor de 208kg, próximo da realidade (210kg), representando que houve 43 entregas (ou pessoas participantes), como demonstra a Figura 31.

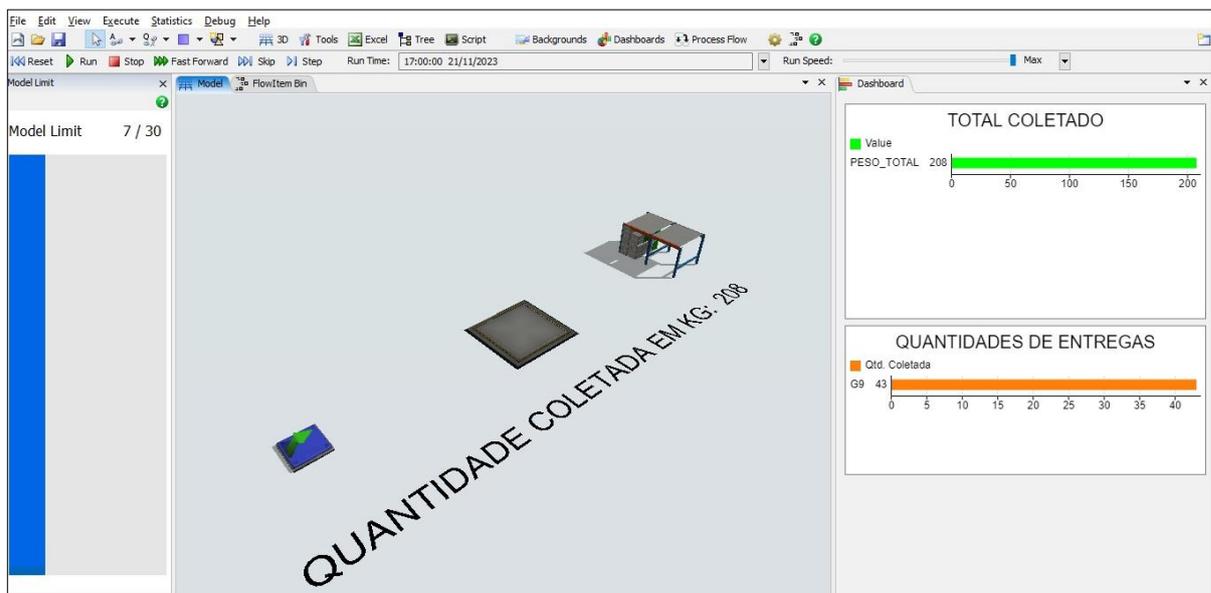


Figura 31 - Modelo real da Iniciativa 2, gerado pelo Flexsim®

Com o intuito de obter uma previsão, realizou-se uma simulação deste modelo para o período de 35 dias. Manteve-se a mesma distribuição uniforme, modificando-se as quantidades

de pessoas participantes a cada período do dia (mínimo: 0 e máximo: 7). Portanto, o modelo de simulação de previsão obteve o valor de 1007kg para o período de 35 dias, considerando 207 entregas (Figura 32).

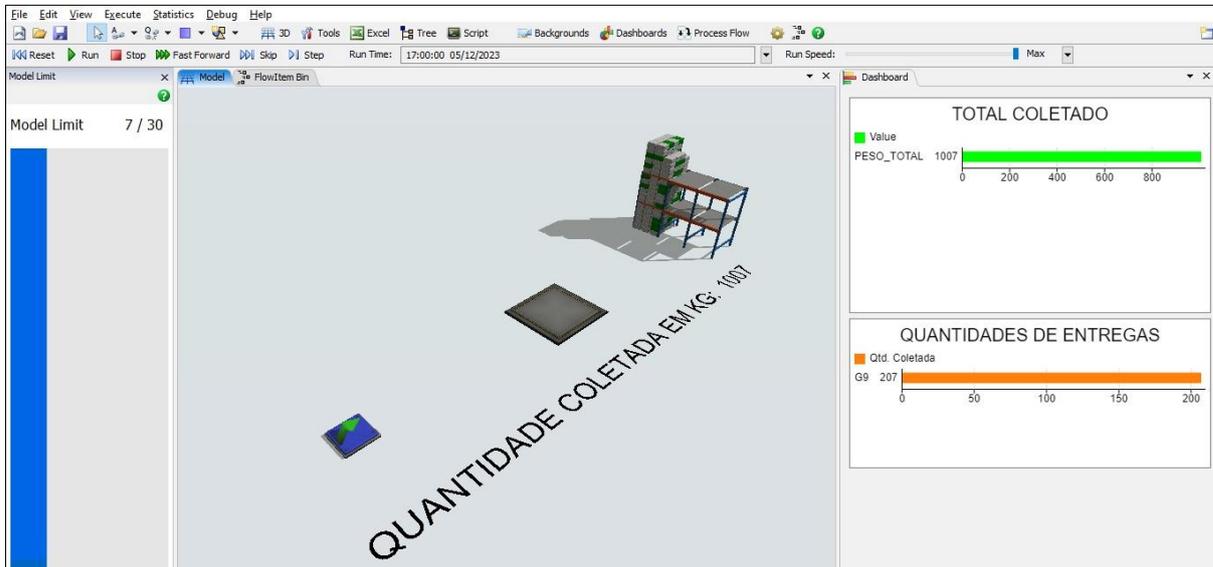


Figura 32 - Modelo de previsão da Iniciativa 2, gerado pelo Flexsim®

Desta forma, considerando-se a amostra real (640 pessoas, 43 entregas), para se atingir cerca de 1007kg seria preciso envolver uma amostra de 3080 pessoas nas escolas, como mostra a equação seguinte, o que seria equivalente a cerca de cinco escolas deste mesmo porte.

$$\text{População a ser alcançada} = \frac{(n^{\circ} \text{ de entradas simulado} \times \text{população real alcançada})}{n^{\circ} \text{ de entradas real}}$$

$$\text{População a ser alcançada} = \frac{(207 \times 640)}{43} = 3800 \text{ pessoas}$$

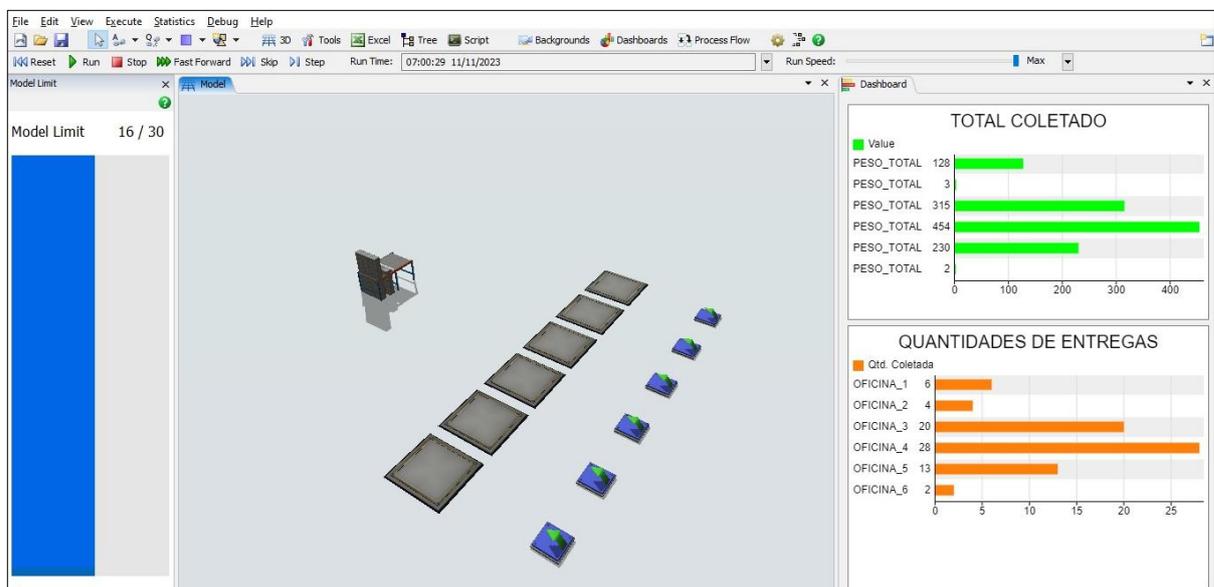
5.3.3 Modelo da Iniciativa 3

Para a geração do modelo da coleta das OAE de SGS, considerou-se apenas o parâmetro de variabilidade nos pesos dos REEE coletados, também gerados por distribuição uniforme. Os pesos foram distribuídos entre os limites definidos na Tabela 8, referentes a cada OAE (oficinas 1-6):

Tabela 8 - Parâmetros do modelo OAE SGS

Oficina 1 (eletrodomésticos):	
Mín.: 0,2kg (cabos)	Máx.: 31kg (TVs CRT)
Oficina 2 (computadores e celulares):	
Mín.: 0,2kg (cabos/celulares)	Máx.: 1,8kg (notebooks)
Oficina 3 (eletrodomésticos):	
Mín.: 0,2kg (cabos)	Máx.: 32kg (TVs CRT)
Oficina 4 (eletrodomésticos):	
Mín.: 0,2kg (cabos)	Máx.: 32kg (TVs CRT)
Oficina 5 (eletrodomésticos):	
Mín.: 0,2kg (cabos)	Máx.: 39,5kg (máquina de lavar)
Oficina 6 (computadores e celulares):	
Mín.: 0,2kg (cabos)	Máx.: 1,6kg (notebooks)

Assim, o modelo simulado demonstrou-se validado pelos seguintes valores para cada OAE: Oficina 1: 129kg (real: 130kg); Oficina 2: 3kg (igual ao real); Oficina 3: 320kg (real: 321kg); Oficina 4: 449kg (real: 451kg); Oficina 5: 228kg (igual ao real); Oficina 6: 2kg (igual ao real). A Figura 33 apresenta este modelo. Neste caso, as entradas (quantidades de entregas) não caracterizam pessoas participantes, e sim quantidades de REEE coletadas em cada OAE. Sua soma resulta em 73 REEE coletados.

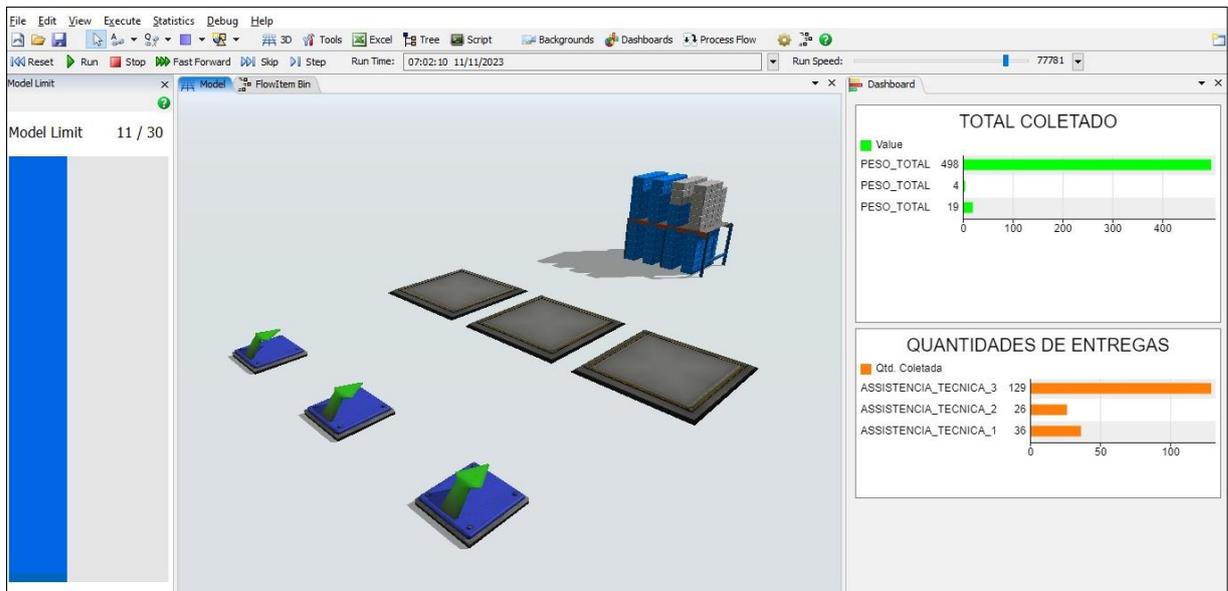
**Figura 33 - Modelo real da Iniciativa 3 em SGS, gerado pelo Flexsim®**

Para as OAE de Itajubá, seguiu-se o mesmo modelo para a coleta realizada em SGS, de modo que os parâmetros de peso coletado também foram gerados por distribuição uniforme, limitados como mostra a Tabela 9:

Tabela 9 - Parâmetros do modelo OAE Itajubá

Oficina 1 (eletrodomésticos):	
Mín.: 0,2kg (cabos)	Máx.: 25kg (TVs CRT)
Oficina 2 (celulares):	
Mín.: 0,10kg (cabos)	Máx.: 0,2kg (carcaças de celular)
Oficina 3 (celulares):	
Mín.: 0,10kg (cabos)	Máx.: 0,2kg (carcaças de celular)

Assim, o modelo foi validado, demonstrando coletas próximas da realidade, como mostra a Figura 34 a seguir, sendo respectivamente 498kg na OAE de eletrodomésticos (500kg no cenário real), e 4kg e 19kg nas OAE de celulares (4kg e 20kg nos cenários reais). Novamente, as entregas (quantidades de entregas) correspondem às quantidades de REEE coletadas em cada OAE, sendo 129 itens na OAE de eletrodomésticos; 26 e 36 itens nas OAE de celulares (Fig. 34), somando 191 REEE coletados.

**Figura 34 - Modelo real da Iniciativa 3 em Itajubá, gerado pelo Flexsim®**

Para gerar projeções do cenário das OAE, utilizou-se como referência os dados das duas coletas, considerando-se os pesos mínimos e máximos coletados em cada OAE, que foram agrupados de acordo com a categoria da OAE (entre celulares/notebooks e eletrodomésticos em geral), e o tempo gerado pelo *software* para se atingir estes valores. Assim, o valor mostrado na Figura 35 como “OFICINA_Y” corresponde à média dos valores do agrupamento das OAE de celulares/notebooks (de 0,15kg a 3,8kg). “OFICINA_X” corresponde à média do agrupamento das oficinas de eletrodomésticos em geral (de 0,2kg a 32kg). Portanto, de acordo com a projeção, em uma campanha pontual, uma OAE de celulares/notebooks seria capaz de coletar 84kg, e uma OAE de eletrodomésticos 325kg.

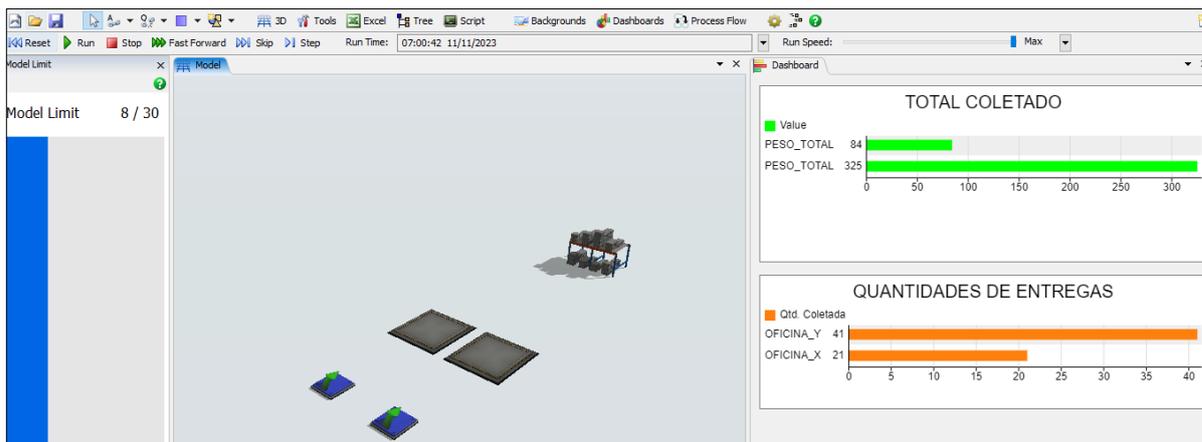


Figura 35 - Modelo de projeção para cada categoria de OAE, gerado pelo Flexsim®

Considerando-se três oficinas de cada tipo (seis ao todo), e triplicando-se também os tempos de entregas usado pelo *software* para os cálculos, seria possível coletar 263kg em OAE de celulares/notebooks, e 952kg em OAE de eletrodomésticos, como mostra a Figura 36, somando-se 1215kg. Esta soma corresponde a 187 unidades de REEE coletados.

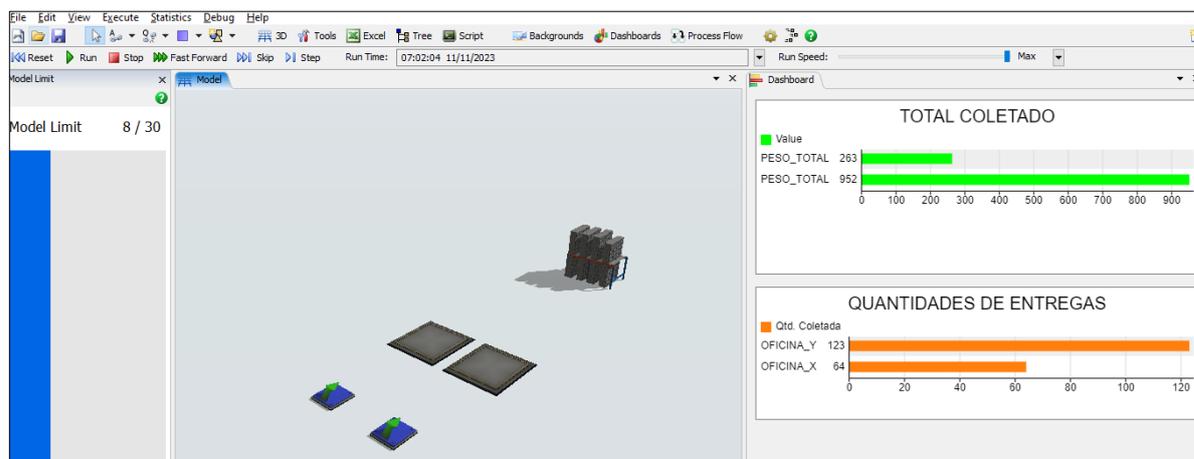


Figura 36 - Modelo de projeção para seis OAE, gerado pelo Flexsim®

Em síntese, a ferramenta de simulação permitiu modelar e projetar cenários com base nas iniciativas testadas pela PA, e levantar informações que não puderam ser obtidas na prática, como o número de pessoas participantes nas Iniciativas 1 e 2 e a quantidade de REEE coletados na Iniciativa 3. A partir desses resultados, será possível definir os potenciais de captação de cada amostra e a periodicidade ideal entre as campanhas.

5.4 Estimativa do Potencial de Captação

Para estimar os potenciais de captação, é preciso definir o intervalo entre as coletas para que esses valores potenciais possam ser alcançados na prática, de modo que a indústria possa se basear neles para definir suas estratégias de coleta.

Há autores que consideram o tempo de vida útil dos EEE e/ou o tempo médio que costumam ser descartados pelo consumidor para a geração de modelos sobre taxas de coleta (a exemplo de Islam e Huda 2019; Habib *et al.* 2023; Rajesh *et al.* 2022; Zhilyaev *et al.* 2021). No entanto, esta não é uma medida adequada para a definição de periodicidade entre campanhas de coleta de REEE, uma vez que nem todos os consumidores entregarão voluntariamente seus resíduos ao fim de sua vida útil, devido a questões culturais e hábitos já mencionados neste trabalho. Na falta de dados fiáveis na literatura sobre a periodicidade ideal de aplicação de campanhas ao consumidor final ou a OAE, utiliza-se aqui, para fins de comparação, dados do estudo de Guo e Zhong (2023), realizado na China, um país em desenvolvimento como o Brasil.

Guo e Zhong (2023) evidenciam que, em um ano, considerando a região metropolitana da capital chinesa, 110 consumidores participam na entrega voluntária de REEE aos canais formais de coleta, isto é, sem contar as campanhas de coleta. Em média mensal, portanto, são 9 participantes por mês. As iniciativas de campanhas pontuais do ambiente acadêmico e escolar infanto-juvenil realizadas por este trabalho obtiveram a participação média de 40 pessoas, de acordo com os cenários simulados. Isso significa que uma campanha aplicada a esses públicos tem o potencial de atrair quatro vezes mais participantes que a média dos canais formais existentes (PEVs, solicitação de coleta a domicílio etc.) para o período de um mês, comparando-se com os dados de Guo e Zhong (2023).

Considerando-se a projeção de coleta de cerca de 1ton relacionada às amostras do ambiente acadêmico e escolar, para se alcançar a participação média de 205 consumidores em cada nicho, pode-se estimar ainda, comparando-se os dados, que a periodicidade ideal para se aplicar campanhas a cada uma dessas amostras é de aproximadamente cinco meses. Considerando-se o período letivo, pode-se concluir que as campanhas sejam aplicadas a esse público duas vezes por ano (para um mínimo de cinco universidades e cinco escolas privadas).

De acordo com dados de Guo e Zhong (2023), também é possível estimar que o setor de assistência e revenda de peças, comparável à categoria das OAE, teve uma taxa de captação de 14% do total coletado em um ano, o que corresponde a 1076 unidades de REEE por mês (Guo, Zhong, 2023).

A coleta das OAE de SGS teve duração de seis meses, coletando no total 75 itens, o que equivale a 12 itens/mês por OAE. Em Itajubá, obteve-se em média 63 itens por OAE em um

mês. A média das duas cidades corresponde a 37 itens/OAE/mês. O cenário projetado para a coleta de 1ton de REEE levantou a participação de seis OAE, isto é, um total de 222 itens/mês (37 x 6). Portanto, para se alcançar o valor médio estimado por Guo e Zhong (2023), é preciso que haja uma periodicidade mínima entre as campanhas de aproximadamente cinco meses.

Salienta-se que a aplicação das campanhas dentro da periodicidade estimada não necessariamente conta com a participação das mesmas pessoas a cada período, a depender do tipo de resíduo gerado. O número de participantes a serem alcançados em relação à cada amostra, por campanha, permite esta abrangência. A Tabela 10 sintetiza esses resultados.

Tabela 10 - Síntese dos resultados em valores numéricos

Público/elo	Volume de coleta	Quantidade a ser alcançada por público	Periodicidade da campanha	Taxa de captação
Público universitário	1008kg	5 universidades (9000 pessoas cada)	6 meses	0,2%
Público escolar infanto-juvenil	1007kg	5 escolas (640 alunos cada)	6 meses	2,8%
OAE eletrodomésticos	925kg	6 oficinas (três de cada categoria)	5 meses	0,8%
OAE celulares/notebooks	263kg			

Para ilustrar estes resultados, considere-se uma cidade de grande porte, como a sede da empresa estudada (Sorocaba-SP), que possui 680mil habitantes. A cidade gera por ano 7752t de REEE (população X taxa de geração média).

Há na cidade cinco universidades de médio porte (média de 9000 alunos cada), o que possibilitaria a coleta de 1t de REEE a cada seis meses, ou 2t em um ano. A cidade também possui 92 escolas privadas de ensino fundamental a médio. Considerando-se que sejam de porte médio, e que seja possível arrecadar 1ton de REEE em campanhas aplicadas a cinco escolas, é possível estimar que campanhas aplicadas a todas as escolas da cidade tenham o potencial de captar cerca de 18t de REEE a cada seis meses, ou 36t por ano.

Considerando-se também que haja em média uma OAE para cada 2100 habitantes, a cidade de Sorocaba pode contar com 323 OAE, dentre as duas categorias classificadas (eletrodomésticos em geral e celulares). Supondo-se que em seis oficinas seja possível coletar 1,2ton de REEE, a cidade tem o potencial de captação de 64t de REEE a cada cinco meses nas OAE, 140t por ano.

Tem-se que a taxa de captação atual de resíduos da empresa ST via HP é de 0,03%/ano, considerando apenas REEE advindos do consumidor final (e não aqueles provenientes de empresas de LR terceirizadas ou unidades geradoras de REEE, como as OAE). Portanto, é possível estimar que a união das iniciativas que envolvem diretamente o consumidor final, isto é, Iniciativas 1 e 2 (que somam 38t), captaria na cidade ilustrativa 0,5% dos resíduos gerados

em um ano, como mostra a equação abaixo. Este valor corresponde a 16 vezes a taxa atual da empresa a nível nacional, considerando-se apenas estas duas frentes. Fica evidente o potencial inexplorado da participação do consumidor final. A potencial taxa de coleta para a cidade ilustrativa (Iniciativas 1 e 2) foi calculada da seguinte forma:

$$\text{Taxa de coleta} = \frac{\text{total coletado (kg)}}{\text{total gerado (kg)}} = \frac{38t}{7752t} \times 100 = 0,5\%$$

É importante se fazer considerações incluindo também as análises da matriz SWOT e das matrizes de oportunidade (subitem 5.1 deste Capítulo). Nos cenários de captação estimados na cidade ilustrativa, percebe-se que a Iniciativa 1 tem o menor potencial de coleta, devido ao baixo potencial de geração (em volume, por se tratar de eletrodomésticos pessoais e de pequeno porte), mesmo contando com alto engajamento e facilidade de acesso e de coleta dos REEE. No entanto, esta é uma amostra que tende a receber bem campanhas de conscientização prévias a coleta, o que pode alavancar essas taxas.

Apesar de seu potencial de geração relativamente baixo, a Iniciativa 2 tem alto potencial de coleta na cidade ilustrativa, devido à presença de muitas escolas. Os REEE são facilmente coletados nessa amostra, por isso, é importante empenhar-se para suprir a dificuldade no acesso a essa amostra. No cenário ilustrativo, a Iniciativa 3 tem o maior potencial de coleta de REEE. Por isso, sanar as dificuldades (pontos fracos e ameaças, como citado anteriormente), é crucial para que seu potencial de coleta seja valorizado no planejamento estratégico.

A Tabela 11 resume estas considerações.

Tabela 11 - Potencial de captação das iniciativas na cidade ilustrativa

Iniciativas	Potencial de captação anual	Atratividade	Principal dificuldade	Sugestões para sanar as dificuldades
Iniciativa 1	2t	Baixa	Baixo potencial de geração	Campanhas de conscientização para elevar as taxas de participação e consequente o volume coletado
Iniciativa 2	36t	Alta	Dificuldade de acesso	Contato individualizado; campanhas estruturadas que demonstrem benefícios a todas as partes
Iniciativa 3	140t	Alta	Dificuldade de contato	Campanhas publicitárias via mídias sociais

Em suma, pode-se dizer que as Iniciativas 2 e 3 devem receber maior atenção, por seus resultados na cidade ilustrativa. A exemplo, campanhas de coleta mensais aplicadas a 29 OAE e a 7 escolas captariam 5,8t e 1,4t, respectivamente, e permitiriam atingir todas as OAE e escolas da cidade em um ano. Organizando-se de outra forma, alcançando-se metade das

escolas e metade das oficinas (41 escolas e 161 oficinas) em uma campanha semestral, seria possível captar 40t de REEE em uma única coleta.

É importante frisar que as taxas de captação podem ter diferentes valores quando se compara os tipos de material coletados por amostra em relação ao peso de cada item. Por exemplo, no caso das OAE, há uma diferença considerável entre pesos coletados entre OAE de celulares e de eletrométricos de linha branca, o que acarreta em diferenças nas taxas de captação. Isto quer dizer que comparações mais fidedignas devem ser ponderadas dentro deste critério. Este estudo considera a média de pesos dos itens. Os valores das projeções são baseados em estimativas para ilustrar e guiar a relevância das iniciativas.

A soma de todas as análises realizadas até aqui permitirá definir um conjunto das iniciativas mais importantes da cadeia, que poderá auxiliar na definição das estratégias do setor.

5.5 Conjunto das Iniciativas da Cadeia Reversa para Coleta de REEE

Oliveira e D'Agosto (2018) desenvolveram um guia de referências de boas práticas para o transporte de carga, baseado em experiências das indústrias do setor logístico quanto à escolha, aplicação, avaliação e relato dessas práticas. O guia é teórico e estrutura de forma simples esses procedimentos.

Da mesma maneira, será descrito aqui um conjunto das iniciativas de coleta de REEE, sob o foco das empresas responsáveis pela gestão de REEE no que tange a LR (coleta) com destino a reciclagem. Esses processos são baseados no mapa da cadeia, e nas experiências levantadas por esta pesquisa, unindo a visão de como as iniciativas são e de como deveriam ser. Além disso, os processos também estão alinhados com aqueles que sugere a legislação, principalmente no que tange a ênfase ao consumidor final e a inclusão do setor informal. A descrição resumida dos processos pode auxiliar as empresas gestoras a visualizar o *status quo* de suas atividades, para conduzir-se ao planejamento futuro de suas estratégias. São eles:

- 1) Oferecer serviços de coleta de REEE próprios ou em parceria com fabricantes (ou associação de fabricantes):
 - a. Diretamente ao consumidor final:
 - i. Disponibilizar PEVs;
 - ii. Realizar coleta a domicílio;
 - iii. Realizar campanhas periódicas de coleta de REEE:

<ol style="list-style-type: none"> 1. A universidades; 2. A escolas privadas infanto-juvenil; 	}	Públicos que compartilham educação e consciência
---	---	--

- b. Em parceria com o setor informal:
 - i. Realizar campanhas periódicas de coleta de REEE a oficinas de assistência eletrônica não autorizadas (informais).
 - ii. Realizar parceria com Cooperativas de Catadores de Material Reciclável;
 - iii. Realizar parceria com Catadores de Material Reciclável individuais
 - c. A empresas geradoras de REEE:
 - i. Coletas periódicas programadas.
 - d. A prefeituras ou outros órgãos sociais:
 - i. Coletar o montante proveniente de coleta seletiva municipal;
 - ii. Coletar o montante proveniente de associações de moradores ou ONGs.
- 2) Dar destino aos REEE coletados:
- a. Realizar a triagem e reciclagem por meios próprios; ou
 - b. Estabelecer parceria com empresas de reciclagem para envio dos REEE;
- 3) Incentivar a participação do consumidor final:
- a. Realizar campanhas de conscientização.
- 4) Divulgar as formas de coleta a serem oferecidas a (ao):
- a. Consumidor final;
 - b. Oficinas de assistência não autorizadas;
 - c. Prefeituras, cooperativas, ONGs.

6. DISCUSSÃO

A princípio, identificou-se os processos relativos aos atores da cadeia reversa de REEE e as iniciativas vigentes, baseado em análises da literatura e sob a perspectiva da maior empresa de gestão de REEE do Brasil. A partir disso, constatou-se que o consumidor final é parte comum a todos os elos da cadeia, e o ponto de partida para a gestão dos REEE, como comprovado pela literatura (Corsini *et al.* 2020; Islam *et al.* 2021). Para Kianpour *et al.* (2017) e Qu *et al.* (2022) o sucesso da cadeia reversa de REEE depende da intenção de participação do consumidor. Por isso, com o intuito de se conhecer na prática aquelas iniciativas com potencial de coleta, e qual seria este potencial, as análises foram delimitadas àquelas que incluem o consumidor final.

Assim, partindo-se do ponto de vista do consumidor, foram analisados elos da cadeia de REEE relacionados aos três setores da cadeia reversa identificados: a indústria, e os setores formal e informal de LR e reciclagem. Dentre eles foi possível identificar na prática a relação entre consumidor final e o fabricante (HP), gerenciada por uma empresa de reciclagem de resíduos (ST); a relação entre o consumidor final e empresas de LR de resíduos (público acadêmico e escolar e AGIT); empresas de LR e de tratamento de resíduos (AGIT e GM&C). E, além destes, também foi possível identificar relacionamentos entre outros elos: oficinas de assistência técnica não autorizadas e CMR; e oficinas de assistência técnica não autorizadas e empresas de LR de resíduos (OAE e AGIT). Ainda, testando iniciativas de coleta de REEE, foi possível gerar taxas de captação para as amostras estudadas. No entanto, a falta de outros estudos nacionais que incluam valores quantitativos dificulta a comparação dos resultados.

Na Iniciativa 1, a campanha aplicada ao público acadêmico, apresentou resultados positivos quanto a taxa de captação (0,2%) em relação à taxa de captação da empresa estudada (0,03%), valor sete vezes maior. Quanto aos resíduos, notou-se que os consumidores da amostra acadêmica tendem a guardar REEE em casa antes de dar destinação, costume muito discutido na literatura (Nowakowski 2019; Islam *et al.* 2020; Borthakur e Govind 2019; Echegaray e Hansstein 2017; Qu *et al.* 2019; Santos e Ogunseitán 2022), notado pelo fato de que muitos REEE recebidos eram muito antigos, há anos guardados sem funcionamento. Também se observou o recebimento de muitos itens fora do escopo delimitado, o que demonstra a dificuldade que os consumidores dessa amostra têm para destinar corretamente seus REEE guardados, fazendo-o na primeira oportunidade que encontraram.

Quanto ao público escolar infanto-juvenil, na Iniciativa 2, notou-se alto envolvimento em termos de interesse e participação das crianças pela campanha de REEE. Esta iniciativa demonstrou a maior taxa de captação dentre as amostras estudadas (2,8%), próximo da taxa nacional (3,2%, Baldé *et al.*, 2024). O envolvimento de crianças nas ciências no que diz respeito

à poluição e seu interesse por práticas pró-ambientais são vastos na literatura (Oturai *et al.*, 2022; Wichmann *et al.*, 2022; Salazar *et al.*, 2022; De Veer *et al.*, 2022; Praet *et al.* 2023). Estes, e outros autores citados em seus trabalhos, perceberam o senso de preocupação e responsabilidade ambiental das crianças e identificam sua capacidade de influenciar positivamente sua comunidade para abranger essa consciência.

Ainda que uma comparação precisa não possa ser feita, sabe-se que a taxa nacional é de 3,2% (Baldé *et al.*, 2024), e abrange todo resíduo coletado, e não apenas aquele proveniente do consumidor final. Sabe-se que os grandes geradores de REEE (grandes empresas que necessitam atualizar seus equipamentos em curto prazo) e a indústria (por obrigatoriedade da lei, a uma taxa gradativa de 17% do total vendido) são aqueles que mais contribuem para a coleta formal de REEE. Portanto, estes representam a maior parte da taxa de captação nacional. Por isso, a taxa de captação nacional do consumidor final não é muito alta, o que pode indicar uma proporcionalidade da taxa de captação das referidas amostras.

Por razões como o alto engajamento e a facilidade de coleta das Iniciativas 1 e 2, por serem públicos que recebem bem campanhas de conscientização, e principalmente, pelo alto potencial de coleta da Iniciativa 2, é válido se investir em suprir as dificuldades encontradas em sua aplicação. Uma maneira é através de estratégias de incentivo a participação do consumidor. Qu *et al.* (2022) concluem que o recebimento de recompensa pelo consumidor por sua participação (publicidade, descontos e construção de canais de coleta), e subsídios governamentais e sansões podem perturbar a estabilidade da cadeia direta, o que pode fomentar o entusiasmo dos consumidores em participar da cadeia reversa, bem como sua eficiência. Já Kuah e Wang (2020) e Guo e Zhong (2023) concluem que campanhas de conscientização ambiental (por exemplo, via publicidade televisiva, educação nas escolas etc.) tendem a elevar o número de participantes na entrega de REEE. Como visto nesta pesquisa, os níveis de consciência ambiental e educação são fatores críticos de sucesso, por isso devem ser incentivados pelos setores formal e público.

Quanto a Iniciativa 3, a campanha aplicada às OAE, notou-se a existência de um número relativamente alto de integrantes da categoria. Porém, com baixo índice de participação na campanha, com taxa de captação de 0,8%. Nas OAE de celulares, é interessante mencionar quão pouco resíduo é gerado, constando apenas de baterias, o que não pode ser revendido ou reutilizado pelo setor. Por essa razão, este tipo de oficina também pode ser categorizado como mercado de segunda mão, também muito comum em países em desenvolvimento (Uriarte-Ruiz, 2022). Nesse mercado, partes e peças de eletrônicos sem uso, mas que ainda tenham função,

são revendidas ou restauradas para manutenção de outros eletrônicos, o que é uma prática condizente com os preceitos da GSCM e da EC.

Nota-se também que as OAE, de modo geral, parecem não encontrar meios para o descarte contínuo formal de seus REEE, aqueles que não podem ser inseridos no mercado de segunda mão. Por isso, o destino dos REEE acontece dentro do próprio setor informal, em que se nota o alto envolvimento dos catadores de material reciclável (CMR). Esta prática é comum nos países em desenvolvimento, onde o trabalho com CMR está entre os principais obstáculos relacionados ao cumprimento da gestão de REEE (Dias *et al.* 2022; Cheshmeh *et al.* 2023; Liu *et al.* 2022; Demajorovic *et al.* 2016; Baldé *et al.* 2024). Os resíduos de 65% das OAE são destinados aos CMR. No entanto, o tratamento final e os destinos dos REEE são em grande parte incertos dentro do setor informal (Shittu *et al.* 2021). Evidências substanciais ainda demonstram que a reciclagem informal leva a uma gestão ineficaz do resíduo eletrônico (Pan *et al.*, 2022). Por não possuir padrões de tratamento adequados, essa rota é a menos preferida, pois não é eficiente, leva a perdas significativas de recursos e alta poluição ambiental e apresenta riscos à saúde dos trabalhadores e da comunidade (Baldé *et al.*, 2024).

Ainda, existe de fato uma dificuldade em se mapear a quantidade de resíduos que circula através dos CMR. Ainda, uma vez que estes coletam diversos tipos de material reciclável, pode haver contaminação entre os resíduos, bem como risco à sua própria saúde pela desmontagem e separação dos REEE de forma precária, isto é, sem equipamentos propícios dos quais carecem. A falta de estrutura, tecnologia e o uso de processos ineficientes e inseguros são a razão para estes riscos (Cheshmeh *et al.*, 2023).

Além disso, uma das razões para o volume baixo de REEE tratado formalmente descritas pela literatura é que grande parte dos REEE seguem outros destinos, como a rota do lixo comum, onde os CMR atuam em maior parte. Para Santos e Ogunseitan (2022), atualmente, a LR existente no Brasil se deve a este mercado informal no qual os CMR desempenham um papel fundamental, prática habitual entre os países em desenvolvimento, que não possuem LR estruturada.

De acordo com Dias *et al.* (2022), menos de 20% dentre os maiores recicladores formais do Brasil utilizam CMR como fonte de REEE. Isto indica que esses trabalhadores não estão tão envolvidos nas rotas formais, ainda que sejam capazes de realizar todo o ciclo de recuperação de material. Isto envolve desde a coleta, separação e venda, ainda que baseadas em processos e condições ineficientes. Os recicladores preferem parcerias com outras empresas formais de coleta de REEE, pois esperam que estes resíduos sejam mais limpos e mais uniformes em quantidade e composição ao longo do tempo do que os provenientes de outras fontes, o que garante que os seus processos sejam mais previsíveis. Este fato revela a disparidade entre a LR de REEE e de outros

materiais no Brasil, como alumínio e papel, que dependem altamente dos CMR para coletá-los e garantir que cheguem com sucesso aos recicladores formais adequados (Dias *et al.* 2022).

Nesse contexto, é necessária a existência de uma rede sustentável de reciclagem em nível municipal e/ou regional, envolvendo os atores que participam das atividades de coleta, seleção e destino final das rotas de lixo sólido urbano alternativas, como os CMR. O incentivo aos CMR tem importância fundamental para o aumento do volume de material coletado e triado.

No exemplo da empresa estudada nesta pesquisa, seu relacionamento com CCMR apenas abrange aquelas cooperativas formalizadas, por fins de certificação e regularização. Este é um caso em que o setor privado oferece capacitação e apoio ao setor informal, como sugerido pela lei. No entanto, poucas cooperativas têm estrutura mínima para receber formalização. Nesse caso, muitas oportunidades se perdem, como de coletas de maiores volumes de REEE pelo setor formal, e de renda para os CMR. A exigência para formalização e/ou capacitação de todo os CMR não é muitas vezes uma realidade tangível, dadas as suas necessidades imediatas, suas condições de trabalho, e o alto número de integrantes da categoria no país. Assim, a existência de um elo entre os CMR e as empresas recicladoras, que auxiliasse na revenda do material coletado, permitiria que essas demandas fossem supridas, sem a necessidade de sua formalização. Um exemplo hipotético para esta demanda seria um elo entre os CMR e a AGIT, para destinação final à ST ou à GM&C, como foi realizado neste trabalho.

Na realidade atual, ficou evidente o potencial de geração das OAE. Por isso, fornecer a elas meios para o descarte formal de REEE é de grande valia para as empresas de coleta e reciclagem. Deste modo, a relação oportunidades X dificuldades mostra-se benéfica. A criação desse elo supriria a demanda de volume por parte da indústria, e aliviaria o acúmulo de REEE e o conseqüente descarte inadequado.

Quando cabível, a participação do poder público é essencial para apoiar o setor privado na inclusão do setor informal, seja através de incentivos ou na promoção de qualificação, e também na promoção de conscientização do consumidor e incentivo à sua participação.

Em suma, nota-se que os elos da cadeia são interdependentes. Somente a sinergia entre todos os elos é capaz de enfrentar adequadamente o desafio da gestão dos REEE. O exemplo da China mostra que essa é uma colaboração possível. Assim como o Brasil, a China é um país em desenvolvimento cujo sistema de coleta de REEE é dominado pelo setor informal. No entanto, o país tem sido razoavelmente bem-sucedido na canalização destes fluxos para o sistema formal de reciclagem. Para isto, a China utiliza-se da emissão de muitas políticas e incentivos, desenvolvendo uma indústria gestora de REEE moderna e de grande porte. Além disso, conta também com a ampliação da responsabilidade do fabricante e o estabelecimento de parcerias com

outras empresas e indústrias. Este exemplo mostra a importância de um sistema de coleta organizado para o desenvolvimento de uma indústria de reciclagem, o que pode ser alcançado no Brasil através da implementação de um sistema de LR eficiente (Dias *et al.*, 2022).

Em se tratando do método, de modo geral, atesta-se que a Pesquisa-Ação (PA) obteve resultados positivos para o objetivo proposto, como comprovado por outros autores em programas de LR de gestão de resíduos (Alves *et al.*, 2019; Bernardo e Lima, 2017b; Fagundes *et al.*, 2017; Paes *et al.*, 2017). A PA permitiu identificar a estrutura da cadeia reversa de REEE, testar as iniciativas e avaliar seus resultados a cada ciclo aplicado. Algumas dificuldades foram encontradas para sua realização, o que é inerente do processo. Porém, isso possibilitou, também, que algumas lições fossem aprendidas.

Sob o ponto de vista prático, entre as principais dificuldades da aplicação da PA estão o conflito de agendas e responsabilidades entre todas as partes interessadas nos processos. Isso inclui a empresa que deu início à questão de pesquisa (ciclo 1), e a resistência no compartilhamento de informações por parte da empresa. Também foi preciso organizar agendas entre alguns nichos alvo e a empresa de coleta (ciclos 2 e 3). Por isso, a gestão dos prazos também foi uma das dificuldades vivenciadas. Houve também dificuldade a respeito do engajamento, da necessidade de envolver ativamente os participantes, e da necessidade de respostas, que foi baixa em algumas fases.

Além disso, também houve a necessidade de flexibilidade e adaptação às mudanças e aos desafios que surgiram durante o processo, como os caminhos que seriam seguidos a partir das respostas de cada ciclo, e a necessidade de ajustar os métodos e abordagens conforme as circunstâncias evoluíam (como abranger as campanhas, buscar engajamento, definir ou modificar as formas de divulgação e os públicos alvo, buscar parceiros para coleta e para destinação). Ainda há, sobretudo, a dificuldade de generalização e comparação dos resultados, como mencionado anteriormente, e também referido por Mohebalizadeh e Ghazinoori (2020), uma vez que estes são provenientes de contextos específicos. Estas dificuldades, por sua vez, permitiram que lições fossem aprendidas, e que fossem buscadas razões e possíveis soluções para saná-las, como sugerido por Alves *et al.* (2019).

As lições aprendidas na PA podem compreender tanto a aplicação prática quanto a geração de conhecimento (Mohebalizadeh e Ghazinoori, 2020). Neste caso, considera-se que as principais lições estão entrelaçadas às abordagens práticas e teóricas. Uma das lições da PA é a vantagem que sua aplicação em si apresenta em desenvolver soluções práticas que podem ser implementadas no contexto real, identificando barreiras e como superá-las para garantir a eficácia das soluções. A possibilidade de sanar os problemas e, a flexibilidade e necessidade de

adaptação também se apresentam como lições aprendidas. Uma vez que a PA promove um ciclo contínuo de reflexão e aprendizado, as experiências são constantemente analisadas para aprimorar futuras ações, contribuindo tanto para práticas futuras de coleta de REEE como para beneficiar outros projetos e pesquisas, uma importante lição. Ainda, observa-se o poder de empoderamento dos participantes, isto é, a possibilidade de promoção de um senso de propriedade e responsabilidade entre os participantes (consumidores) pelos resultados alcançados, relacionado à reiterada importância da participação do consumidor no processo.

7. CONCLUSÕES

Nos países em desenvolvimento, onde a estrutura informal de coleta de REEE é predominante, não há sistemas de LR e tratamento consolidados o suficiente para atender a toda a população. Também há questões culturais, como a falta de conscientização sobre os riscos do descarte e tratamento incorretos de REEE ou dos meios corretos para fazê-lo. Neste cenário, prevalece o conceito de reciclagem no que diz respeito à gestão de REEE.

Em suma, as iniciativas de GSCM incluem práticas ambientalmente amigáveis desde o *design* de produto, a seleção de matérias-primas, e os processos de fabricação, e não apenas o seu gerenciamento do fim de sua vida útil. Inclusive, a reciclagem é um dos últimos pilares desta gestão, precedida por redução de geração, remanufatura, reparo e reuso (Srivastava, 2007). Nos países em desenvolvimento, o reparo de REEE é uma prática muito utilizada. No entanto, é um costume adotado dentro do setor informal, por razões como cultura dos fabricantes e consumidores; obsolescência programada de EEE (o fato de que os produtos não são programados para receber concertos do fabricante, que visa sua substituição). Isto acarreta em altos custos de reparo, que por sua vez leva os consumidores à busca pelo setor informal de reparo, o que, geralmente, acaba gerando resíduos dentro deste setor. Por isso, os sistemas desses países não incentivam a EC, de forma que grande parte dos benefícios ecológicos, financeiros e de preservação de recursos se perdem nos fluxos da cadeia. Por esta razão, dentre os países em desenvolvimento, as iniciativas de GSCM (a relação da cadeia reversa X meio ambiente) e EC (a recuperação de valor dos resíduos) são comumente referentes à gestão do resíduo gerado, especificamente LR, reciclagem e destinação final.

No Brasil, a taxa de geração destes resíduos cresce de forma alarmante, em contraste com as taxas de coleta formal, que estão abaixo da média mundial. Por isso, esta pesquisa teve foco na gestão formal de REEE no Brasil com base em sua cadeia reversa, que envolve a LR (coleta e transporte), tratamento (separação, limpeza), reciclagem dos materiais reaproveitáveis, e destinação final dos materiais não reaproveitáveis, garantidos de tecnologias seguras e apropriadas, e de certificação ambiental. Estes processos caracterizam a coleta e tratamento formal de resíduos. Então, este estudo foi norteado pela perspectiva da empresa mais relevante do ramo no Brasil, juntamente com análises de literatura e aplicações práticas.

A primeira fase do método de PA permitiu a caracterização da cadeia, assim como de seus integrantes e regulamentações, e a caracterização do perfil e do comportamento do consumidor brasileiro. Estas primeiras análises salientaram a importância do consumidor final na cadeia, reconhecido como o ponto de partida comum a todos os elos, cuja participação é imprescindível. Assim, a segunda fase da PA investigou iniciativas para a coleta potencial de

REEE aplicadas a amostras específicas envolvendo o consumidor final, evidenciando qual seria este potencial, até então desconhecido.

Estas iniciativas foram então validadas, através de campanhas de coleta aplicadas diretamente ao consumidor final, dividido entre o público acadêmico e o público escolar infanto-juvenil; e as oficinas de assistência eletrônica (OAE) não vinculadas aos fabricantes, cujo REEE também provém do consumidor final. O método de PA mostrou-se útil e robusto à proposta de se gerar ação e conhecimento sobre ela, validando a estrutura da cadeia, as iniciativas testadas, e avaliando os resultados de cada ciclo aplicado com base em metas tangíveis e na literatura. Ainda, foi gerado um quadro-síntese do método para replicação em estudos futuros, uma vez que pode ser aplicado a outros públicos ou outras empresas.

De maneira geral, os resultados da PA gerados condizem com a literatura. Demonstra-se na prática que iniciativas que envolvem o consumidor final são eficazes e, por isso, sua importância como ponto de partida na cadeia reversa deve ser atribuída. É fundamental que haja incentivo à participação do consumidor, como políticas educativas sobre as definições e formas de descarte de REEE; bem como pontos de coleta e ou devolução de REEE bem divulgados e de fácil acesso, e ainda, campanhas de coletas periódicas. As campanhas de coleta aplicadas ao público de nível superior de educação e aos alunos do ensino infanto-juvenil tendem a atingir sucesso, pois estes públicos compartilham educação, consciência ambiental e atitude positiva quanto à gestão de resíduos.

Também se evidenciou a necessidade de um elo entre as empresas formais de reciclagem e o setor informal para suprir necessidades industriais, sociais e ambientais e garantir melhor gestão de REEE. Oficinas de assistência eletrônica (OAE) são um importante elo entre o consumidor final e o fabricante. Coletas periódicas realizadas pelo setor formal às OAE seriam capazes de angariar importantes volumes para tratamento. Da mesma forma, o setor formal pode e deve incentivar e capacitar catadores de material reciclável para sua maior inclusão na cadeia, uma vez que são elo importantíssimo para a LR de resíduos em geral no Brasil.

A soma das iniciativas executadas nesse trabalho foi capaz dar destino ambientalmente correto a mais de 2 toneladas de REEE, o que é um valor considerado alto em termos de público atingido. As análises demonstraram o potencial dessas iniciativas em alavancar esse valor. O público acadêmico tem taxa de captação de 0,2%; o público infanto-juvenil 2,8%, e as OAE 0,8%. Em um cenário ilustrativo de uma grande cidade, como exemplificado, as iniciativas que envolvem consumidor final direta ou indiretamente têm taxa de captação de REEE de 0,5%, valor 16 vezes maior que a média atual da empresa estudada, demonstrando sua eficácia. Em um ano, o potencial de captação dessas iniciativas no cenário ilustrativo é de 178t. Para se atingir esse

potencial, é válido investir em incentivo à participação do consumidor, campanhas de conscientização, na criação de uma rede de contato entre as empresas e universidades, escolas e oficinas, e na criação de uma ponte entre as empresas formais e as oficinas.

Destaca-se a interligação entre os elos da cadeia observada nas análises. A cadeia é, por definição, uma corrente de elos, e, portanto, uma boa gestão de REEE é composta pela integração consonante de todos os elos que compõem suas atividades. Assim, a atuação conjunta dos diferentes entes é fundamental para se atingir sucesso na gestão de REEE sob aspectos econômicos (recuperação e geração de valor), ambientais (diminuição da geração de resíduos e de emissão de poluentes, descarte correto) e sociais (geração de emprego, distribuição de renda e qualidade de vida).

Através dos resultados coletados, foi possível elaborar um mapa completo dos processos vislumbrando os atores internos da cadeia. Também foi listado um conjunto dos processos sob a ótica das empresas de coleta com vistas à reciclagem. A união das análises demonstra, qualitativa e quantitativamente, a importância dos relacionamentos entre os elos da cadeia, e o potencial de cada iniciativas testadas. Assim, os atores podem visualizar suas atuais circunstâncias, direcionando suas estratégias de coleta, visando o propósito de alcançar maiores volumes de REEE.

Dessa maneira, os objetivos deste trabalho foram cumpridos. Além disso, esta pesquisa conecta teoria e prática, unindo conceitos, em geral abordados separadamente por outras pesquisas, e gera métricas e base de dados para comparações em estudos futuros.

7.1 Limitações da Pesquisa e Sugestões para Estudos Futuros

Embora a geração desses resultados tenha sido possível, as iniciativas aqui testadas são limitadas a públicos relativamente pequenos e a nichos específicos. Ainda, apesar de contar com o envolvimento de pelo menos um ator representante de cada elo da cadeia (grupos de consumidores finais, empresas de coleta, empresas de reciclagem, fabricante), este número também é limitado.

A falta de estudos, em especial no Brasil, que levantem práticas e que demonstrem resultados quantitativos quanto à coleta de REEE também são fatores que dificultam a comparação dos resultados.

No entanto, ainda assim, foi possível responder às questões de pesquisa. Para corroborar e complementar esses resultados, e para suprir essas limitações, sugere-se para estudos futuros replicar esta PA, o que pode incluir:

- a) aplicá-la a um número maior de amostras, como outras universidades e outras escolas;

- b) aplicá-la outros públicos de consumidores finais, por exemplo, através de campanhas de coleta a trabalhadores de uma empresa, com diferentes níveis de escolaridade e renda;
- c) aplicá-la às mesmas amostras, mas em outras cidades;
- d) envolver outras empresas da cadeia (coletoras, recicladoras);
- e) envolver outros fabricantes (outras marcas de equipamentos);
- f) envolver e mapear os processos sob a ótica dos catadores de material reciclável;
- g) envolver o setor público nas ações.

Ainda, a partir do levantamento de um número maior de dados, é válido para estudos futuros complementar as análises utilizando outras ferramentas, como:

- g) levantar estudos sobre os custos de coleta das iniciativas e, assim, validar a atratividade de cada iniciativa (ferramentas de análise de viabilidade econômica); e
- h) levantar estudos sobre a real previsibilidade das coletas (ferramentas de simulação e otimização).

PUBLICAÇÕES GERADAS

Apresenta-se a seguir os resultados acadêmicos alcançados a partir desta pesquisa:

Artigos em periódico internacional:

- BERNARDES, M., MORAES, F. T. F., TANAKA, K. H., LIMA, R. S. Engaging the End User in Waste from Electrical and Electronic Equipment Management: An Action Research Study, **Systemic Practice and Action Research**, n. 37, p. 105-126, 2024. DOI: 10.1007/s11213-023-09646-y

Artigos em congressos:

- BERNARDES, M.; KLEINSORGE, E. P.; LIMA, R. S. Economia Circular e Gestão da Cadeia de Suprimentos Verde na indústria de equipamentos eletroeletrônicos: uma revisão sistemática. In: ENEGEP 2020 - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2020, Online, 2020. DOI: 10.14488/enegep2020_tn_sto_350_1801_41128
- BERNARDES, M.; KLEINSORGE, E. P.; LIMA, R. S. Gestão Verde da Cadeia de Suprimentos na indústria de equipamentos eletroeletrônicos: uma revisão sistemática. In: PLURIS 2021, 2021, Online. Anais, 2021.
- BERNARDES, M.; LIMA, R. S. Green Supply Chain Management e Economia Circular em indústria de manufatura: iniciativas para aumento de coleta de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. In: IEPG SUMMIT: Construindo o Futuro com Inovação e Sustentabilidade, Anais... Itajubá (MG), IEPG/UNIFEI, 2023.
- SILVA, M. F. L.; BERNARDES, M.; TANAKA, K. H.; LIMA, R. S. Estratégias para a coleta formal de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos com foco no consumidor final. In: ENEGEP 2024 - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Porto Alegre, 2024. DOI: 10.14488/enegep2024_tn_wg_412_2025_47677
- BERNARDES, M.; SILVA, M. F. L.; LIMA, R. S. Iniciativas para aumento de coleta de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos: uma pesquisa aplicada à cadeia reversa brasileira. In: 10º PLURIS - Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, 2024, Guimarães, Portugal. Anais, 2024.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, J. C. Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos: O Antropoceno Bate à Nossa Porta. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 6, p. 1849-1897, 2018.
- AHMADI, S.; AMIN, S. H. An integrated chance-constrained stochastic model for a mobile phone closed-loop supply chain network with supplier selection, **Journal of Cleaner Production**, v. 226, p. 988-1003, 2019.
- ALAMEREW, Y. A.; BRISSAUD, D. Modelling and Assessment of Product Recovery Strategies through Systems Dynamics, 25th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference, **Procedia CIRP** 69, v. 69, p. 822-826, 2018.
- ALI, S.; SHIRAZI, F. The Paradigm of Circular Economy and an Effective Electronic Waste Management, **Sustainability**, v. 15, n. 1998, p. 1-11, 2023.
- ALVES, R. [et al.]. An Action Research Study for Elaborating and Implementing an Electronic Waste Collection Program in Brazil, **Systemic Practice and Action Research**, v. 34, p. 91-108, 2019.
- ANDEOBU, L.; WIBOWO, S.; GRANDHI, S. A Systematic review of e-waste generation and environmental management of Asia Pacific countries. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 17, p. 1-18, 2021.
- ANGOURIA-TSOROCHIDOU, E.; CIMPAN, C.; PARAJULY, K. Optimized collection of EoL electronic products for circular economy: A techno-economic assessment, 25th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference, **Procedia CIRP** 69, v. 69, p. 986-991, 2018.
- ARAÚJO, M. V. F. [et al.]. Cost assessment and benefits of using RFID in reverse logistics of waste electrical & electronic equipment (WEEE). **Procedia Computer Science**, v. 55, p. 688-697, 2015.
- ARDI, R. [et al.]. What drives individuals to dispose of waste mobile phones? A case study in Indonesia, **International Journal of Technology**, v. 11, n. 3, p. 631-641, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica, 2013. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl1416934886.pdf>> [Acesso em set. 2019]
- ASSUMPÇÃO, J. J. [et al.]. Green Supply Chain Practices: a comprehensive and theoretically multidimensional framework for categorization, **Production**, n. 29, 2019.
- AUGUSTO, E. E. F.; DEMAJOROVIC, J.; MORENO, J. M. The impact of cooperation on the implementation of the 'descarte on' WEEE Reverse Logistics pilot project in Brazil. **Transactions on The Built Environment**, v. 179, p. 269-280, 2018.
- BALDÉ, C. P. [et al.]. The Global E-waste Monitor 2024. International Telecommunication Union (ITU) and United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), Geneva/Bonn, 2024.
- BATISTA, L. [et al.] In Search of a Circular Supply Chain Archetype – A Content-Analysis-Based Literature Review. **Production Planning and Control**, v. 29, n. 6, p. 438-451, 2018.
- BERNARDO, M.; LIMA, R. S. Planejamento e implantação de um programa de coleta seletiva: utilização de um sistema de informação geográfica na elaboração das rotas, **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9, n. 1, p. 385-395, 2017a.
- BERNARDO, M.; LIMA, R. S. Using action research to implement selective waste collection program in a Brazilian City, **Systemic Practice and Action Research**, v. 30, p. 593-608, 2017b.
- BERNARDO, O.; SOUZA, M. T. S.; DEMAJOROVIC, J. Inovação na Cadeia Reversa de Resíduos Eletroeletrônicos: um estudo sobre os sistemas de informação e as tecnologias de rastreamento, **Revista de Administração de Empresas**, v. 60, n. (4), p. 248-261, 2020.
- BLAKE, V.; FARRELLY, T.; HANNON, J. Is voluntary product stewardship for e-waste working in New Zealand? A Whangarei case study, **Sustainability**, v. 11, n. 3063, p. 1-26, 2019.
- BORTHAKUR, A.; GOVIND, M. Emerging trends in consumers' e-waste disposal behavior and awareness: A worldwide overview with special focus on India, **Resources, Conservation and Recycling**, v. 117 (Part B), p. 102-113, 2017.

BOUZON, M. [et al.]. Identification and analysis of reverse logistics barriers using fuzzy Delphi method and AHP, **Resources, Conservation and Recycling**, v. 108, p. 182-197, 2016.

BRASIL. Decreto nº 10.240, 12 de fevereiro de 2020. Regulamenta o inciso VI do caput do art. 33 e o art. 56 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e complementa o Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017, quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10240.htm. [Acesso em jun. 2022]

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm [Acesso em set. 2019]

BRESSANELLI, G.; SACCANI, N.; PIGOSSO, D. P. A.; PERON, M. Circular Economy in the WEEE industry: a systematic literature review and a research agenda, **Sustainable Production and Consumption**, v. 23, p. 174-188, 2020.

BRITO, M. P.; DEKKER, R. Reverse Logistics - a framework, **Econometric Institute Research Papers**, 2002.

BUTT, A. S.; ALI, I.; GOVINDAN, K. The role of reverse logistics in a circular economy for achieving sustainable development goals: a multiple case study of retail firms, **Production Planning & Control**, v. 35, n. 12, p. 1-24, 2023.

CAIADO, N.; GUARNIERI, P.; XAVIER, L; H.; CHAVES, G. L. D. A characterization of the Brazilian market of reverse logistic credits (RLC) and an analogy with the existing carbon credit market, **Resources, Conservation and Recycling**, v. 118, p. 47-59, 2017.

CALGARO, C. O. [et al.]. Supercritical extraction of polymers from printed circuit boards using CO₂ and ethanol, **Journal of CO₂ Utilization**, v. 22, p. 307-316, 2017.

CALLEFI, M. H. B. M.; BARBOSA, W. P. Gestão de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos em Maringá/PR, **Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 13, n. 2, p. 112-132, 2018.

CAMPOS, T. R. T.; FONSECA, M. V. A.; MORAIS, R. M. N. Reverse logistics: a route that only makes sense when adopting a systemic vision, **Waste Management and The Environment**, v. 180, p. 41-52, 2014.

CESARO, A. [et al.]. WEEE management in a circular economy perspective: an overview, **Global NEST Journal**, v. 20, n. 4, p. 743-750, 2018.

CE100 Brasil, Uma Economia Circular no Brasil, Fundação Ellen MacArthur, 2017. Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_Uma-Exploracao-Inicial.pdf. [Acesso em ago. 2019].

CHESHMEH, Z. A. [et al.] A comprehensive review of used electrical and electronic equipment management with a focus on the circular economy-based policy-making, **Journal of Cleaner Production**, v. 389, p. 1-21, 2023.

COLE, C.; GNANAPRAGASAM, A.; COOPER, T. Towards a circular economy: exploring routes to reuse for discarded electrical and electronic equipment, 24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, **Procedia CIRP** 61, v. 61, p. 155-160, 2017.

COLE, C. [et al.]. An assessment of achievements of the WEEE Directive in promoting movement up the waste hierarchy: experiences in the UK, **Waste Management**, v. 87, p. 417-427, 2019a.

COLE, C. [et al.]. Assessing barriers to reuse of electrical and electronic equipment, a UK perspective, **Resources, Conservation & Recycling: X**, v. 1, p. 1-10, 2019b.

CORDOVA-PIZARRO, D. [et al.]. Circular Economy in the Electronic Products Sector: Material Flow Analysis and Economic Impact of Cellphone E-Waste in Mexico, **Sustainability**, v. 11, n. 1361, p. 1-18, 2019.

CORDOVA-PIZARRO, D. [et al.]. Circular Economy in Mexico's Electronic and Cell Phone Industry: Recent Evidence of Consumer Behavior, **Applied Sciences**, v. 10, n. 21, 2020.

CORSINI, F.; GUSMEROTTI, N. M.; FREY, M. Consumer's circular behaviors in relation to the purchase, extension of life, and end of life management of electrical and electronic products: a review, **Sustainability**, v. 12, n. 24, p. 1-16, 2020.

- COUGHLAN, P.; COGHLAN, D. Action research for operations management, **International Journal Operational & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.
- DE VEER, D. [et al.]. How do schoolchildren perceive litter? Overlooked in urban but not in natural environments, **Journal of Environmental Psychology**, v. 81, p. 1-14, 2022.
- DEGHER, A. HP's worldwide take back and recycling programs: lessons on improving program implementation, **Conference Record 2002 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment**, p. 224-227, 2002.
- DEMAJOROVIC, J.; AUGUSTO, E. E. F.; SOUZA, M. T. S. Reverse logistics of E-waste in developing countries: Challenges and prospects for the Brazilian model, **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 2, p. 117-136, 2016.
- DIAS, P. [et al.]. Electronic waste in Brazil: Generation, collection, recycling and the covid pandemic, **Cleaner Waste Systems**, 3, p. 1-13, 2022.
- DOMINISH, E. [et al.]. “Slowing” and “Narrowing” the Flow of Metals for Consumer Goods: Evaluating Opportunities and Barriers, **Sustainability**, v. 10, n. 1096, p. 1-23, 2018.
- ECHEGARAY, F.; HANSSTEIN, F. V. Assessing the intention-behavior gap in electronic waste recycling: the case of Brazil, **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 180-190, 2017.
- FAGUNDES, L. D.; AMORIM, E. S.; LIMA, R. S. Action research in reverse logistics for end-of-life tire recycling, **Systemic Practice and Action Research**, v. 30, p. 553-568, 2017.
- FELIPE, L. M.; LEISMANN, E. L. Análise de Viabilidade em Projetos: comparação entre os métodos determinísticos e probabilísticos. **Revista de Ciências Empresariais da Unipar**, v. 20, n. 1, p. 83-106, 2019.
- FERREIRA, R. [et al.]. Proposta de um desenho da cadeia reversa para resíduos eletroeletrônicos. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, v. 6, n. 3, p. 123-145, 2016.
- FERREIRA, V. F. M.; GONÇALVES-DIAS, S. L. F.; VALLIN, I. C. Inclusion of waste pickers in the reverse logistics of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) - the case study of Projeto Eco Eletro. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 51, p. 263-281, 2019.
- FORTI, V.; BALDÉ, C. P.; KUEHR, R.; BEL, G. The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), Bonn/Geneva/Rotterdam, 2020.
- FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL. Brazil: 2024 - Article IV, Consultation-Press Release, International Monetary Fund, Western Hemisphere Dept., v. 2024, n. 209, p. 1-99, 2024.
- GARG, C. P.; SHARMA, A.; GOYAL, G. A hybrid decision model to evaluate critical factors for successful adoption of GSCM practices under fuzzy environment, **Uncertain Supply Chain Management**, v. 5, p. 59-70, 2017.
- GENNARO, C. K.; CORREA, M. S.; OLIVEIRA, M. C.; HELLENO, A. L. Aplicação da Simulação de Eventos Discretos para propostas de melhorias numa linha de montagem de uma empresa do setor automotivo. **Exacta**, v. 15, n. 1, p. 47-56, 2017.
- GOLSTEIJN, L.; MARTINEZ, E. V. The Circular Economy of E-Waste in the Netherlands: Optimizing Material Recycling and Energy Recovery, **Journal of Engineering**, n. 8984013, p. 1-6, 2017.
- GONTIJO, F. E. K.; WERNER, J.; DIAS, A. M. P. Aplicação de Logística Reversa de Ciclo Fechado e tecnologia de reciclagem para embalagens de Polietileno Tereftalato (PET), **VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, 2010.
- GOYAL, S.; GUPTA, S. A comprehensive review of current techniques, issues, and technological advancements in sustainable E-waste management, **e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy**, v. 9, p. 1-10, 2024.
- GRANDHI, S. P.; DAGWAR, P. P.; DUTTA, D. Policy pathways to sustainable E-waste management: A global review, **Journal of Hazardous Materials Advances**, v. 16, p. 1-15, 2024.
- GREEN ELETRON, Resíduos Eletrônicos no Brasil, 2021. Disponível em: <https://greeneletron.org.br/download/RELATORIO_DE_DADOS.pdf>. [Acesso em jan. 2022]

- GUARNIERI, P.; SILVA, L. C.; LEVINO, N. A. Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis methodology: A Brazilian case, **Journal of Cleaner Production**, v. 133, p. 1105-1117, 2016.
- GUO, R.; ZHONG, Z. A customer-centric IoT-based novel closed-loop supply chain model for WEEE management, **Advanced Engineering Informatics**, v. 55, p. 1-19, 2023.
- HABIB, K.; MOHAMMADI, E.; WITHANAGE, S. V. A first comprehensive estimate of electronic waste in Canada, **Journal of Hazardous Materials**, v. 448, p. 1-11, 2023.
- HAJAR, R. The contribution of reverse logistics practices in circular economy principles: A TOWS analysis, **International Federation of Automatic Control**, v. 58, n. 13, p. 733-738, 2024.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas da população Residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2024. Disponível em: <https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2024/estimativa_dou_2024.pdf>. [Acesso em set. 2024]
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico 2022: Características Gerais da População. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
- IDC - International Data Corporation. Worldwide Hardcopy Peripherals Shipments Were Down 17.6% Year Over Year in the Fourth Quarter of 2021, according to IDC, 2022. Disponível em: <<https://www.idc.com/promo/hardcopy-peripherals>>. [Acesso em mar. 2022]
- ISERNIA, R. [et al.]. The Reverse Supply Chain of the E-Waste Management Processes in a Circular Economy Framework: Evidence from Italy, **Sustainability**, v. 11, n. 2430, p. 1-19, 2019.
- ISLAM, M. T.; DIAS, P.; HUDA, N. Waste mobile phones: A survey and analysis of the awareness, consumption and disposal behavior of consumers in Australia, **Journal of Environmental Management**, v. 275, 2020.
- ISLAM, M. T.; HUDA, N. E-waste in Australia: Generation estimation and untapped material recovery and revenue potential, **Journal of Cleaner Production**, v. 237, p. 1-21, 2019.
- ISLAM, M. T. [et al.]. A global review of consumer behavior towards e-waste and implications for the circular economy, **Journal of Cleaner Production**, v. 316, p.1-36, 2021.
- KAZANCOGLU, Y.; KAZANCOGLU, I.; SAGNAK, M. A new holistic conceptual framework for green supply chain management performance assessment based on circular economy, **Journal of Cleaner Production**, v. 195, p. 1282-1299, 2018.
- KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions, **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017.
- KOSHITA, N.; PATRA, S.; SINGH, S. P. A location-allocation model for E-waste acquisition from households. **Journal of Cleaner Production**, v. 440, p. 1-11, 2024.
- KUAH, A. T. H.; WANG, P. Circular economy and consumer acceptance: an exploratory study in East and Southeast Asia, **Journal of Cleaner Production**, v. 247, p. 1-13, 2020.
- KUMAR, A. [et al.]. Sustainable waste electrical and electronic equipment management guide in emerging economies context: A structural model approach, **Journal of Cleaner Production**, v. 336, p. 1-14, 2022.
- KIANPOUR, K. [et al.]. Factors influencing consumers' intention to return the end of life electronic products through reverse supply chain management for reuse, repair and recycling, **Sustainability**, v. 9, n. 9, p. 1-23, 2017.
- LEITE, P. R. **Logística Reversa - Sustentabilidade e Competitividade**. 3ª Ed., Saraiva, São Paulo, 2017.
- LIU, C. C. [et al.]. Using the Electronic Industry Code of Conduct to Evaluate Green Supply Chain Management: An Empirical Study of Taiwan's Computer Industry, **Sustainability**, v. 7, 2787-2803, 2015.
- LIU, H.; LI, T.; LEONG, G. K. Choice of competitive strategy of formal and informal sectors in recycling WEEE with fund subsidies: Service or price?, **Journal of Cleaner Production**, v. 372, p. 1-12, 2022.

- LIU, T.; GUAN, X.; WANG, Z.; QIN, T.; SUN, R.; WANG, Y. Optimizing green supply chain circular economy in smart cities with integrated machine learning technology, **Helyon**, v. 10, n. 9, p. 1-15, 2024.
- MACHADO, A. F.; OLIVEIRA, A. M. H. C.; ANTIGO, M. Evolução do diferencial de rendimentos entre setor formal e informal no Brasil: o papel das características não observadas. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 12, n. 2, p. 355-388, 2008.
- MANSUY, J.; VERLINDE, S.; MACHARIS, C. Understanding preferences for EEE collection services: A choice-based conjoint analysis, **Resources, Conservation & Recycling**, v. 161, p. 1-12, 2020.
- MAHMOUMGONBADI, A.; GENOVESE, A.; SGALAMBRO, A. Closed-loop supply chain design for the transition towards a circular economy: A systematic literature review of methods, applications and current gaps, **Journal of Cleaner Production**, v. 323, p. 1-22, 2021.
- MARCONI, M. [et al.]. An approach to favor industrial symbiosis: The case of waste electrical and electronic equipment, **Procedia Manufacturing**, v. 21, p. 502-509, 2018.
- MELLO, A. P.; MAYER, J. P. S.; COSTA, K. A. S. Considerações sobre a destinação do lixo eletrônico. **REFAS**, v. 2, p. 3, p. 1-13, 2016.
- MELLO, C. H. P. [et al.]. Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução, **Produção**, v. 22, n.1, p. 1-13, 2012.
- MOHEBALIZADEH, S.; GHAZINOORI, S. Developing a Technology Roadmap for Regenerative Medicine: A Participatory Action Research, **Systemic Practice and Action Research**, v. 34, p. 377-397, 2020.
- MORAES, D. G. S. V. M.; ROCHA, T. B.; EWALD, M. R. Life cycle assessment of cell phones in Brazil based on two reverse logistics scenarios. **Production**, v. 24, n. 4, p. 735-741, 2014.
- MOURA, J. M. B. M.; PINHEIRO, I. G.; LISCHESKI, D.; VALLE, J. A. B. Relation of Brazilian institutional users and technical assistances with electronics and their waste: What has changed?, **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 68-75, 2017.
- NOWAKOWSKI, P. A novel, cost efficient identification method for disassembly planning of waste electrical and electronic equipment, **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 2695-2707, 2018.
- NOWAKOWSKI, P. Investigating the reasons for storage of WEEE by residents - A potential for removal from households, **Waste Management**, v. 87, p. 192-203, 2019.
- OHDE, C. [et al.]. **Economia Circular: um modelo que dá impulso à economia, gera empregos e protege o meio ambiente**. Netpress Books, São Paulo, 2018.
- OLIVEIRA, C. M.; D'AGOSTO, M. A. Manual de Aplicação - Boas Práticas para o Transporte de Carga. 1ª ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável (IBTS), 2018.
- OLIVEIRA NETO, G. C.; CORREA, A. J. C.; SCHROEDER, A. M. Economic and environmental assessment of recycling and reuse of electronic waste: Multiple case studies in Brazil and Switzerland, **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 42-55, 2017.
- OLIVEIRA NETO, G. C. [et al.]. Environmental advantages of the reverse logistics: a case study in the batteries collection in Brazil. **Production**, v. 28, p. 1-16, 2018.
- OLIVEIRA, J. D. [et al.]. Resíduos eletroeletrônicos: geração, impactos ambientais e gerenciamento. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 5, p. 1655-1667, 2017.
- OLIVEIRA, U. R. [et al.]. A systematic literature review on green supply chain management: Research implications and future perspectives, **Journal of Cleaner Production**, n. 187, p. 537-561, 2018.
- OMG - OBJECT MANAGEMENT GROUP, Inc. Business Process Model and Notation (BPMN) version 2.0, 2011. Disponível em: <<http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0>>. [Acesso em jul. 2024].
- ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (OIT). Employment, incomes and equality: A strategy for increasing productive employment in Kenya. Genebra: OIT, 1972.

OTURAI, N.G.; PAHL, S.; SYBERG, K. How can we test plastic pollution perceptions and behavior? A feasibility study with danish children participating in “the mass experiment”, **Science of The Total Environment**, v. 806, p.1-11, 2022.

PAES, C. E., [et al.]. Management of Waste Electrical and Electronic Equipment in Brazilian Public Education Institutions: Implementation Through Action Research on a University Campus, **Systemic Practice and Action Research**, v. 30, n. 4, p. 377-393, 2016.

PAN, X.; C. W. Y. WONG; LI, C. Circular economy practices in the waste electrical and electronic equipment (WEEE) industry: A systematic review and future research agendas, **Journal of Cleaner Production**, v. 365, p. 1-14, 2022.

PARAJULY, K. [et al.]. Behavioral change for the circular economy: A review with focus on electronic waste management in the EU, **Resources, Conservation & Recycling**, v. 6, p. 1-9, 2020.

PEREIRA, T. F.; MONTEVECHI, J. A. B.; ROCHA, G. V.; OLIVEIRA, M. L. M.; OLIVEIRA, M. S. Análise multivariada de um framework para gerenciamento de projetos de Simulação a Eventos Discretos em uma empresa de tecnologia. In: L **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, 2018.

PRAET, E. [et al.]. Bottle with a message: The role of story writing as an engagement tool to explore children’s perceptions of marine plastic litter. **Marine Pollution Bulletin**, v. 186, p 1-14, 2023.

QU, Y., WANG, W., LIU, Y., ZHU, Q. Understanding residents’ preferences for e- waste collection in China - a case study of waste mobile phones, **Journal of Cleaner Production**, v. 228, p. 52–62, 2019.

QU, Y. [et al.]. Decision strategies for the WEEE reverse supply chain under the “Internet + recycling” model, **Computers & Industrial Engineering**, v. 172, part A, p.1-14, 2022.

RAUCH, P. [et al.]. SWOT analysis and strategy development for forest fuel supply chains in South East Europe, **Forest Policy and Economics**, v. 61, p. 87-94, 2015.

RAJESH, R.; KANAKADHURGA, D.; PRABAHARAN, N. Electronic waste: A critical assessment on the unimaginable growing pollutant, legislations and environmental impacts, **Environmental Challenges**, v. 7, p. 1-15, 2022.

ROSSINI, V.; NASPOLINI, S. H. F. Obsolescência programada e meio ambiente: a geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, **Revista de Direito e Sustentabilidade**, v. 3, n. 1, p. 51-71, 2017.

RUIZ, M. R. [et al.]. Desafios para o gerenciamento de pilhas e baterias pós-uso: proposição de projeto de lei sobre o e-lixo na cidade de Rio Claro - SP. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 1, n. 2, p. 29-50, 2012.

RYEN, E. G. [et al.]. Ecological foraging models as inspiration for optimized recycling systems in the circular economy, **Resources, Conservation & Recycling**, v. 135, p. 48-57, 2018.

SALAZAR, C.; JAIME, M.; LEIVA, M.; GONZALEZ, N. From theory to action: explaining the process of knowledge attitudes and practices regarding the use and disposal of plastic among school children. **Journal of Environmental Psychology**, v. 80, p. 1-2, 2022.

SANT’ANNA, L. T.; MACHADO, R. T. M.; BRITO, M. J. Os resíduos eletroeletrônicos no Brasil e no exterior: diferenças legais e a premência de uma normatização mundial, **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 37-53, 2014.

SANTOS, S. M.; OGUNSEITAN, O. A. E-waste management in Brazil: Challenges and opportunities of a reverse logistics model, **Environmental Technology & Innovation**, v. 28, p. 1-5, 2022.

SHITTU, O. S.; WILLIAMS, I. D.; SHAW, P. J. Global E-waste management: Can WEEE make a difference? A review of e-waste trends, legislation, contemporary issues and future challenges, **Waste Management**, 120, p. 549-563, 2021.

SIMONS, R.; ESHUIS, R.; OZKAN, B. A Reference Architecture for Reverse Logistics in the High-Tech Industry, **Computers & Industrial Engineering**, v. 194, p. 1-16, 2024.

SINIR - Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos, 2019. Disponível em: <<https://sinir.gov.br/component/content/article/63-logistica-reversa/474-acordo-setorial-de-eletroeletronicos>>. [Acesso em mar. 2022]

- SÖDERMAN, M. L.; ANDRÉ, H. Effects of circular measures on scarce metals in complex products - Case studies of electrical and electronic equipment, **Resources, Conservation and Recycling**, v. 151, n. 104464, p. 1-14, 2019.
- SOESANTO, H; MAARIF, M. S.; ANWAR, S.; YURIANTO, Y. Design of sustainable electronic waste management business process transformation towards circular economy transition in Jakarta, Indonesia, **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1266, p. 1-10, 2023.
- SOUZA, D. M.; TROVÃO, C. J. B. M.; SILVA, M. R.; SANTOS, J. O. Informalidade no mercado de trabalho: abordagens conceituais e evolução histórica. **Revista Pesquisa e Debate**, v. 32, n. 1(57), 2020.
- SRIVASTAVA, S. K. Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review, **International Journal of Management Reviews**, v. 9, n. 1, p. 53-80, 2007.
- SYAHPUTRI, K.; SARI, R. M.; RIZKYA, I.; TARIGAN, U.; AGUSTINA. Simulation of vise production process using Flexsim Software. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 1122, n.1, p. 1-7, 2021.
- THIOLLENT, M. Metodologia da Pesquisa-ação. São Paulo: Cortez, 2007.
- TIBBEN-LEMBKE, R. S.; ROGERS, D. S. Differences between forward and reverse logistics in a retail environment, **International Journal of Supply Chain Management**, v. 7, n. 5, p. 271-282, 2002.
- TIPPAYAWONG, K. Y.; TIWARATREEWIT, T.; SOPADANG, A. Positive Influence of Green Supply Chain Operations on Thai Electronic Firms' Financial Performance, **Procedia Engineering**, v. 118, p. 683-690, 2015.
- TOSARKANI, B. M.; AMIN, S. H. A multi-objective model to configure an electronic reverse logistics network and third-party selection. **Journal of Cleaner Production**, v. 198, p. 662-682, 2018.
- URIARTE-RUIZ, M. Exploring the obstacles towards the creation of a circular economy: Replacement and reuse of mobile phones in Greater Mexico City, **Journal of Cleaner Production**, v. 374, 2022.
- VEENSTRA, A. [et al.]. An analysis of E-waste flows in China, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 47, p. 449-459, 2010.
- VIEIRA, B. O. [et al.]. Prioritizing barriers to be solved to the implementation of reverse logistics of e-waste in Brazil under a multicriteria decision aid approach, **Sustainability** (Switzerland), v. 12, n. 4337, p. 1-30, 2020.
- XAVIER, L. H.; OTTONI, M.; LEPAWSKY, J. Circular economy and e-waste management in the Americas: Brazilian and Canadian frameworks, **Journal of Cleaner Production**, v. 297, p. 1-13, 2021.
- WENDLING, Z. A. [et al.]. 2020 Environmental Performance Index. Disponível em: <epi.yale.edu> [Acesso em mai. 2020]
- WICHMANN, C. S. [et al.]. Promoting pro-environmental behavior through citizen science? A case study with Chilean schoolchildren on marine plastic pollution, **Marine Policy**, v. 141, p. 1-12, 2022.
- WILKINSON, A.; WILLIAMS, I.; Why do (W)EEE Hoard? The effect of consumer behaviour on the release of home entertainment products into the circular economy, **Detritus**, v. 12, p. 18-33, 2020.
- YIN, H.; QU, Y.; JIA, H. Target setting and performance analysis: Promoting e-waste collection in China under the collection target responsibility models, **Journal of Environmental Management**, v. 356, p. 1-16, 2024.
- ZHILYAEV, D. [et al.]. The living, the dead, and the obsolete: A characterization of lifetime and stock of ICT products in Denmark, **Resources, Conservation & Recycling**, v. 164, p. 1-11, 2021.