



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

AMANDA SIMÕES CRISTINO CAMPOS

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS
ELETROELETRÔNICOS EM ÁREAS DE GRANDES
CONCENTRAÇÕES URBANAS: ESTUDO DE CASO EM
RECIFE – PE**

RECIFE-PE
AGOSTO DE 2023

AMANDA SIMÕES CRISTINO CAMPOS

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS
ELETROELETRÔNICOS EM ÁREAS DE GRANDES
CONCENTRAÇÕES URBANAS: ESTUDO DE CASO EM
RECIFE – PE**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente – Controle e Remediação da Poluição.

Orientador: Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda
Coorientador: Prof. Dr. Francisco das Chagas da Costa Filho

RECIFE-PE
AGOSTO DE 2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C198g Campos, Amanda Simões Cristino
Gerenciamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos em áreas de grandes concentrações urbanas: estudo de caso em Recife-PE / Amanda Simões Cristino Campos. - 2023.
113 f. : il.
- Orientador: Romildo Morant de Holanda.
Coorientador: Francisco das Chagas da Costa Filho.
Inclui referências e anexo(s).
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2023.
1. Geotecnologia. 2. Gestão sustentável. 3. Logística reversa. 4. Pontos de coleta. 5. REEE. I. Holanda, Romildo Morant de, orient. II. Filho, Francisco das Chagas da Costa, coorient. III. Título

CDD 620.8

AMANDA SIMÕES CRISTINO CAMPOS

GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS EM
ÁREAS DE GRANDES CONCENTRAÇÕES URBANAS: ESTUDO DE CASO EM
RECIFE – PE

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na Área de Concentração de Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente – Controle e Remediação da Poluição.

Aprovada em 24 de agosto de 2023,

Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda
Presidente da Banca e Orientador

Prof. Dr. Francisco das Chagas da Costa Filho
Coorientador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Diogo Henrique Fernandes da Paz
Instituto Federal de Pernambuco - IFPE

Profa. Dra. Soraya Giovanetti El-Deir
Universidade Rural Federal de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Dedico àqueles que partiram, mas deixaram um lindo legado de amor, sabedoria e coragem: Marinalva de Lima Simões, Cícero Cristino Bezerra e Paulo Simões, meus amados avós (*In memoriam*).

Aos meus pais, Rosineide Simões e Rômulo César, sempre me ensinaram a enfrentar as dificuldades que a vida pode apresentar, continuamente apoiam minhas escolhas e seguem segurando minha mão com tanto amor durante toda essa jornada.

À minha filha, Maria Luísa, que é minha maior fonte de inspiração de vida e a força que me conduz aos caminhos que percorro hoje.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder saúde, pelas oportunidades de crescimento pessoal e aprendizado durante esta etapa;

Aos meus pais Rosineide Simões e Rômulo César, pelo amor e apoio incondicional, pela dedicação, motivação e confiança em mim. A minha filha, Maria Luísa, que é minha maior realização e inspiração. A minha avó Benedita, por seu carinho e palavras de sabedoria sempre que nos vemos; e a todos os familiares que vibram comigo por todas as minhas realizações.

Ao meu orientador, Prof. Doutor Romildo Morant de Holanda e ao meu Coorientador Prof. Doutor Francisco das Chagas da Costa Filho, por acreditarem na minha capacidade, pela dedicação, atenção, disposição, e paciência, dentre tantos outros aportes que tornaram possível alcançar este sonho;

A Roberta Benuccy, que abriu as portas da sua casa e me acolheu carinhosamente todas as vezes que se fez necessária à minha presença em Recife para as pesquisas de campo, entre outras questões acadêmicas, pelo incentivo e participação de todas as formas durante todo esse trajeto. A Giliane Cordeiro, por todo incentivo, conselhos e sua disponibilidade em auxiliar sempre que preciso. A Edicle Moura, Pâmela Lima, Thayza Luna, e tantas outras pessoas especiais que compartilham junto comigo as dores e alegrias dessa jornada. Sem vocês essa caminhada não seria possível. Minha gratidão e carinho a todos;

Também presto meus agradecimentos a Universidade Rural Federal de Pernambuco, pelo fornecimento de meio de transporte e profissionais éticos que foram necessários para a concretização da pesquisa de campo, ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Ambiental - PPEAMB, aos nobres mestres que compartilharam com tanta presteza seus conhecimentos científicos, aos meus colegas e amigos da pós-graduação, especialmente, a Janielly Mantovani, pelos momentos de ajuda e apoio mútuos. A Mirella Marques, Karina Andrade e Janielle Matos que estiveram comigo dividindo os momentos de angústias, dúvidas e felicidade.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco - FACEPE, pelo apoio financeiro e ao Grupo de Pesquisa Centro de Inovação Tecnológica Aplicada aos Recursos Naturais – CITAR pela convivência, compartilhamento de experiências e colaborações.

À banca de qualificação e defesa, pelo tempo e pelas sugestões que ofereceram ao meu trabalho.

Por fim, presto minha gratidão a todos aqueles que direta e indiretamente colaboraram para o êxito da minha caminhada. A todos vocês, muito obrigada!

RESUMO

A produção mundial de equipamentos eletroeletrônicos aumenta a cada ano, levando a um consumo mais acelerado e um descarte mais frequente desses produtos, muitas vezes de forma inadequada. Diante desse cenário de alta geração e potencial poluição, foram criadas normas legais e acordos setoriais para aprimorar o sistema de logística reversa de resíduo de equipamento eletroeletrônico, buscando uma gestão mais eficiente e sustentável desses resíduos. Assim, para alcançar uma gestão plena e efetiva, é fundamental planejar o desenvolvimento urbano de longo prazo. À vista disso, os pontos de coleta tornam-se parte importante na cadeia de gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, uma vez que a qualidade da coleta em conjunto a uma correta segregação interfere no desempenho de etapas subsequentes. Dessa maneira, a pesquisa objetiva analisar as práticas de gerenciamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos em áreas de grandes concentrações urbanas e a influência da funcionalidade dos pontos de coleta na gestão sustentável. Para tanto, foram realizadas quatro etapas: identificação das práticas de gestão de REEE em áreas de grandes concentrações urbanas; analisar qualitativamente os meios de coleta e a sua relação com o gerenciamento sustentável dos REEE; diagnóstico da gestão de REEE na área em estudo e aplicação de geotecnologias para auxiliar na gestão sustentável dos REEE da pesquisa. Com relação ao desenvolvimento das etapas, incluíram algumas atividades, tais como, pesquisas exploratórias bibliométricas em bases de dados eletrônicos, visitas técnicas em áreas de recebimento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos para identificação e caracterização de pontos de coleta e nas empresas especializadas no gerenciamento dos respectivos resíduos, caracterização da vulnerabilidade social da cidade e elaboração de mapas temáticos. Os resultados mostraram que o tema é relevante na literatura científica nacional e internacional, e apesar de haver normas e políticas públicas para o manejo adequado dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, ainda há desafios de fiscalização e monitoramento. Também se destacou que a cidade de Recife não dispõe de pontos de coleta suficientes em muitas regiões, especialmente nas áreas mais vulneráveis, das quais, estão distantes dos locais que possui. Foram propostas algumas recomendações para melhorar o sistema de logística reversa de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos na cidade, levando em conta as demandas e especificidades dos diferentes bairros.

Palavras-chave: Geotecnologia; Gestão sustentável; Logística reversa; Pontos de coleta; REEE.

ABSTRACT

The worldwide production of electrical and electronic equipment increases every year, leading to faster consumption and more frequent disposal of these products, often inappropriately. Faced with this scenario of high generation and potential pollution, legal norms and sectoral agreements were created to improve the reverse logistics system for waste electrical and electronic equipment, seeking a more efficient and sustainable management of this waste. Thus, to achieve full and effective management, it is essential to plan long-term urban development. In view of this, collection points become an important part of the waste electrical and electronic equipment management chain, since the quality of collection together with correct segregation interferes with the performance of subsequent stages. In this way, the research aims to analyze the management practices of waste electrical and electronic equipment in areas of large urban concentrations and the influence of the functionality of the collection points in sustainable management. To this end, four stages were carried out: identification of WEEE management practices in areas with large urban concentrations; qualitatively analyze the means of collection and their relationship with the sustainable management of WEEE; diagnosis of WEEE management in the study area; and application of geotechnologies to assist in the sustainable management of WEEE in the study area. For the development of the stages, some activities were included, such as bibliometric exploratory research in electronic databases, technical visits to areas where waste electrical and electronic equipment is received to identify and characterize collection points and to companies specialized in managing the respective waste, characterization of the city's social vulnerability and creation of thematic maps. The results showed that the theme is relevant in the national and international scientific literature, and despite the existence of norms and public policies for the proper management of waste electrical and electronic equipment, there are still inspection and monitoring challenges. It was also highlighted that the city of Recife does not have enough collection points in many regions, especially in the most vulnerable areas, which are far from the places it has. Some recommendations were proposed to improve the reverse logistics system for waste electrical and electronic equipment in the city, taking into account the demands and specificities of the different neighborhoods.

Keywords: Collection points; Geotechnology; Sustainable management; Reverse logistics; WEEE.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Projeção da quantidade gerada de REEE de 2014 até 2030	24
Figura 2 - Objetivos de Desenvoltimentos Sustentáveis	32
Figura 3 - Procedimentos metodológicos da pesquisa	44
Figura 4 - Área de estudo	46
Figura 5 - Passos metodológicos para análise bibliométrica.....	47
Figura 6 - Variáveis de vulnerabilidade social	52
Figura 7 - Procedimentos metodológicos para a construção do mapa de vulnerabilidade social	54
Figura 8 - Passos percorridos para o levantamento de dados	55
Figura 9 - Roteiro semiestruturado aplicado junto aos representantes das empresas.....	56
Figura 10 - Quantitativo de publicações no período de 2012 a 2022	58
Figura 11 - Nuvem de palavras	61
Figura 12 - Mapa da fragilidade dos moradores.....	73
Figura 13 - Mapa da fragilidade de serviços urbanos.....	74
Figura 14 - Mapa da vulnerabilidade social	76
Figura 15 - Inventário de levantamento de pontos de coleta de REEE	82
Figura 16 - Modelos de PEV da Green Eletron.....	84
Figura 17 - Registro fotográfico de coletores identificados nas visitas técnicas.....	85
Figura 18 - Fluxograma dos processos adotados pelas empresas identificadas	87
Figura 19 - Registro do acondicionamento dos REEE coletados.....	88
Figura 20 - Distribuição de pontos de coleta por setores públicos e privados	90
Figura 21 - Distribuição de pontos de coleta a respeito do tipo coleta e outras características	92
Figura 22 - Distribuição espacial das empresas atuantes no gerenciamento dos REEE em Recife-PE.....	94
Figura 23 - Relação da disposição dos pontos de coleta e as áreas vulneráveis	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Categorias de EEE pela Diretiva Europeia 2012/19/EU.....	20
Quadro 2 - Classificação dos equipamentos eletroeletrônicos no Brasil	20
Quadro 3 - Elementos nocivos à saúde humana que estão associadas aos REEE.....	25
Quadro 4 - Possíveis implicações relacionadas à gestão ineficiente de REEE.....	28
Quadro 5 - Instrumentos regulatórios vigentes relevantes para a gestão de REEE	34
Quadro 6 - Benefícios da implementação do Sistema de Logística Reversa - SLR	40
Quadro 7 - Análise SWOT do cenário da logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos	40
Quadro 8 - Variáveis utilizadas para a caracterização de serviços urbanos.....	50
Quadro 9 - Variáveis utilizadas para a caracterização dos moradores	51
Quadro 10 - Pesos e notas para a construção do mapa de vulnerabilidade social.....	53
Quadro 11 - Roteiro semiestruturado aplicado junto aos representantes das empresas.....	55
Quadro 12 - Dados da busca sistemática para o levantamento bibliométrico.....	58
Quadro 13 - Principais teóricos, métodos e descrição de seus estudos.....	62
Quadro 14 - Caracterização dos métodos de gerenciamento por cenário	63
Quadro 15 - Dados da busca sistemática para o levantamento bibliométrico.....	69
Quadro 16 - Principais teóricos, métodos e descrição de seus estudos.....	69
Quadro 17 - Relação das vantagens e desvantagens dos meios de coleta.....	71
Quadro 18 - Inventário de pontos de coleta confirmados mediante visita técnica.....	82
Quadro 19 - Características dos PEV da Green Eletron.....	83
Quadro 20 - Inventário das empresas identificadas, tipologias coletadas e seus meios de coleta.....	85
Quadro 21 - Caracterização das Regiões Político-Administrativas de Recife -PE	89
Quadro 22 - Sugestões de procedimento para a otimização do gerenciamento de REE.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição da contribuição científica por região geográfica	59
Tabela 2 – Relação periódicos suas contribuições e fator de impacto	60
Tabela 3 - Identificação de bairros com alta densidade populacional e alto poder aquisitivo	78

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	13
2.1.	Objetivo geral	13
2.2.	Objetivos específicos	13
3	REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1.	Gestão de resíduos sólidos e sustentabilidade	14
3.2.	Análise da vulnerabilidade social na gestão de resíduos sólidos	17
3.3.	Equipamentos eletroeletrônicos	19
3.4.	Resíduos equipamentos eletroeletrônicos (REEE)	22
3.5.	Gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos	27
3.5.1.	Instrumentos legais de gestão de REEE	31
3.5.1.1.	Acordos Internacionais	31
3.5.1.2.	Legislação Nacional	35
3.5.1.3.	Legislação do Estado de Pernambuco	37
3.5.2.	Práticas sustentáveis de gestão de REEE	38
3.5.3.	Gerenciamento de REEE em Recife-PE	42
4	MATERIAIS E MÉTODOS	43
4.1.	Levantamento das práticas sustentáveis de gestão de REEE em áreas de grandes concentrações urbanas	46
4.2.	Análise qualitativa dos meios de coleta sustentáveis	48
4.3.	Caracterização da área de estudo e gestão atual de REEE	49
4.3.1.	Fase 1 - Caracterização da vulnerabilidade social da área de estudo	49
4.3.2.	Fase 2 - Gestão atual de REEE em Recife, Pernambuco	54
4.4.	Aplicação de geotecnologias	56
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
5.1.	Levantamento das práticas sustentáveis de gestão de REEE em áreas de grandes concentrações urbanas	57
5.1.1.	Estudo bibliométrico das práticas sustentáveis de gestão de REEE	57
5.1.2.	Levantamento de práticas e estratégias sustentáveis de gerenciamento de REEE	61
5.2.	Análise qualitativa dos meios de coleta sustentáveis	68
5.3.	Caracterização da área de estudo e gestão atual de REEE no município de Recife/PE	72
5.3.1.	Fase 1 – Caracterização da vulnerabilidade social da área de estudo	72

5.3.2. Fase 2 - Gestão de REEE em Recife- PE	81
5.4. Aplicação de geotecnologias e sugestões de procedimentos	89
6 CONCLUSÕES	98
SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	99
REFERÊNCIA.....	100
ANEXO (S).....	113

1 INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, os avanços tecnológicos atrelados ao padrão de consumo, a redução de vida útil e a poucas opções de reparos para os equipamentos eletroeletrônicos (EEE), que possivelmente ocorre devido à carência de peças para esses produtos tornando-os ultrapassados, apresenta celeridade na obsolescência desses equipamentos, estimulando uma grande geração de resíduos no mundo, em consequência, a baixa porcentagem de coleta e de tratamento, representando riscos significativos ao meio ambiente e a saúde. A geração de Resíduos de Equipamentos eletroeletrônicos (REEE), em centros urbanos, requer atenção quanto às etapas de coleta e reciclagem para reduzir a disposição destes materiais em aterros sanitários e lixões, seguindo as tendências das cidades inteligentes (Forti *et al.*, 2020).

Em se tratando das etapas do gerenciamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), o ponto de coleta possui grande relevância para a eficiência desse processo, uma vez que a qualidade da coleta e da segregação dos resíduos é algo crítico para o desempenho das outras etapas, como a reciclagem ou remanufatura (Santos, 2018).

A gestão do resíduo eletroeletrônico está intimamente relacionada de forma direta e indiretamente a muitos objetivos e metas do desenvolvimento sustentável. A Agenda 2030 da ONU estabelece 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS e 169 metas para alcançar um mundo mais justo e sustentável. Neste contexto, o ODS 11, que visa “tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis”, e o ODS 12, que propõe “assegurar padrões de consumo e produção sustentáveis”, são os mais relacionados ao tema deste trabalho (ONU, 2015).

No Brasil, a Lei Federal de nº 12.305 (Brasil, 2010), que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), recomenda o tratamento e a destinação correta dos resíduos sólidos. Entre as diretrizes da PNRS, pode-se observar o Art. 30 que relata sobre a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos entre fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos. No que corresponde ao gerenciamento de REEE, fica estabelecido pelo Decreto Federal de nº 10.240 (Brasil, 2020) a obrigatoriedade da implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

Vale salientar que a Lei Federal de nº 12.305 (Brasil, 2010), em seu Capítulo III, Art. 8º, § VIII menciona a Educação Ambiental - EA como uma ferramenta determinante para o tratamento adequado e sustentável dos resíduos sólidos, pois por meio do processo de mobilização social, divulga-se a importância da população manter hábitos voltados para a

sustentabilidade, além de torná-la corresponsável e coparticipante no processo de gestão dos resíduos sólidos em geral.

A gestão de resíduos é um desafio complexo e multidimensional, que envolve aspectos ambientais, econômicos, sociais e políticos. Nesse contexto, a vulnerabilidade social é um fator que influencia e é influenciado pela forma como os resíduos são gerados, coletados, tratados e destinados, pois uma inadequada pode agravar a vulnerabilidade social, ao gerar impactos negativos sobre a saúde, o meio ambiente, a qualidade de vida e a dignidade humana (Schueler et al., 2018; Santos; Ogunseitan, 2022).

Dessa forma, em consonância com a Política Estadual de Resíduos Sólidos, que objetiva “garantir o uso racional dos recursos naturais” e reduzir os impactos ambientais, a análise das práticas de gestão de REEE na cidade de Recife, juntamente com o levantamento e caracterização dos pontos de coleta, contribuirá com a efetivação de um sistema de logística reversa mais eficiente, a fim de promover um melhoramento na economia circular desses resíduos.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

- Analisar as práticas de gerenciamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) em áreas de grandes concentrações urbanas e a influência da utilização dos pontos de coleta na gestão sustentável.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar as práticas de gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos em áreas de grandes concentrações urbanas;
- Compreender a influência da implantação de pontos de coleta de resíduos na gestão dos REEE em áreas de grandes concentrações urbanas;
- Realizar um diagnóstico da situação do serviço de coleta de REEE na cidade de Recife-PE;
- Avaliar a influência da vulnerabilidade social na gestão dos REEE;
- Mapear os pontos de coleta de REEE da cidade de Recife-PE por meio de sistema de informação geográfica (SIG).

3 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura foi organizada em cinco seções, a primeira, são abordados os conceitos de resíduos sólidos, bem como os princípios e objetivos da gestão integrada de resíduos sólidos. Além disso, são discutidos os aspectos da sustentabilidade ambiental, social e econômica relacionados à gestão de resíduos sólidos. Na segunda seção, são analisados os fatores sociais que influenciam a gestão de resíduos sólidos. A terceira seção apresenta os equipamentos eletroeletrônicos, descrevendo as principais definições, categorias e especificações técnicas dos EEE encontradas na literatura, bem como as informações sobre a produção, a economia, o consumo e a geração de resíduos desses equipamentos no mundo e no Brasil. No que se refere à quarta seção, são abordados aspectos sobre os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, quanto a composição e impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana. Na quinta e última seção, é contextualizada a gestão dos REEE no âmbito internacional, nacional e local. São apresentados os instrumentos legais relevantes para a gestão de REEE, tais como as convenções internacionais, as diretrizes da União Europeia, a Política Nacional de Resíduos Sólidos e as normas técnicas brasileiras. Em seguida, são descritas as práticas sustentáveis de gestão de REEE adotadas em alguns países desenvolvidos e em desenvolvimento. Por fim, é feito um diagnóstico da situação atual do gerenciamento de REEE em Pernambuco e no município de Recife, identificando-se os principais desafios e oportunidades para a melhoria desse processo.

3.1. Gestão de resíduos sólidos e sustentabilidade

A gestão de resíduos sólidos é um desafio atual que abrange três dimensões da sustentabilidade: ambiental, social e econômica. O cenário atual é alarmante, pois a produção e o descarte de resíduos têm crescido de forma significativa, provocando vários problemas ambientais, sociais e econômicos, como a poluição, a contaminação, a degradação, a exclusão, a pobreza e o desperdício.

Uma forma de contribuir para a sustentabilidade ambiental é fazer uma boa gestão dos resíduos sólidos produzidos pela sociedade. Isso implica em diminuir a quantidade e o impacto desses resíduos por meio de práticas como a redução, reutilização e reciclagem (Schneider *et al.*, 2023). Além disso, é preciso levar em consideração os aspectos sociais que envolvem a gestão dos resíduos sólidos, reconhecendo as condições e as necessidades das comunidades que lidam com esses resíduos (Pinto *et al.*, 2020).

No desenvolvimento de atividades rotineiras são geradas inúmeras quantidades de resíduos diariamente. O termo "lixo" não é o mais adequado para se referir aos materiais que não têm utilidade para quem os descarta, pois estes podem ter valor para outras pessoas ou fins. Por isso, é preferível usar o conceito de "resíduos sólidos", que engloba diversos tipos de materiais e possibilidades de reaproveitamento. No entanto, há também resíduos perigosos, que exigem um tratamento especial para evitar a contaminação do meio ambiente (Feitosa *et al.*, 2020).

Monteiro (2020) afirma que o impacto negativo da geração de resíduos sólidos não é exclusivo dos países ocidentais, e sim um problema global. As dificuldades enfrentadas, principalmente em perímetros urbanos, têm chamado a atenção para a necessidade de se encontrar soluções. Na Europa, onde o conceito de gestão de resíduos sólidos - GRS tem sido um exemplo para diversas partes do mundo, são desenvolvidas hierarquias que abrangem cinco etapas: prevenção, reutilização, reciclagem, recuperação e disposição final (União Europeia, 2008).

Segundo a Lei nº 12.305/2010 (Brasil, 2010) que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, resíduos sólidos - RS são quaisquer materiais, substâncias, objetos ou bens que sejam descartados após as atividades humanas em sociedade. Esses resíduos podem estar nos estados sólido ou semissólido, ou ainda serem gases em recipientes ou líquidos que não possam ser despejados na rede de esgotos ou nos corpos d'água, por motivos técnicos ou econômicos. Os resíduos definidos como resíduos domiciliares derivados das atividades domésticas de residências urbanas e resíduos de limpeza urbana originários da varrição, de limpeza de logradouros e de vias públicas e outros serviços de limpeza urbana, são denominados Resíduos Sólidos Urbanos - RSU (Brasil, 2010). Os RSU são compostos principalmente por matéria orgânica (45,3%), resíduos recicláveis secos (35%) e rejeitos (21,1%) de acordo com Sistema Nacional de Informações sobre Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR, 2021).

Um importante instrumento da PNRS é o Plano de Gestão de Resíduos Sólidos, para planejamento em níveis nacional, estadual, microrregional, intermunicipal, metropolitano e municipal. Esses planos devem conter diagnóstico, cenários, metas, programas, projetos e ações para a redução, reutilização e reciclagem dos resíduos, bem como para a eliminação dos lixões, com a inclusão social dos catadores de materiais recicláveis (Besen *et al.*, 2017).

A PNRS define o que são gerenciamento e gestão integrada de resíduos sólidos, que são ações relacionadas ao manejo adequado dos resíduos desde a sua coleta até a sua destinação

final, levando em conta os aspectos políticos, econômicos, ambientais, culturais e sociais, com participação da sociedade e visando o desenvolvimento sustentável (Brasil, 2010).

A gestão integrada de resíduos sólidos é um processo que envolve a participação de todos os agentes envolvidos na geração, coleta, transporte, tratamento e disposição final desses resíduos, buscando soluções que sejam ambientalmente adequadas, economicamente viáveis e socialmente justas. Os princípios e objetivos da gestão integrada de resíduos sólidos são baseados na prevenção e redução da geração de resíduos, na valorização dos resíduos por meio da reciclagem e da compostagem, na responsabilidade compartilhada entre poder público, setor produtivo e sociedade civil, na educação ambiental e na inclusão social dos catadores de materiais recicláveis (Brasil, 2010).

O destino adequado dos resíduos sólidos requer um planejamento e uma orientação dos serviços de limpeza urbana que abrangem todas as etapas desde a sua produção até o seu descarte final, buscando aproveitar o seu potencial como recurso material e enviando apenas os rejeitos para a disposição final. Porém, o gerenciamento dos resíduos deve se iniciar na origem geradora, que implica nas ações de não produção (ou redução), separação e o acondicionamento correto. A gestão é um elemento essencial para o sucesso de qualquer processo, pois permite melhorar o seu desempenho e atingir os objetivos planejados. No caso dos RSU, a gestão também é importante por vários motivos, que incluem a dimensão econômica, já que no planejamento da venda de bens e serviços, os custos sociais da geração de resíduos não são considerados (Pinto *et al.*, 2020).

Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2021), o Brasil gerou cerca de 79 milhões de toneladas de RSU em 2019, sendo que apenas 59% desse total foram coletados. Os RSU têm origem em três fontes principais: residências, comércios e serviços municipais. A geração de RSU está relacionada a vários fatores, como o tamanho e o nível de desenvolvimento da população, o grau de urbanização, os hábitos de consumo e a renda das pessoas. O aumento do consumo sem consciência ambiental leva a uma maior produção de resíduos (Lima *et al.*, 2014).

Os RSU podem causar diversos problemas ambientais e sociais se não forem tratados adequadamente, como poluição, doenças, contribuir para a formação de enchentes e desperdício de recursos. Por isso, é importante buscar formas de reduzir, reutilizar e reciclar os RSU, além de implantar sistemas de coleta seletiva e outras destinações finais adequadas (Pinto *et al.*, 2020).

Diante desse cenário, torna-se urgente a implementação de estratégias de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, uma vez que esses materiais possuem um potencial poluidor

elevado. Essas estratégias visam a propor soluções que reduzam os impactos socioambientais, socioeconômicos e sanitários decorrentes da geração e destinação inadequada dos resíduos (Gil, 2016).

As cidades são os locais onde ocorrem a maior parte do crescimento econômico, que depende de um alto consumo de recursos e energia. As indústrias e os serviços se localizam nas áreas urbanas, que atraem empresas e pessoas qualificadas. Com o aumento da produtividade, o consumo também aumenta, gerando mais acúmulo e descarte de bens (Besen *et al.*, 2017).

Segundo a legislação brasileira, a reciclagem é um processo de transformação dos resíduos sólidos, que altera suas propriedades físicas, químicas e biológicas, visando a obtenção de materiais ou produtos úteis (Brasil, 2010). Essa atividade tem um caráter econômico, mas deve ser considerada como parte de um conjunto de ações integradas na gestão dos resíduos sólidos, e não como a única ou principal “solução” para o problema destes, pois nem todos os materiais são recicláveis do ponto de vista técnico ou econômico (Berticelli; Pandolfo; Korf, 2016).

Os benefícios da reciclagem podem ser observados em diversos aspectos: redução da exploração de recursos naturais; economia de energia; diminuição da poluição do solo, água e ar; melhoria da limpeza das cidades e qualidade de vida das pessoas; aumento da vida útil dos aterros sanitários; incentivo à separação dos resíduos; criação de empregos; abertura de novos mercados; promoção da concorrência; fortalecimento da valorização da limpeza pública e do pensamento ambiental (Feitosa *et al.*, 2020).

De acordo com Gil (2017), são vários os fatores vinculados à origem dos resíduos, como o nível cultural, a renda, hábitos de consumo, clima e características populacionais. Em síntese, a gestão de resíduos sólidos e a sustentabilidade são temas interligados e devem ser pensadas de forma integrada, considerando não apenas os aspectos técnicos e ambientais, mas também os fatores sociais envolvidos (Feitosa *et al.*, 2020).

A análise da vulnerabilidade social na gestão de resíduos, com foco especial nos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, revela a importância de garantir que as políticas e práticas de gestão sejam inclusivas e equitativas, levando em conta as necessidades das comunidades (Santos; Ogunseitan, 2022).

3.2. Análise da vulnerabilidade social na gestão de resíduos sólidos

De acordo com Schneider *et al.* (2023), a gestão adequada dos resíduos é um desafio enfrentado por muitos municípios e a falta de abordagem adequada pode acentuar as

desigualdades sociais e agravar a vulnerabilidade das comunidades mais marginalizadas, a vulnerabilidade social pode ser entendida como a condição de fragilidade ou desvantagem de indivíduos ou grupos sociais frente a situações de risco, violência, exclusão ou privação de direitos.

A gestão de resíduos sólidos envolve a coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos, bem como a implementação de políticas e práticas. No entanto, é fundamental considerar a dimensão social desse processo, levando em conta as desigualdades socioeconômicas e as influências desproporcionais que podem recair sobre determinados grupos populacionais (Lima *et al.*, 2014).

Nesse contexto, os catadores de materiais recicláveis desempenham um papel fundamental, pois contribuem para a redução do volume de lixo destinado aos aterros sanitários, para a preservação dos recursos naturais e para a geração de renda para milhares de famílias em situação de vulnerabilidade social. Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2022), existem cerca de 800 mil catadores no Brasil que são responsáveis por coletar 90% de todo o material reciclado do país.

Os catadores de materiais recicláveis são considerados agentes ambientais e sociais na cadeia produtiva dos resíduos, pois realizam um trabalho que beneficia tanto o meio ambiente quanto a sociedade. No entanto, estes enfrentam diversas dificuldades, como a falta de reconhecimento, a precarização das condições de trabalho, a exposição a riscos à saúde e à segurança, a discriminação e o preconceito. Esses fatores sociais influenciam negativamente a gestão de resíduos sólidos, pois dificultam a organização, a capacitação e a valorização dos catadores, que são essenciais para o desenvolvimento de uma política pública efetiva e integrada nessa área (Barros; Silveira, 2019).

Os estudos de Feitosa *et al.* (2020) e Schneider *et al.* (2023), oferecem insights valiosos sobre a importância dos indicadores de sustentabilidade na avaliação da gestão de resíduos sólidos urbanos e ressaltam a necessidade de envolvimento da população e de ações educativas para promover a conscientização e o engajamentos da sociedade nesse processo. Essas contribuições são relevantes para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes e para a construção de cidades mais sustentáveis e resilientes.

Segundo Barros; Silveira (2019) e Ventura; Oliveira (2019) as regiões mais pobres são as mais atingidas com o descarte inadequado de resíduos, devido à falta de informação e de recurso. No Brasil, a desigualdade social e a degradação ambiental evidenciam o histórico déficit de infraestrutura urbana, assim, os baixos investimentos em saneamento ambiental aumentam o grau de vulnerabilidade dessas áreas (Schueler *et al.*, 2018).

Ainda de acordo com Schueler *et al.* (2018), as favelas são áreas urbanas de difícil acesso para a coleta mecanizada de resíduos e muitos moradores não fazem a separação adequada dos diferentes tipos de lixo, o que afeta o gerenciamento e a saúde pública. Ventura; Oliveira (2019) destacam que a falta de informação sobre o destino correto de objetos antigos ou inutilizados e a existência de terrenos baldios com pouca fiscalização contribuem para a variedade de resíduos encontrados no meio urbano.

Um dos aspectos que revela a situação de desigualdade social de uma população é a vulnerabilidade social, que se refere à falta de condições adequadas de vida em termos de infraestrutura urbana, capital humano e renda e trabalho. De acordo com pesquisas realizadas por Pinto; Santos; Rocha (2018), na Região Metropolitana de Recife - RMR, por exemplo, apresentou um aumento de 16% na sua vulnerabilidade social entre 2011 e 2015, o que significa um agravamento da situação na região. Esse resultado contrasta com a tendência de redução de 24% dessa vulnerabilidade observada na década anterior (2000-2010).

A dimensão de infraestrutura urbana foi a que mais contribuiu para o aumento da vulnerabilidade social na RMR, que passou de 43% em 2011 para 86% em 2015. Entre os fatores que explicam esse resultado, destaca-se a precariedade do serviço de coleta de lixo, conforme aponta os autores supracitados Pinto; Santos; Rocha (2018).

3.3. Equipamentos eletroeletrônicos

Com o início da terceira Revolução Industrial, conhecida como Indústria 3.0, houveram modificações nos modos de produção, como também do campo científico e, consequentemente, nas relações sociais existentes (Torres, 2021). Essa Revolução ficou marcada como a era da computadorização, devido ao uso de eletrônicos e da tecnologia da informação, possibilitando uma maior flexibilidade e eficiência na produção (Lordelo; Santos, 2020; Silva; Lins, 2020). Contudo, foi a partir de 1970 que ocorreu um aumento significativo no uso de equipamentos eletrônicos.

Os Equipamentos Eletroeletrônicos (EEE) são formados por circuitos elétricos e eletrônicos que representam, armazenam, transmitem ou processam informações para o seu correto funcionamento, podendo ser de uso doméstico, industrial, comercial e de serviços conforme Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2013). Para efeitos da Diretiva Europeia 2012/19/UE (UE, 2012), entende-se por equipamento eletroeletrônico os que cujo funcionamento depende de corrente elétrica ou campos eletromagnéticos, sujeitos a uma tensão

nominal não superior a 1.000 V para corrente alternada e 1.500V para corrente contínua. Os componentes eletrônicos são essenciais para funcionamento dos circuitos do equipamento, são exemplos o resistor, transistor, capacitor e o diodo. Estes são responsáveis por definir os níveis de corrente e tensão elétrica do equipamento (Souza, 2014).

A Diretiva 2012/19/UE (UE, 2012) relativa aos REEE, categoriza os EEE usando fatores que incluem tamanho, peso, funcionalidade e composição, abrangendo 06 (seis) categorias de EEE, conforme apresentado no quadro abaixo (Quadro 1).

Quadro 1 - Categorias de EEE pela Diretiva Europeia 2012/19/EU

CATEGORIA	TIPOS DE EQUIPAMENTOS ABRANGIDOS
1. Equipamentos de regulação da temperatura	Frigoríficos; congeladores; equipamentos de distribuição automática de produtos frios; equipamentos de ar condicionado; entre outros.
2. Telas, monitores e equipamentos com ecrãs (telas) de superfície superior a 100 cm ²	Telas; aparelhos de televisão; molduras fotográficas LCD; monitores, computadores portáteis (laptop, notebooks); entre outros.
3. Lâmpadas	Lâmpadas fluorescentes clássicas; lâmpadas de descarga de alta intensidade, incluindo lâmpadas de haletos metálicos; lâmpadas de sódio de baixa pressão; LED; entre outros.
4. Equipamentos de grandes dimensões	Máquinas de lavar roupa; secadores de roupa; máquinas de lavar louça; fogões; fornos elétricos; aparelhos de iluminação; equipamento para reproduzir sons ou imagens; entre outros.
5. Equipamentos de pequenas dimensões	Aspiradores; aparelhos de limpeza de alcatifas; micro-ondas; equipamentos de ventilação; ferros de engomar; torradeiras; cafeteiras elétricas; relógios; balanças; entre outros.
6. Equipamentos informáticos e de telecomunicações de pequenas dimensões (com nenhuma dimensão externa superior a 50cm)	Telemóveis (celulares), GPS, calculadoras de bolso, <i>routers</i> , computadores pessoais, impressoras, telefones.

Fonte: Adaptado de UE (2012).

No Brasil, a ABNT (2013), por meio da NBR 16.156, também define equipamentos eletroeletrônicos, como o que cujo funcionamento depende de correntes elétricas ou campo magnético e, estão agrupados de acordo com Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2013) em quatro grandes categorias: linhas branca, verde, azul e marrom, (Quadro 2). Entretanto, ao final da vida útil destes produtos tornam-se resíduos, sendo comum classificá-los com as mesmas linhas apresentadas.

Quadro 2 - Classificação dos equipamentos eletroeletrônicos no Brasil

LINHAS	BRANCA	AZUL	VERDE	MARROM
TIPOLOGIAS	Geladeira, refrigeradores, fogões, lava-roupas, ar-condicionado.	Batedeiras, liquidificadores, ferro elétrico, furadeira.	Desktops, notebooks, impressoras, celulares.	Televisor tubo/monitor, televisor plasma/LCD/monitor, DVD/VHS e produtos de áudio.

Quadro 2 - Classificação dos equipamentos eletroeletrônicos no Brasil (Cont.)

LINHAS	BRANCA	AZUL	VERDE	MARROM
VIDA ÚTIL	~10 a 15 anos (longa)	~10 a 12 anos (longa)	~2 a 5 anos (curta)	~5 a 13 anos (média)
PORTE	~30kg a 70kg (grande)	~0,05kg a 5kg (pequeno)	~0,09kg a 30kg (pequeno)	~1kg a 35kg (médio)
COMPOSTO PRINCIPAL	Metais	Plásticos	Metais e Plásticos	Plásticos e Vidro
OUTRAS INFORMAÇÕES	Menor diversidade de componentes		Grande diversidade de componentes	

Fonte: Adaptado de ABDI (2013).

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica - ABINEE (2022), a indústria eletroeletrônica encerrou 2021 com faturamento de R\$ 211,3 bilhões, um crescimento nominal de 22% em relação a 2020 (R\$ 173,2 bilhões). Em termos reais, ou seja, descontando a inflação do setor, o aumento foi de 5%. Na produção industrial, houve incremento de 1,4% em relação a 2020. Para 2022, as empresas do setor projetaram crescimento de 9% no faturamento em relação a 2021, o que representa incremento de 2% em termos reais. Esta projeção é compatível com a estimativa de crescimento do PIB (produto interno bruto), de cerca de 1%.

Os investimentos da indústria eletroeletrônica devem aumentar 15%, totalizando R\$ 4 bilhões. A estimativa da ABINEE é de que o número de empregos aumentasse para 272 mil em 2022, um incremento de 3%. Já as exportações e importações, as previsões de aumento eram respectivamente de: 12% e 11% (ABINEE, 2022).

De acordo com Opris (2020), a produção e o consumo de produtos eletroeletrônicos têm um alto impacto ambiental, pois se baseiam em um modelo de recursos limitados e descartáveis. A indústria eletroeletrônica não aproveita de forma sustentável os materiais que utiliza, nem incentiva o reaproveitamento ou a reciclagem dos mesmos. Isso gera uma situação de desperdício e poluição, que compromete a qualidade de vida das pessoas e do planeta.

À medida que os produtos eletrônicos se tornam mais inovadores, eles também se tornam mais complexos em sua composição e mais integrados ao cotidiano das pessoas. No entanto, os sistemas de coleta e gestão de resíduos eletroeletrônicos não acompanharam essa evolução, na maioria dos casos, deixando de garantir o tratamento adequado dos resíduos eletroeletrônicos. Isso resultou em riscos potenciais de desperdício de recursos e impactos negativos no meio ambiente, bem como na saúde humana (Wang *et al.*, 2016).

Muitos problemas ambientais decorrem da conduta humana, por isso a mudança comportamental é necessária para aproveitar o potencial das inovações tecnológicas que contribuem para a sustentabilidade ambiental. Contudo, a eficácia das estratégias de

intervenção para promover um comportamento pró-ambiental com base em campanhas de informação é limitada, principalmente pelo fato de que a educação ambiental não necessariamente se traduz apenas em ações sustentáveis (Parajuly *et al.*, 2020).

No entanto, compreende-se que o comportamento humano é vinculado a atributos intrínsecos, quando incluem conhecimento, motivação, crenças, hábitos, valores, atitudes, intenções, dentre outras variáveis psicológicas, e características extrínsecas, que compreendem normas sociais e culturais, implicações monetárias e variáveis contextuais, como infraestrutura e restrições institucionais (Martin *et al.*, 2017).

Os consumidores finais de produtos eletrônicos estão diretamente envolvidos nos três estágios principais do ciclo de vida de um produto: compra, uso e gerenciamento de fim de vida. O comportamento e a tomada de decisão dos usuários durante essas etapas têm implicações diretas no sucesso não apenas das opções mais preferidas em uma economia circular (reutilização e reparo), mas também na recuperação posterior de recursos (reciclagem) do produto (Parajuly *et al.*, 2020).

Os elementos sociais e comportamentais ligados ao consumo de bens cotidianos, e como eles precisam ser adaptados para permitir que pessoas comuns facilitem o sucesso de um sistema circular, permanecem em grande parte inexplorados (Camacho-Otero *et al.*, 2018). Em meio às discussões sobre tecnicismos de melhores taxas de coleta e reciclagem de resíduo eletroeletrônico, o importante papel dos usuários na produção e consumo sustentável de produtos eletrônicos parece ter sido negligenciado (Otto *et al.*, 2018).

3.4. Resíduos equipamentos eletroeletrônicos (REEE)

Conforme a Convenção Basileia do *United Nations Environment Programme* (UNEP, 2014), os REEE são classificados no Apêndice VIII, como A1180 (resíduos perigosos: REEE que contêm elementos como baterias, interruptores de mercúrio e os que possuem cádmio, mercúrio, chumbo ou bifenilas policloradas) e no Apêndice IX como B1110 (resíduos não perigosos: partes que sejam somente de metais ou ligas metálicas, placas de circuito impresso, sem as características mencionadas no Apêndice VIII, ou EEE para uso imediato e não para reciclagem ou descarte final), o que proíbe o transporte transfronteiriço de partes e peças dos REEE, sem a autorização de ambas as partes, exportadora e importadora. Os REEE também são conhecidos como lixo eletrônico, resíduo eletrônico, e-lixo ou simplesmente resíduo eletroeletrônico. Pode-se citar, como exemplo de REEE, celulares, notebooks, tablets,

impressoras, fones de ouvido, aparelhos de som, dentre outros equipamentos descartados (Green Eletron, 2022).

A ONU estimou em 2019 que foram gerados 53,6 milhões de toneladas desses resíduos no mundo, sendo que apenas 17,4% foram reciclados. Esses resíduos contêm elementos nocivos à natureza e à saúde humana, como metais pesados, plásticos e gases tóxicos (Forti *et al.*, 2020).

De acordo com Ricardo, Morais e Zanella (2016), grande parte do lixo eletrônico é composto por computadores e outros produtos dos setores de informática e telecomunicações, sendo que esse tipo de resíduo contém substâncias prejudiciais ao meio ambiente e, consequentemente, à saúde de pessoas e animais, devido a quantidade significativa de metais pesados presentes nesses equipamentos.

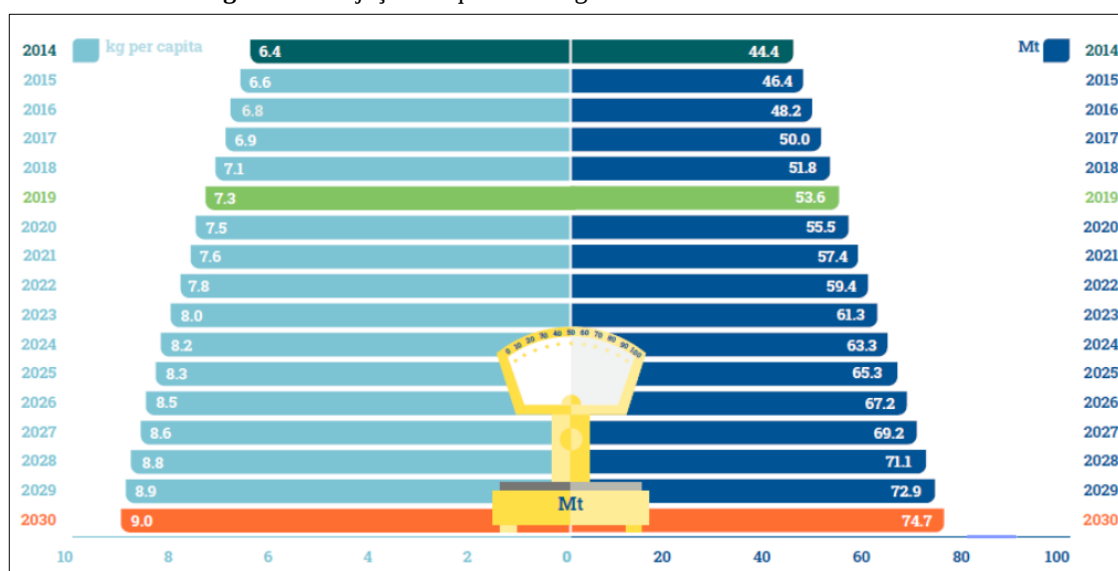
A gestão inadequada desses resíduos pode causar problemas ecológicos e sanitários, como contaminação do solo, da água e do ar, além de doenças respiratórias, neurológicas e câncer (Lima *et al.*, 2014). Um exemplo de contaminação por resíduo eletroeletrônico ocorreu na cidade de Guiyu, na China, onde milhares de pessoas trabalhavam na reciclagem informal de resíduos eletrônicos oriundos de vários países. As atividades de reciclagem realizadas de forma inadequada expuseram os trabalhadores a diversas substâncias tóxicas prejudiciais à saúde humana (Oliveira, 2017).

O descarte dos REEE pode ser atribuído a diferentes causas, como por exemplo a quebra do equipamento ou obsolescência programada, sendo a última, a diminuição do tempo de funcionalidade do produto (Rossini; Napolini, 2017). Outra razão que leva ao descarte dos REEE corresponde a obsolescência de função, também denominada obsolescência tecnológica (Padilha, 2016), que consiste em tornar um produto ultrapassado ao introduzir outro com maior desempenho e eficiência. As inovações de produtos lançados no mercado substancialmente aperfeiçoados criam um alto nível de obsolescência e reduz os ciclos de vida dos produtos, com forte tendência à descartabilidade. Os bens descartados classificados como duráveis após seu primeiro uso tornam-se produtos de pós-consumo, estes, quando ainda apresentam condições de utilização, podem ser destinados ao mercado de segunda mão, denominado “canal reverso de reuso”, podendo ser revendidos e utilizados sem nenhum tipo de remanufatura, até atingir o final da sua vida útil (Leite, 2017).

De acordo com Forti *et al.* (2020), em 2019, foram gerados 8,9 milhões de toneladas a mais do que o ano de 2016. No Brasil, a geração foi de aproximadamente 2,143 milhões de toneladas de REEE, classificando o país como o quinto maior gerador de REEE do mundo. Ainda de acordo com os autores, a quantidade de resíduo eletroeletrônico está aumentando

significativamente a cada ano, estima-se que até 2030 a quantidade gerada ultrapassará 74 Mt ano (Figura 1).

Figura 1 - Projeção da quantidade gerada de REEE de 2014 até 2030



Fonte: Forti et al. (2020).

Esses números são relevantes não apenas em decorrência do impacto ambiental causado pelo descarte inadequado desses materiais, mas também devido à componente econômica que perfaz o cenário de produção, uso e descarte de REEE (Jesus; Santos, 2021).

Atualmente, existem duas normas que regulamentam a gestão de equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo. A NBR 15.833/2010 (ABNT, 2010) relata sobre manufatura reversa de aparelhos de refrigeração. Essa norma estabelece os procedimentos para transporte, armazenagem e desmonte com reutilização e recuperação dos materiais recicláveis. Já a NBR 16.156/2013 (ABNT, 2013) estabelece requisitos para proteção ao meio ambiente e para o controle dos riscos de segurança e saúde no trabalho na atividade de manufatura reversa de resíduos eletroeletrônicos.

Algumas características próprias dos REEE justificam a exigência de processos específicos de gerenciamento (ABDI, 2013). A composição do REEE varia dependendo do tipo de equipamento, do design e da funcionalidade do dispositivo. Os REEE são compostos por uma mistura de diferentes substâncias e, embora as frações dos materiais constituintes tenham variado ao longo dos anos e entre os dispositivos, certas substâncias ainda são comuns (Shittu; Williamd; Shaw, 2021).

Em se tratando de periculosidade, a NBR 10.004 (ABNT, 2004), classifica os resíduos sólidos como resíduos de Classe I (perigosos), Classe II (não perigosos), Classe II A (não inertes

e que podem acarretar riscos à saúde) e Classe II B (inertes e não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente). Em função de sua periculosidade física, química ou contaminante presentes na sua composição, os REEE são classificados como resíduos perigosos (Classe I).

De acordo com o relatório da *Platform for Accelerating the Circular Economy - PACE* (WORD ECONOMIC FORUM, 2019), os REEE representam cerca de 2% dos resíduos sólidos gerados no mundo, mas correspondem a 70% das substâncias perigosas encontradas em aterros. É possível encontrar nos equipamentos eletroeletrônicos cerca de 60 substâncias constantes na tabela periódica, incluindo metais preciosos, pesados e comuns.

Dentre as substâncias perigosas presentes nos REEE, destacam-se metais pesados como mercúrio (Hg), cádmio (Cd) e chumbo (Pb), produtos químicos como os clorofluorcarbonos (CFC), hidroclorofluorcarbonos (HCFC) e retardantes de chamas bromados. Quando não destinados e tratados corretamente, os REEE apresentam grande risco à saúde humana (Quadro 3) e ao meio ambiente (Forti *et al.*, 2020).

Quadro 3 - Elementos nocivos à saúde humana que estão associadas aos REEE

ELEMENTOS	CONSEQUÊNCIA À SAÚDE HUMANA
Alumínio	Alterações neurológicas, tem sido encontrado um alto índice de Al em portadores de Alzheimer, envelhecimento precoce, desloca o Cálcio e Magnésio dos ossos, o que leva a osteoporose, osteopenia. Além de causar anemia e intoxicação crônica.
Antimônio	O antimônio foi classificado como carcinogênico (IARC 2B). Em caso de exposição crônica à essa substância pode causar dor de estômago, vômitos, diarreia e úlceras de estômago.
Arsênio	Causa doenças de pele, prejudica o sistema nervoso e pode causar câncer no pulmão.
Bário	Provoca edema cerebral, fraqueza muscular, danos no coração, fígado e baço, mesmo em exposição de curto prazo.
Berílio	Causa câncer no pulmão, beriliose e doenças de pele. Cancerígeno (IARC 1)
Cádmio	Causa envenenamento, danos aos ossos, câncer de pulmões e próstata, lesões nos rins.
Chumbo	Cólicas abdominais, tremores, fraqueza muscular, lesão renal e cerebral.
Cobalto	Fibrose pulmonar.
Cromo	Asma, câncer.
Fósforo	Náuseas, gastrite, diarreia e vômitos fosforescentes, dor muscular, entre outras coisas.
Mercúrio	Intoxicação do sistema nervoso central. Causa danos cerebrais, rins, fetos, fígado, efeito imunossupressor, dermatites.

Quadro 3 - Elementos nocivos à saúde humana que estão associadas aos REEE (Cont.)

ELEMENTOS	CONSEQUÊNCIA À SAÚDE HUMANA
Níquel	Câncer de pulmão e seios paranasais.
Berílio	Câncer de pulmão, doença cônica de Berílio, doenças de pele.
Selênio	Perda de cabelo, fragilidade das unhas e anormalidade neurológica.
COMPOSTOS HALOGENADOS	CONSEQUÊNCIA À SAÚDE HUMANA
PCB (Policlorobifenila)	Cancerígeno. Afeta o sistema imunológico, reprodutivo, nervoso, endócrino, entre outros.
TBBA (Tetrabromobisfenol A) PBB (Polibromobifenilo) PBDE (Éteres electronic polibromados)	Essas substâncias quando queimadas emitem dioxinas e furanos. Pode causar distúrbios hormonais graves.
(CFC) Clorofluorcarbonos	Câncer de pele e danos genéticos.
PVC (Policloreto de vinila)	Quando queimado, produz grandes quantidades de gás cloro de hidrogênio, que em contato com a água forma ácido clorídrico, podendo causar problemas respiratórios.

Fonte: Adaptado de Ambiente Brasil (2020).

De acordo com a ABDI (2013), os elementos que podem ser encontrados nos REEE têm elevada toxicidade e oferecem dois tipos de riscos:

- Contaminação dos indivíduos que manejam os REEE: estão sujeitos ao risco de contaminação por metais pesados ou outros compostos, tanto as pessoas que mantêm e utilizam os produtos antigos, quanto aos trabalhadores envolvidos com a coleta, triagem, descaracterização e reciclagem.
- Contaminação do meio ambiente: os REEE jamais devem ser dispostos diretamente no meio ambiente ou associado a rejeitos de matéria orgânica. O simples contato dos metais pesados com a água implica na contaminação do chorume, potencializando o impacto resultante de um eventual vazamento.

O resíduo eletroeletrônico é composto por vários tipos de materiais, como vidro, placas de circuito impresso, baterias, metais ferrosos (aço, ferro), metais não ferrosos (alumínio, cobre e chumbo), borracha, terras raras, outros metais preciosos (ouro, prata), entre outros (Rajesh, Kanakadhurga, Prabakaran, 2022).

O modelo de descarte atual implica na perda de grande parte de energia, recursos e valores empregados nos produtos, gerando grandes desperdícios no processo. Salienta-se diante desse cenário, a importância do gerenciamento por meio da logística reversa, visando ganhos ambientais e econômicos (Correia, 2017).

Desta forma, o nível de conscientização sobre a gestão de resíduos e a preocupação pública com o meio ambiente é determinante para a diminuição dos impactos ambientais e para a eficiência da gestão desses resíduos. Além disso, a gestão eficaz de resíduos pode reduzir os riscos de responsabilidade criminal e civil, os custos operacionais e a necessidade de transporte e descarte (Hameed, 2015).

3.5. Gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

Tradicionalmente, as políticas públicas ambientais têm como foco o combate à poluição dos processos produtivos ou gestão de resíduos. Esses são mecanismos que visam a minimização dos impactos ambientais locais ou regionais, negligenciando, muitas vezes, a fase de uso e pós-consumo dos produtos.

A gestão de REEE baseada na Economia Circular envolve a adoção de medidas que visam prolongar a vida útil dos equipamentos, incentivar o seu reparo e manutenção, facilitar a sua coleta seletiva e destinação adequada, estimular a reciclagem e a recuperação dos componentes e materiais, e fomentar o design ecológico dos produtos, que considera os aspectos ambientais desde a fase de concepção até o fim da vida útil (Baldé *et al.*, 2017). Essas medidas podem trazer benefícios econômicos, sociais e ambientais, como a redução dos custos de produção e consumo, a geração de empregos verdes, a preservação dos recursos naturais, a diminuição das emissões de gases de efeito estufa e a prevenção da poluição (Ghisellini *et al.*, 2016).

O gerenciamento de ciclo fechado (Economia Circular) é considerado cada vez mais relevante na abordagem do problema do resíduo eletroeletrônico. A Economia Circular visa projetar os resíduos por meio da otimização dos ciclos de produtos e materiais, mantendo-os em sua maior utilidade e valor (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019).

A gestão integrada de resíduos sólidos surgiu como uma tentativa de projetar soluções sustentáveis para a problemática em questão; concentra-se na integração de processos como geração, segregação, transferência, coleta, tratamento, recuperação e disposição final (Méndes-Fajardo *et al.*, 2020).

Um dos grandes desafios para a gestão dos REEE é o Princípio de Responsabilidade do Fabricante ou a falta de definição de responsabilidades no processo de gestão de REEE (Rajesh; Kanakashura; Prabakaran, 2022). Outro grande desafio é a falta de reconhecimento da reutilização como uma das alternativas de manejo de REEE. Além disso, nos países da América Latina, os REEE apresentam riscos ambientais e sociais inerentes aos processos de gestão, com

cadeias desordenadas e com o fornecimento de EEE descontrolado. Mais um fator de conflito da gestão dos REEE é a falta de modelos econômicos sustentáveis, em que os atores se sintam confortáveis com as suas responsabilidades (Santos, 2018).

A reciclagem dos REEE permite a reinserção de diversos materiais na cadeia produtiva, reduzindo a demanda por matéria-prima e os impactos relacionados a extração. No entanto, esse processo demanda cuidados, medidas de controle e prevenção, pois são materiais perigosos (ABDI, 2013). A reciclagem consiste na remoção de componentes tóxicos e de materiais, o que inclui a separação manual de produtos EEE e a separação mecânica (trituração, quebra e ordenação sequencial), para depois passar para o processamento final, que abrange a refinaria de metal base e de metais preciosos, a reciclagem de plásticos, de baterias, o tratamento de outros componentes e, por fim, o descarte correto do resíduo (Santos, 2018).

No tocante as questões socioeconômicas, apesar dos REEE apresentarem problemas na concepção ambiental, mostram resultados positivos na esfera econômica por oferecer materiais e elementos químicos valiosos (Correia, 2017; Alencar, 2017). De acordo com a ABDI (2013), o descarte dos REEE pode oferecer oportunidades comerciais por sua composição conter componentes como ouro, alumínio, prata, bronze, entre outros. O (Quadro 4) apresenta um resumo das principais implicações ambientais, sociais e econômicas resultante das práticas ineficientes de gestão dos REEE.

Quadro 4 - Possíveis implicações relacionadas à gestão ineficiente de REEE

DIMENSÃO	CONSEQUÊNCIAS
Ambiental	Emissões de toxinas em aterros e lixões. Contaminação do solo, do ar e da água. Contaminação de rios e águas subterrâneas com as substâncias tóxicas e metais pesados. Contaminação dos seres humanos. Redução da utilização de matérias primas virgens.
Social	Geração de grande número de empregos informais, principalmente de comunidades carentes. Práticas nocivas à saúde dos trabalhadores e ao meio ambiente. Apresenta riscos potenciais à saúde humana (se adotadas práticas inadequadas de reciclagem).
Econômica	Extração de metais preciosos e de mais matérias primas. Geração de empregos informais. Criação de organizações informais de reciclagem.

Fonte: Adaptado de Santos (2012).

Uma medida fundamental para garantir uma melhor gestão de REEE no futuro é um entendimento unificado das terminologias e padronização dos dados. Isso pode ser alcançado através da adoção de um conjunto harmonizado de definições e metodologias na coleta de

dados. A comunicação de dados usando uma metodologia comum e harmonizada é essencial para monitorar a geração e os fluxos de REEE. Pouco mais de 40 países em todo o mundo relatam oficialmente estatísticas REEE usando metodologia harmonizada. Como resultado, o tratamento final e os destinos dos REEE são incertos na maioria dos países (Shittu; Williams; Shaw, 2021).

Embora seja de extrema importância a implantação de um quadro de avaliação que considere a dinâmica completa do fluxo dos REEE, garantindo a elaboração de políticas eficazes, muitos países não possuem tal sistema de controle, entretanto, existem bancos de dados, tais como estatísticas comerciais, em países desenvolvidos e em desenvolvimento, que se relacionam fortemente com esse tipo de resíduo. Contudo, a solidificação e harmonização entre os dados são fundamentais para que haja a interação entre as informações, a fim de servir como base para estatísticas e indicadores de REEE (Forti; Baldé; Kuehr, 2018).

Em 2019, cerca de 80 países passaram a adotar medidas legais inerentes aos REEE. No entanto, em algumas regiões os mecanismos legais não estimulam a coleta e o manejo adequado do resíduo eletroeletrônico, o que torna os avanços regulatórios menos eficientes. Cerca de 80% do resíduo gerado não foram gerenciados de maneira correta, o que contribui para a exportação ilegal dos REEE para países em desenvolvimento (Forti *et al.*, 2020).

As estatísticas mostram que o continente com maior taxa de coleta e reciclagem foi a Europa com 42,5%, em seguida a Ásia com 11,7%, as Américas e Oceania com 9,4% e 8,8%, respectivamente. A menor taxa (0,9%) foi atingida pelo continente africano (Forti *et al.*, 2020).

No Brasil, menos de 3% desses resíduos foram reciclados e, conforme a pesquisa realizada pela *Green Eletron* em 2021 com 2.075 pessoas em 13 estados brasileiros, 25% da população entrevistada nunca levou seus resíduos eletrônicos até um ponto de coleta e 50% dos respondentes descartam com alguma frequência com o lixo comum (Green Eletron, 2021).

Como afirmado por Kveselis *et al.*, (2017), os esquemas de gestão de resíduos são frequentemente baseados em critérios econômicos e políticos, que não consideram adequadamente os aspectos ambientais e sociais da sustentabilidade. Para enfrentar os desafios da gestão de REEE e contribuir para os ODS, é necessário adotar uma abordagem sistêmica, que integre diferentes dimensões técnicas, sociais, econômicas, legais, ecológicas, políticas e culturais na formulação e implementação de políticas e programas de gestão (Méndez-Fajardo *et al.*, 2020).

O pensamento sistêmico é uma forma abrangente que considera não apenas partes separadas, mas também as conexões entre estas, o fluxo e o cenário. A abordagem sistêmica se refere ao modo como sistemas podem ser projetados e analisados, e envolve métodos que

aplicam aspectos da Teoria de Sistemas para aprimorar a prática. A abordagem sistêmica abrange três ênfases principais: a ênfase em sistemas suaves, que trata de sistemas sociais que são complexos de compreender; a ênfase em sistemas duros, que define sistemas puramente técnicos, previsíveis e otimizáveis; e a ênfase em sistemas críticos, que articula os sistemas flexíveis e rígidos (Méndez-Fajardo *et al.*, 2020).

Uma área de interesse na gestão do resíduo eletroeletrônico é a análise das diferentes abordagens e experiências adotadas em diversos países, que possibilitam avaliar as situações, os problemas e as alternativas encontradas em cada realidade. Um dos temas mais estudados é o das práticas e sistemas de gestão em diferentes países, que permitem comparar os cenários, os desafios e as soluções adotadas em cada contexto. Além disso, há pesquisas que analisam redes complexas de movimentação, processamento e disposição do resíduo eletroeletrônico, considerando os aspectos técnicos, econômicos, sociais, culturais, ambientais e sanitários envolvidos desde a sua produção até o seu destino final (Ismail; Hanafiah, 2020).

A pesquisa sobre gestão do resíduo eletroeletrônico é um tema relevante para a Ciência, para a sociedade e para o meio ambiente. Por meio da pesquisa nessa área é possível produzir conhecimento que subsidie a formulação de políticas públicas e de estratégias de melhoria que busquem reduzir a geração, aumentar a reciclagem e minimizar os danos causados pelo resíduo (Lodhia *et al.*, 2017). Além disso, a pesquisa também pode estimular a sensibilização e a educação ambiental dos consumidores e dos demais envolvidos na cadeia produtiva sobre os impactos ambientais e sociais do consumo e do descarte dos equipamentos eletrônicos.

Um dos aspectos relevantes para a gestão sustentável de resíduos eletroeletrônicos é o comportamento dos consumidores que geram esses resíduos. A participação dos consumidores nos sistemas de coleta seletiva é essencial para o sucesso da reciclagem e da destinação adequada dos resíduos. Portanto, é importante compreender os fatores que influenciam as decisões dos consumidores sobre o descarte de resíduos eletroeletrônicos, tais como o grau de conscientização ambiental, as atitudes e preferências em relação às formas de descarte, a intenção de colaborar com a reciclagem e a disposição de pagar por serviços de coleta. Esses fatores podem variar de acordo com as características sociodemográficas e culturais dos consumidores, e devem ser considerados na elaboração de políticas e estratégias de gestão de resíduos eletroeletrônicos (Abdulhasan *et al.*, 2019; Borthakur, Govind, 2019).

Um tópico de pesquisa relevante sobre o gerenciamento de REEE é a avaliação de diferentes aspectos dos sistemas de gerenciamento usando vários métodos e ferramentas de avaliação. Na literatura, a Análise de Fluxo de Material (AFM), se consolidou como um importante método de avaliação para examinar diferentes aspectos dos sistemas de

gerenciamento de REEE. Anteriormente, foi utilizado para estimar o fluxo de geração de resíduos e a eficiência dos sistemas de gerenciamento com base em taxas de coleta e/ou reciclagem (Islam, Huda, 2019).

De acordo com Mendes; Bueno; Ometto (2016), uma forma de analisar os efeitos ambientais dos REEE é através da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Essa é uma metodologia padronizada internacionalmente baseada na *International Organization for Standardization – ISO 14040/2006*, que permite quantificar os impactos ambientais de um produto ou serviço ao longo de todas as etapas do seu ciclo de vida, desde a extração dos recursos naturais até o seu descarte ou reciclagem, ainda conforme os autores, a ACV tem sido usada para avaliar várias estratégias de gerenciamento de resíduo eletroeletrônico e impactos ambientais de sistemas desse processamento. Por exemplo, a ACV pode comparar os benefícios ambientais da reciclagem de aparelhos eletrônicos com a mineração convencional de metais preciosos, ou avaliar o desempenho ambiental de diferentes modelos de celulares usando o *Eco Rating*, um sistema que atribui uma nota de 0 a 5 para cada aparelho celular baseado em critérios ambientais.

O *Eco Rating* considera todo o ciclo de vida do aparelho celular, desde a extração dos materiais necessários à sua fabricação, transporte e uso, até o seu descarte ou reciclagem. Quanto maior a nota, menor é o impacto ambiental do aparelho. O *Eco Rating* é uma iniciativa da operadora de telefonia móvel Vivo e também de outras operadoras para incentivar os consumidores a escolherem aparelhos mais sustentáveis e reduzirem o resíduo eletroeletrônico (Nordelöf, 2019).

3.5.1. Instrumentos legais de gestão de REEE

3.5.1.1. Acordos Internacionais

Em 1983, após a reunião da Comissão de *Brundtland*, foi criada a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - CMMAD. Através do relatório “Nosso Futuro Comum” (CMMAD, 1987), foi formulado os princípios do desenvolvimento sustentável, voltados ao atendimento das necessidades atuais, sem comprometer as próximas gerações, com a adoção de um modelo econômico que concilie aspectos econômicos, sociais e ambientais (Torres, 2021).

Já em 1992, na Conferência Rio 92, foram desenvolvidos diversos documentos inerentes as questões ambientais e a Amazônia, dentre estes, a Agenda 21 Global (ONU, 1992), que teve

como foco o combate à pobreza como requisito básico para o desenvolvimento sustentável (Torres, 2021). Outros documentos aprovados ainda nessa conferência foram “Declaração do Rio de Janeiro sobre o Meio Ambiente” e o “Desenvolvimento, a Convenção sobre Mudanças Climáticas”, a “Declaração de Princípios sobre Florestas” e a “Convenção sobre a Biodiversidade” (ONU, 1992).

Em 2000, a Organização das Nações Unidas reuniu os líderes mundiais para a adoção da “Declaração do Milênio” (ONU, 2000), documento que visa uma nova parceria global para reduzir a pobreza extrema. Assim, foi constituída a agenda com oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) a serem alcançados até 2015. Próximo ao prazo estipulado, os ODM foram revisados, por meio de um processo de consulta pública e de pesquisa global, o que culminou na elaboração dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), mais amplos e inclusivos que os ODM, conhecidos como a Agenda 2030 (ONU, 2015).

Composta por 17 ODS (Figura 2) e 169 metas para atingir até 2030, a agenda mundial propõe iniciativas de governos, instituições, empresas e sociedade em geral para o enfrentamento dos desafios do mundo atual. Estão previstas ações mundiais nas áreas de saúde, educação, igualdade de gênero, energia, saneamento, padrões sustentáveis de produção e consumo, mudança climática, crescimento econômico, entre outras.

Figura 2 - Objetivos de Desenvolvimentos Sustentáveis



Fonte: Organização das Nações Unidas (2015).

Os Objetivos 11 e 12 apresentam relação direta com a gestão dos REEE. O primeiro quer tornar as cidades e assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis; o segundo objetiva assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis. A meta 11.6

relacionada ao Objetivo 11 abrange a redução do impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros (ONU, 2015). De modo que, a maior parte dos resíduos é gerada em arranjos populacionais densamente povoados, portanto é extremamente importante que exista um gerenciamento adequado, promovendo maiores e melhores taxas de coleta e reciclagem (Forti *et al.*, 2020).

A Economia Circular contribui potencialmente para alcançar o objetivo 12 e algumas de suas metas, entre estas a meta 12.2, que abrange a gestão sustentável e uso eficiente dos recursos naturais, e a 12.4, que aborda o manejo ambientalmente adequado dos produtos químicos e de todos os resíduos ao longo do ciclo de vida, reduzindo significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, minimizando impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente e ainda as metas 12.5 - reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso, 12.6 - incentivar as empresas a adotar práticas sustentáveis e a integrar informações de sustentabilidade em seu ciclo de relatórios, e 12.8 - garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham informação relevante e conscientização para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza (ONU, 2015).

A gestão adequada de REEE contribui para a prática de vários objetivos e metas, tendo em vista que, o tratamento bruto, como a queima descontrolada e a reciclagem informal de REEE, representa um risco à saúde das pessoas diretamente envolvidas, bem como da área circundante (Baldé *et al.*, 2017). Além disso, a recuperação e reutilização ou reciclagem eficazes de REEE podem contribuir significativamente para o clima, abrangendo o Objetivo 13 (Clarke *et al.*, 2019).

A evolução da gestão dos REEE fundamentou-se por meio dos Acordos Internacionais e das Políticas Públicas nacionais (Quadro 5). Entretanto, os governos nacionais necessitam criar estruturas próprias conforme a realidade nacional para a adequação dos ODS (Torres, 2021). Desse modo, espera-se que a cobertura da legislação referente a REEE se acentue à medida que mais países e regiões adotem estruturas legais para regular oficialmente a gestão de REEE (Shittu; Willams; Shaw, 2021).

Dentre as várias iniciativas internacionais existentes para regulamentar o movimento transfronteiriços de resíduos perigosos no mundo, a Convenção da Basileia é a mais importante. Aprovada em 1992, essa Convenção é considerada um marco referente ao controle dos movimentos e disposição de resíduos perigosos transfronteiriços entre as nações (Mendes; Bueno; Ometto, 2016). A partir desta Convenção, classificou os REEE como resíduos

perigosos, estabeleceram restrições para exportação e importação entre as nações, principalmente, entre as nações desenvolvidas e as em desenvolvimento (Silva *et al.*, 2020).

A Convenção da Basileia visa impor ao país gerador de resíduo perigoso, a responsabilidade de realizar a destinação correta e ambientalmente segura, além de banir a exportação destes materiais perigosos para países em desenvolvimento (Sthiannopkao; Wong, 2013).

Quadro 5 - Instrumentos regulatórios vigentes relevantes para a gestão de REEE

BASE LEGAL	
ESFERA	O QUE TRATA
Internacional	Regulamentações/ Objetivos
Convenção Basileia	Regulamenta o tráfego transfronteiriços e a disposição final dos resíduos gerados pelos países.
Diretiva 2002/95/CE – RoHS	Restringe o uso de substâncias tóxicas chumbo, mercúrio, éter difenílico polibromado (PBDE) e outros poluentes orgânicos persistentes (POP) em a fabricação de EEE.
Diretiva 2011/95/EU	Reformula a Diretiva 2002/95/UE para expandir a restrição de substâncias tóxicas a mais tipos de EEE.
Diretiva WEEE 2012/19/UE	Propõe a diminuição das substâncias químicas utilizadas nos equipamentos, a destinação, disposição final dos resíduos, proteção ambiental e saúde humana, em busca da melhoria na fabricação dos eletroeletrônicos, junto a ações que promovam a coleta desses resíduos.
Federal	Brasil
Lei 6.938/1981	A Política Nacional de Meio Ambiente objetiva a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental, visando assegurar condições para o desenvolvimento socioeconômico e proteção à dignidade humana.
Lei 9.605/1998	A Lei de Crimes Ambientais dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. O Art. 54 deixa claro que causar poluição de qualquer natureza em níveis que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, entre outros impactos, está sujeito a penalidades.
Lei 9.795/1999	Institui a Política Nacional de Educação Ambiental. Em seu Art. 2º prevê a educação ambiental como componente essencial e permanente da educação nacional. Em seu Art. 3º prediz quanto a educação ambiental, como parte do processo educativo mais amplo, todos têm direito à educação ambiental, incumbindo, ao Poder Público, nos termos dos arts. 205 e 225 da Constituição Federal (1988), e o inciso I deste artigo.
Lei 12.187/2009	Implementou a Política Nacional sobre Mudança do Clima. A lei prevê “mudanças e substituições tecnológicas que reduzam o uso dos recursos e das emissões por unidade de produção, bem como a implementação de medidas que reduzam as emissões de gases de efeito estufa e aumentem os sumidouros”.
Lei 12.305/2010	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Em seu artigo 30º, define o conceito da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e, em seu artigo 33º, institui a obrigatoriedade da implementação de sistemas para logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos (dentre outros produtos).

Quadro 5 - Instrumentos regulatórios vigentes relevantes para a gestão de REEE (Cont.)

BASE LEGAL	
ESFERA	O QUE TRATA
Internacional	Regulamentações/ Objetivos
Decreto 7.404/2012	Regulamenta a lei 12.305/2010, estabelecendo que os sistemas de Logística Reversa seriam oficializados mediante a um Acordo Setorial, Termo de Compromisso ou regulamento do poder público.
Decreto 10.240/2020	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 0177, de 23 de outubro de 2017, quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico.
Estadual	Pernambuco
Lei 14.236/2010	Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos. A lei dispõe sobre as diretrizes gerais aplicáveis aos resíduos sólidos no Estado de Pernambuco, bem como os seus princípios, objetivos, gestão e gerenciamento, responsabilidades e instrumentos econômicos.
Lei 15.084/2013	Dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de coletores de resíduo eletrônico pelas empresas que comercializam pilhas, baterias e aparelho eletrônicos de pequeno porte no Estado de Pernambuco.

Fonte: UNEP (2014); UE (2002); UE (2011) UE (2012); Brasil (1981); Brasil (1998); Brasil (1999), Brasil (2009); Brasil (2010), Brasil (2012); Brasil (2020); Pernambuco (2010), Pernambuco (2012).

Outra regulamentação importante presente em vários países é Diretiva Europeia 2011/95/UE, que atualizou a Diretiva 2002/95/CE (RoHS). Essa diretiva limita o uso de certas substâncias nocivas em EEE, exigindo que os fabricantes adaptem seus produtos a esse padrão (UE, 2003). Além disso, a Diretiva 2012/19/UE (UE, 2012), que revisou a Diretiva 2002/96/CE, estabeleceu medidas para prevenir ou minimizar os efeitos negativos da geração e gestão dos REEE no meio ambiente e na saúde humana, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

3.5.1.2. Legislação Nacional

De acordo com Xavier *et al.*, (2014), o Brasil foi um dos primeiros países em desenvolvimento a consolidar um conjunto de regulamentações a respeito da gestão de resíduos e legislar quanto a esse processamento. A legislação ambiental brasileira é considerada, em diversos aspectos, uma das mais avançadas, pois possibilitou criação de diversas políticas que interagem entre si, cujo objetivo é tornar o desenvolvimento socioambiental e econômico equilibrado. Entretanto, apesar de muitos avanços, os REEE em particular, só foram contemplados por legislação específica em 1999, no aspecto do pós-uso de pilhas e baterias, como observado na Resolução 257 (CONAMA, 1999) que estabelece normas sobre o descarte, coleta, reutilização, reciclagem e tratamento de pilhas e baterias que contenham em suas composições chumbo, cádmio, mercúrio e seus compostos, posteriormente foi substituída pela Resolução 401 (CONAMA, 2008) que constitui os limites máximos de concentração de

chumbo, cádmio, mercúrio e cromo em pilhas e baterias comercializadas no território nacional, além de determinar que os fabricantes e importadores devem garantir a coleta e o destino final ambientalmente adequado das pilhas e baterias usadas.

Dentre os principais mecanismos regulatórios que impactaram todo o país, encontram-se a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, estabelecida por meio da Lei nº 12.305/2010 (Brasil, 2010) definindo os princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos sólidos e o Decreto nº 7.404/2012 (Brasil, 2012) que regulamenta essa lei, criando o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, além de estabelecer as metas e os prazos para a implementação da política. Um dos principais avanços desta política é o reconhecimento das responsabilidades conjuntas sobre o ciclo de vida do produto, por meio de acordos departamentais. Esta regulamentação refere-se ainda à coleta seletiva, à educação ambiental, aos sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (Xavier *et al.*, 2014).

A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a logística reversa são definidas pela lei nº 12.305, em seu art. 3º, § XVII, como instrumentos que compõem um conjunto de mecanismos para que o consumidor possa efetuar a devolução dos produtos, viabilizando a restituição dos resíduos ao setor empresarial para reaproveitamento ou disposição final ambientalmente adequada (Brasil, 2010).

O que concerne à PNRS, a logística reversa aplicada aos REEE tornou-se uma alternativa viável para o aumento da vida útil dos produtos, além de ser o alicerce da Economia Circular - EC, que tem como base a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia. A EC, em seu ciclo de produção, passa de um método linear para uma cadeia fechada, em que desde o início são levados em consideração fatores sociais, econômicos e ambientais (Garcia; Benedet, 2020). Dessa forma, a EC passa a adotar um modelo econômico que propõe uma nova forma de pensar a cadeia produtiva, pois o modelo de EC tende a se organizar de forma mais sustentável, acometendo o retorno do produto ao ciclo produtivo, diferente do modelo econômico linear, onde o descarte é a última etapa da vida útil dele (Green Eletron, 2020).

Diante do contexto, a *Green Eletron* (2019) destaca que o Brasil, apesar de oferecer condições ideais para completar o ciclo de iniciativas de EC, ainda não possui tecnologia para a reciclagem de placas eletrônicas que extraia metais preciosos como ouro e prata, ficando dependente de empresas multinacionais para a execução desse serviço. Em razão disso, estima-

se que cerca de 7% do ouro mundial não é aproveitado devido ao descarte inadequado de resíduo eletroeletrônico.

Para Pacheco *et al.* (2019), a importância do gerenciamento dos resíduos eletroeletrônicos está exatamente na sua diversidade de materiais: metais (ferrosos e não ferrosos) e metais preciosos. Contudo, a Educação Ambiental - EA surge como aliada a gestão integrada e sustentável dos resíduos sólidos, tem caráter proativo e preventivo de curto, médio e longo prazo, podendo promover uma relação saudável entre as pessoas e o meio ambiente (Reis; Friede; Lopes, 2017).

Dessa maneira, a instrução dos indivíduos a respeito dos procedimentos usuais para a destinação ambientalmente adequada tende a impactar positivamente e garantir a eficácia da gestão de resíduos sólidos. Conforme Souza e Gallardo (2020), a EA exige amplitude e extensão, para que suas ações sejam efetivamente constitutivas de mudanças comportamentais, culturais e cotidianas. Para tanto, Programas de Educação Ambiental devem ser implantados, visando a conscientizar as pessoas envolvidas na produção, consumo e descarte, principalmente no que se refere aos requisitos básicos para a sustentabilidade.

3.5.1.3. Legislação do Estado de Pernambuco

A gestão dos resíduos sólidos no Estado de Pernambuco é regulada pela Lei estadual nº 14.236 de 2010 (Pernambuco, 2010) tem como finalidade a proteção da saúde pública e do meio ambiente. A Lei estabelece as diretrizes gerais aplicáveis aos resíduos sólidos no Estado, conforme o art. 1º: "Institui-se a Política Estadual de Resíduos Sólidos, que trata das diretrizes gerais relativas aos resíduos sólidos no Estado de Pernambuco, bem como os seus princípios, objetivos, instrumentos, gestão e gerenciamento, responsabilidades e instrumentos econômicos." Ainda esclarece os conceitos de resíduos sólidos, coleta seletiva, compostagem, reciclagem, reutilização, destinação final ambientalmente adequada, disposição final ambientalmente adequada, área contaminada, área degradada, entre outros. Ademais, a Lei determina a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a exigência de estruturação e implementação de sistemas de logística reversa para alguns tipos de resíduos.

Conforme a Lei Estadual 15.084 (Pernambuco, 2013), as empresas que comercializam pilhas, baterias e aparelhos eletrônicos de pequeno porte ficam obrigadas a instalar coletores de resíduos eletrônicos em suas dependências e o material recolhido deve ser encaminhado aos pontos de coleta disponibilizados pelo poder públicos, pelos fabricantes ou por outros integrantes da sociedade civil.

Nos últimos anos, o mercado de eletroeletrônicos em Pernambuco, tem registrado um aumento expressivo nas vendas de produtos. Como consequência, a presença de diversos equipamentos eletroeletrônicos nos lares também tem se expandido (GFK, 2014). Esse cenário de consumo elevado desses aparelhos gera um desafio ambiental, que tem sido estudado por diversos pesquisadores (Lima *et al.*, 2014).

3.5.2. Práticas sustentáveis de gestão de REEE

A Economia Circular é uma ferramenta de promoção do desenvolvimento sustentável (Suárez-Eiroa *et al.*, 2019). Esta contribui com a dimensão ambiental reduzindo o consumo de material e de energia, bem como a geração de resíduos e emissões de poluentes. Na dimensão econômica, a redução dos custos de matérias-primas, das fontes de energia, da gestão de resíduos e das emissões de poluentes. Já na dimensão social, a EC almeja o aumento da oferta de empregos, a economia compartilhada, a tomada de decisão de forma democrática e participativa (Korhonen *et al.*, 2018).

Em meio da economia circular, podemos dizer que a logística reversa é uma ferramenta que colabora na circularidade dos recursos. A logística reversa envolve o processo de devolução dos produtos ao local adequado para o tratamento dos resíduos. Esse processo leva em conta o ciclo de vida do produto, desde a extração das matérias-primas até o destino final de seus resíduos (Alencar, 2017).

Conforme Méndez-Fajardo *et al.* (2020), a logística reversa surgiu como um elemento chave para o sistema de gestão de REEE. Normalmente, envolvem os pontos de recebimento, preferencialmente os dispostos em estabelecimentos de comercialização de EEE e em instalações municipais de recolha de resíduos. Esse arranjo se mostra fundamental na gestão de REEE, uma vez que, comumente apresentam potencial para serem reaproveitados e redirecionados para o ciclo produtivo, revalorizando os produtos após o descarte (Dias, 2017).

A estrutura organizacional de um sistema de gestão de REEE comumente é baseada em organizações de responsabilidade do produtor, que implementam a Responsabilidade Estendida ao Produtor - REP em um esquema coletivo de produtores, importadores e distribuidores.

Para implementar o princípio da REP, é necessário contar com níveis significativos de cooperação e coordenação entre os atores, a inclusão da cadeia de valor considerando os processos do ciclo de vida do produto e a criação de instrumentos legais que garantam o cumprimento das metas estabelecidas. Esses requisitos podem ser atendidos concebendo o

sistema de gestão a partir de uma abordagem holística, ou seja, compreendendo uma visão abrangente da totalidade, onde tudo está interligado (Méndes-Fajardo *et al.*, 2020).

O Brasil enfrenta um grande desafio na gestão do resíduo eletroeletrônico. Muitos brasileiros ainda desconhecem o que é resíduo eletroeletrônico e como devem ser tratados para evitar danos ao meio ambiente e à saúde humana (AGÊNCIA BRASIL, 2021). Além disso, no país há poucas unidades de reciclagem destes resíduos que se limitam a desmontar os equipamentos e exportar os materiais para outros países (Souza *et al.*, 2016).

Nesse cenário, o resíduo eletroeletrônico acaba sendo descartado de forma inadequada tanto em recipientes de resíduos recicláveis como em lixos comuns indo parar em aterros domésticos (Souza *et al.*, 2016). Essa prática traz riscos de contaminação do solo e da água pelos metais pesados presentes nos componentes eletrônicos (Dias *et al.*, 2018). O atual modelo de gestão do resíduo eletroeletrônico no Brasil não envolve a responsabilidade dos fabricantes, importadores e distribuidores dos produtos, nem a fiscalização do governo (Santos; Ogunseitán, 2022).

Embora a PNRS apresente os Princípios da Responsabilidade Compartilhada, não há um detalhamento de uma estrutura necessária para a implantação da logística reversa. A organização atualmente existente está ligada a um mercado informal, no qual os catadores desempenham um papel fundamental (Ghisolfi *et al.* 2017; Oliveira *et al.* 2020). Como resultado, apesar da entrada de 2.792 Mt/ano (13,3 kg/habitante) de produtos eletrônicos no mercado brasileiro, as taxas de coleta formal e reciclagem de resíduos eletroeletrônico são baixas (Forti *et al.* 2020).

De acordo com o Decreto nº 10.240 (BRASIL, 2020), cada parte interessada em fazer a gestão são responsáveis pela implantação e operação do sistema de logística reversa. Fabricantes e importadores devem estabelecer e financiar uma entidade de gestão legal para projetar e implementar o sistema de logística reversa. A entidade precisa estabelecer um grupo de monitoramento de desempenho para observar e reportar indicadores de desempenho ao Ministério do Meio Ambiente. Os consumidores precisam separar o resíduo eletroeletrônico de outros tipos de resíduos e remover informações e dados privados antes do descarte em locais específicos do sistema de logística reversa. As cooperativas e associações de catadores necessitam ser legalmente constituídas para integrar o sistema.

De acordo a Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2013), o estabelecimento do Sistema de Logística Reversa - SLR tem como principal virtude fortalecer o mercado da reciclagem no Brasil, podendo trazer benefícios (Quadro 6) que vão além da redução dos impactos ambientais, como vantagens sociais e econômicas.

Quadro 6 - Benefícios da implementação do Sistema de Logística Reversa - SLR

SOCIAIS	ECONÔMICOS	AMBIENTAIS
- Geração de empregos formais. - Fortalecimento das associações de catadores com geração de oportunidades de prestação de serviços ao sistema. - Promoção de uma maior conscientização da população quanto às questões ambientais relacionadas aos equipamentos eletroeletrônicos. - Minimização de problemas de saúde causados pelo manuseio incorreto de REEE.	- Maior retorno ao mercado de matérias-primas advindas da reciclagem de REEE. - Fortalecimento da indústria da reciclagem pelo consequente aumento da demanda. - Desenvolvimento de conhecimento e tecnologias relacionada a reciclagem de REEE.	- Diminuição de casos de descarte incorreto de REEE. - Melhoria da qualidade dos serviços de reciclagem e consequente menor nível de rejeitos nos aterros. - Redução de gasto energético por conta de uso de reciclados (p.e.: o gasto de energia para reciclagem de alumínio é 95% menor do que para sua produção primária).

Fonte: ABDI (2013).

Mesmo com instrumentos legais amparando a implementação do SLR, muito precisa ser feito para a sua efetivação em todos os Estados brasileiros. A falta de clareza quanto às taxas de reciclagem, a responsabilidade pelo custo da logística reversa, as dimensões continentais do país e o esforço político e econômico para manter o SLR operando são algumas das dificuldades encontradas para a concretização desses sistemas (Cardoso *et al.*, 2019).

Além disso, para Kobal *et al.* (2013), a falta de conhecimento e de conscientização do gerador, o grande número de empresas informais que recebem REEE e manipulam de forma inadequada, a falta de fiscalização e processos de custos elevados por falta de tecnologia contribuem para a não implementação efetiva do SLR.

Souza *et al.* (2014) realizou uma análise SWOT e destacou os pontos fracos e fortes, ameaças e oportunidades para empresas que desejam atuar no SLR (Quadro 7).

Quadro 7 - Análise SWOT do cenário da logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos

FATORES POSITIVOS		FATORES NEGATIVOS	
Pontos Fortes		Pontos Fracos	
FATORES INTERNOS	Estimulação a inovação e desenvolvimento sustentável.	Clareza do papel da logística reversa.	
	Exigência do mercado por produtos verdes.	Dificuldade na rastreabilidade e coleta dos resíduos.	
		Falta de incentivos fiscais para estimular a prática.	
	Diminuição da extração de recursos naturais e geração de resíduos.	Investimento no canal reverso.	
		Mercado muito baixo de reutilização de celulares em função da “corrida tecnológica”.	

Quadro 7 – Análise SWOT do cenário da logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos (Cont.)

FATORES POSITIVOS		FATORES NEGATIVOS
Pontos Fortes		Pontos Fracos
FATORES INTERNOS	Fortalecimento da responsabilidade socioambiental.	Necessidade de investir em infraestrutura, tecnologia e capacitação para realizar a LR de forma eficiente e segura.
	Preocupação das grandes empresas em resolver o problema.	Organização da cadeia.
	Redução dos custos operacionais e de produção.	Profissionais especializados em reciclar.
	Redução de problemas associados à contaminação do ambiente e saúde pública.	Quantidade de empresas no mercado.
	Refinamento de tecnologia de produtos que se encaixam formando novos produtos a partir de antigos.	Velocidade de entrada de novos materiais no mercado.
	Variabilidade de matérias primas.	Visão dos gestores dos benefícios de se aplicar o canal reverso.
FATORES EXTERNOS	Oportunidades	Ameaças
	Atores paralelos (recicladores).	Aumento de renda.
	Aumento de renda.	Compra descontrolada.
	Discussões internacionais de redução no consumo.	
	Educação ambiental.	“Corrida tecnológica”.
	Marketing.	Informalidade do canal de reuso.
	Phone-blocks.	Políticas públicas de resíduos.
	Programas internacionais de reciclagem.	Redução da qualidade de produtos remanufaturados.
	Selos e programas “verdes”.	

Fonte: Adaptado de Souza *et al.*, (2014).

No caso da logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos, essa análise pode auxiliar na tomada de decisões sobre como gerenciar o fluxo de retorno desses produtos após o seu uso, visando reduzir os impactos ambientais e sociais, bem como gerar valor econômico. As forças são os benefícios que essa prática traz para o meio ambiente, para as empresas e para a sociedade, como a recuperação de materiais, a redução de custos, a melhoria da imagem e a criação de oportunidades. As fraquezas são os desafios que essa prática enfrenta para se consolidar, como a falta de legislação, a dificuldade de coleta, a complexidade de processamento e a necessidade de investimento. As oportunidades são as tendências que favorecem o seu crescimento, tais como o surgimento de novas tecnologias e soluções para facilitar e otimizar o processo de logística reversa, que reduz os custos e aumenta a qualidade. As ameaças são os fatores que podem prejudicar o seu desempenho, como: a resistência ou falta

de cooperação dos agentes envolvidos na cadeia produtiva, que dificulta a integração e a coordenação das atividades de logística reversa.

3.5.3. Gerenciamento de REEE em Recife-PE

Uma das implicações da PNRS foi a elaboração de leis e decretos estaduais que regulamentam as Políticas Estaduais de Resíduos Sólidos, adaptando-se às diretrizes da PNRS e estabelecendo normas estaduais para o manejo dos resíduos.

O gerenciamento dos REEE é atribuído aos agentes econômicos envolvidos na cadeia produtiva, conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) de 2010. Porém, as definições de REEE variam entre os estados, e em alguns casos, elas não são especificadas. A tendência é que todos os produtos sejam submetidos à Logística Reversa obrigatória (Coelho *et al.*, 2017). Portanto, é essencial que se estabeleça uma definição clara e abrangente de REEE, para que os agentes econômicos possam atender às exigências da PNRS.

Com base nas estimativas de REEE apresentadas por Xavier; Carvalho (2014), a Região de Desenvolvimento Metropolitano de Pernambuco gera 23.636,33 toneladas de REEE por ano. Os órgãos responsáveis coletam cerca de 100 toneladas (equivalente a 5% de todo o resíduo eletrônico gerado mensalmente) e encaminham para destinações ambientalmente adequadas.

A partir do índice de geração de REEE, calcula-se que a cidade de Recife produza aproximadamente 9.841,31 (t/ano) de REEE (Silva *et al.*, 2020). Em Recife, é comum o descarte dos REEE junto com os resíduos domiciliares ou a sua separação como reciclável comum. Diante dessa situação, cooperativas têm recebido os REEE junto com recicláveis separados pela população e coletados pela Prefeitura de Recife (Araújo *et al.*, 2017).

A Prefeitura de Recife tem incluído a coleta de REEE em seu programa de limpeza urbana, o EcoRecife. Conforme informações da base de dados municipal, Recife possui um total 100 pontos de coleta seletiva, entretanto, apenas 08 lugares, denominados Ecoestações, recebem resíduos eletroeletrônicos (Recife, 2023).

Uma forma de contribuir para a gestão adequada dos REEE é apoiar iniciativas voluntárias de organizações não governamentais, universidades e entidades governamentais. Um exemplo dessas iniciativas é o Centro de Recondicionamento de Computadores - CRC. O CRC Recife faz parte de um projeto federal chamado Computadores para Inclusão Digital (Projeto CI) que tem como objetivo criar um sistema nacional de centros de recondicionamento de computadores que recebem, reparam e doam os equipamentos para escolas, bibliotecas públicas e centros comunitários (CRC RECIFE, s.d.).

Outra iniciativa é o programa da Autarquia de Manutenção e Limpeza Urbana do Recife – EMLURB, ela desenvolveu o Programa Cata-Tralha, que consiste na coleta periódica de resíduos eletroeletrônicos (REEE) nos bairros da cidade. Os equipamentos que ainda podem ser aproveitados são destinados a um bazar solidário, cuja renda é revertida para projetos sociais nas comunidades carentes. Além disso, a cooperativa de catadores Pró-Recife também recebe REEE, realiza a triagem e a comercialização das peças e componentes (EMLURB, 2015).

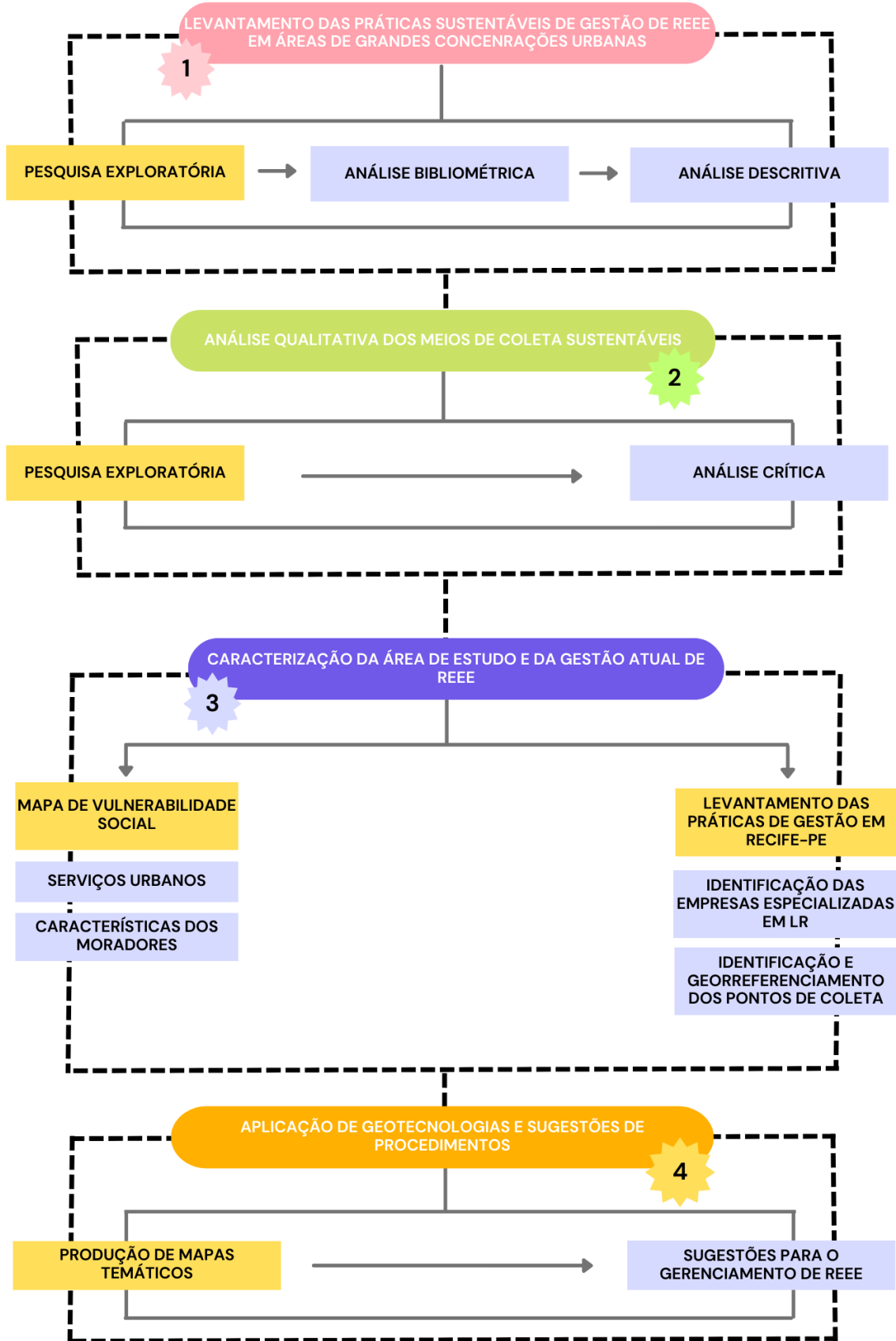
Ainda sobre ações executadas pela prefeitura municipal, a Semana Municipal do Lixo Zero ocorre todos os anos em Recife. Esta iniciativa partiu da organização civil Instituto Lixo Zero Brasil, mas foi sancionada como Lei Municipal nº 18.403/2017 (Recife, 2017), com a finalidade de promover debates sobre o tema em empresas e escolas, fomentar a economia circular, conscientizar sobre a necessidade de redução na geração de resíduos, realizar palestras, fóruns, seminários e eventos em geral sobre resíduos sólidos, além de ações coletivas de limpeza em espaços públicos (Recife, 2020).

A reciclagem é uma atividade essencial para a preservação do meio ambiente, o desenvolvimento social e o crescimento econômico. Por isso, a Prefeitura de Recife, em parceria com a Secretaria do Meio Ambiente e Sustentabilidade (SMAS), adotou a Agenda Ambiental na Administração Pública - A3P, que inclui a instalação de coletores para o descarte adequado de recicláveis, pilhas, baterias e eletroeletrônicos no edifício-sede da Prefeitura (Recife, 2022). Essa iniciativa se soma aos esforços da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE), que por meio da *Green Eletron*, sua entidade gestora da Logística Reversa, mantém em todo o estado de Pernambuco 184 pontos de coleta de pilhas e baterias, sendo 82 espalhados pela RMR, em se tratando de pontos de coleta para eletrônicos em geral, há 06 pontos de coleta da *Green Eletron* nos principais pontos da capital e em outras cidades do estado pernambucano (Green Eletron, 2021).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para analisar as práticas de gerenciamento de REEE e a influência dos pontos de coleta na gestão sustentável em áreas de grandes concentrações urbanas, foram realizadas quatro etapas (Figura 3): identificação das práticas de gestão de REEE em áreas de grandes concentrações urbanas; analisar qualitativamente os meios de coleta e a sua relação com a gerenciamento sustentável dos REEE; diagnóstico da gestão de REEE na área em estudo; e aplicação de geotecnologias para auxiliar na gestão sustentável dos REEE na área em estudo.

Figura 3 - Procedimentos metodológicos da pesquisa



Fonte: A Autora (2023).

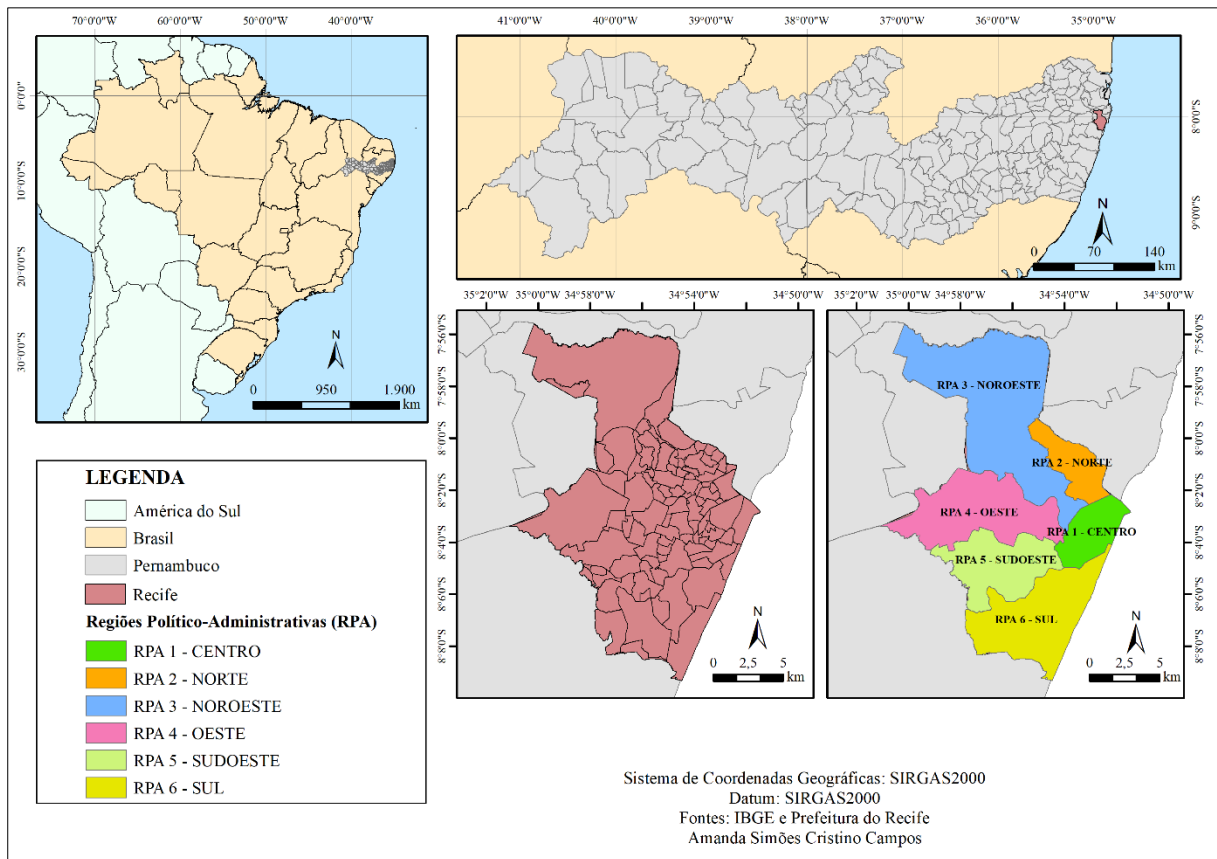
A pesquisa possui uma abordagem quali-quantitativa, tendo como área de estudo a cidade de Recife-PE (Figura 4). O estudo foi realizado com pesquisas exploratória na literatura e in loco, em áreas de recebimento de REEE e em empresas especializadas em logística reversa de REEE.

Localizada no Estado de Pernambuco, Recife se limita ao Norte com os municípios de Olinda e Paulista; ao sul, Jaboatão dos Guararapes; a Leste com o oceano Atlântico e a Oeste com São Lourenço da Mata e Camaragibe. O município está posicionado nas coordenadas geográficas de 8°3'15" Sul e 34°52'53" Oeste. Possui uma área de 218,843 km², dividida em (06) seis Regiões Político Administrativa - RPA, sendo elas: 01 - Centro, 02 - Norte, 03 - Noroeste, 04 - Oeste, 05 - Sudoeste, 06 - Sul, compreendendo 94 bairros, com densidade demográfica de 6.803,60 hab/km² (RECIFE, s.d). Produto Interno Bruto (PIB) per capita de R\$ 30.427,69 em 2020 e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,772 (IBGE, 2010).

Recife possui uma população de 1.488.920 de habitantes conforme o censo demográfico do IBGE de 2022, se enquadrando como uma área de grande concentração urbana de acordo com o IBGE (2016), onde classifica grandes concentrações urbanas os arranjos populacionais acima de 750.000 habitantes.

Nesse contexto, a área de estudo foi escolhida por ser uma das maiores cidades do Brasil e importante polo de produção e consumo de equipamentos eletrônicos, o que implica em uma grande quantidade de resíduos gerados. Esse cenário apresenta desafios para o gerenciamento dos resíduos eletroeletrônicos, que exigem um tratamento específico e diferenciado dos demais tipos de resíduos, pois apresentam características específicas que podem causar danos ao meio ambiente e à saúde humana. Além disso, esses resíduos representam uma fonte de recursos valiosos que podem ser recuperados e reaproveitados, gerando benefícios ambientais, econômicos e sociais. Portanto, o gerenciamento dos resíduos eletroeletrônicos é um assunto relevante e urgente, que requer a participação de todos os envolvidos na cadeia produtiva e no ciclo de vida dos equipamentos.

Figura 4 - Área de estudo



Fonte: A Autora (2023).

4.1. Levantamento das práticas sustentáveis de gestão de REEE em áreas de grandes concentrações urbanas

Para esta etapa, realizou-se um estudo bibliométrico com o objetivo de analisar o panorama da produção científica a respeito do tema de interesse. Em seguida, fez-se uma revisão bibliográfica baseada nos documentos obtidos anteriormente, a fim de explorar o tema tratado, avaliando as principais contribuições esperadas para o avanço do conhecimento e a relevância e consistência das conclusões e recomendações.

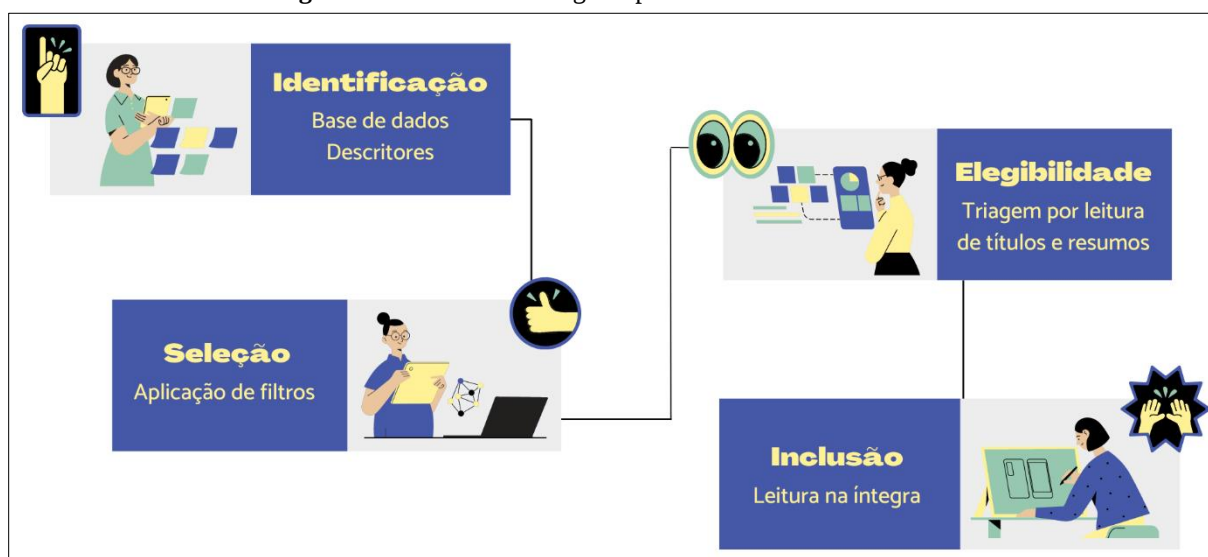
Para o levantamento de dados, foi empregada de forma adaptada a metodologia dos Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-Análises - PRISMA, que é dividida em quatro passos (Figura 5), identificação, seleção, elegibilidade e inclusão (Moher *et al.*, 2009).

No primeiro passo, identificação, foi executada a busca das publicações na base de dados *Science Direct*, através do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES. Segundo Khiste e Paithankar (2017), a *Science Direct* é a

principal plataforma de acesso a informações científicas e técnicas do mundo, com mais de 9,5 milhões de artigos em diversas áreas do conhecimento.

Foram aplicadas nas buscas um conjunto de descritores em inglês, presentes no título, no resumo ou nas palavras-chave de artigos científicos publicados no período de 2012 a outubro de 2022, tendo em vista que a pesquisa foi realizada no respectivo mês, com o intuito de observar a relação da evolução das produções científicas devido as atualizações das legislações dentro do espaço temporal estabelecido. A consulta foi aplicada utilizando associações entre os termos de “WEEE” OR “e-waste” OR “electronic waste” OR “waste electrical and electronic equipment” e as terminologias “management practices” e “management strategies”.

Figura 5 - Passos metodológicos para o levantamento de dados



Fonte: Adaptado de Moher *et al.*, (2009).

No segundo passo, seleção, foram aplicados critérios de exclusão com os seguintes filtros: tipo de documento - artigos de revisão e artigos de pesquisa; áreas de estudo - engenharias e ciências ambientais. Além disso, optou-se por utilizar somente documentos de acesso aberto, pois eles favorecem a difusão do conhecimento científico e a cooperação entre os pesquisadores. Além disso, documentos com acesso livre tendem a ter maior visibilidade e impacto, pois podem ser acessados por um público mais amplo e diverso.

No terceiro passo, elegibilidade, foram realizadas as leituras dos títulos e dos resumos dos artigos para triagem dos trabalhos com associação direta com o tema, minimizando possíveis erros de seleção e excluindo duplicatas. No último passo, inclusão, foram analisados integralmente os artigos resultantes da etapa anterior, com o foco em subsidiar a elaboração das alternativas de gestão sustentável para o município de Recife.

Com base na metodologia de Silva (2021), para a exportação dos dados bibliométricos foram consideradas as próximas fases para o processamento dos dados: (I) tratamento dos dados; (II) análise quantitativa e (III) análise textual/qualitativa. Nessas fases, os artigos foram separados para categorização dos estudos, compreendendo os seguintes itens: ano de publicação do estudo; país de origem; periódico e métricas de impacto do periódico. Essas fases da pesquisa foram executadas com os *softwares Excel e Iramuteq*.

O programa *Excel* foi usado na investigação quantitativa da amostra pós-tratamento, isto é, visando a elaboração de gráficos e de tabelas. De início, foram analisadas as tendências de publicações a respeito do período definido, além da busca da relação dos artigos a respeito das publicações por regiões e instituições, tendo como parâmetro analítico a filiação até o quarto autor de cada artigo (Silva, 2019). De acordo com Polat *et al.*, (2022), a análise da contribuição por países é de fundamental importância, pois nesta é possível identificar as áreas que possuem maior interesse na temática, assim como as nações que incentivam a elaboração de estudos para desenvolver a ciência e a tecnologia em alguns campos científicos. Conforme Erivan *et al.* (2020), o Fato de Impacto - FI é um ótimo indicador de qualidade científica, o que justifica a vasta aplicação deste mecanismo em pesquisas de cunho bibliográfico classificatório, dessa forma, o FI dos periódicos foi analisado de acordo com a classificação do *Journal Citation Reports – JCR* e *Journal Exaly*.

A partir dos dados textuais, realizou-se o estudo estatístico com o auxílio do programa *Iramuteq*. De acordo com Ramos *et al.* (2018), esse programa permite a análise estatística de dados textuais, medindo a frequência de palavras, a descrição da estatística textual e a análise multivariada, dessa forma, esse software classifica as palavras de acordo com a frequência que elas ocorrem no texto. A nuvem de palavras gerada por esse método indica o número de repetições encontradas no texto. Desse modo, palavras que ocorrem com maior frequência no texto se sobressaem entre as outras (Melchior; Zanini, 2019).

4.2. Análise qualitativa dos meios de coleta sustentáveis

A metodologia utilizada nesta etapa foi semelhante à da etapa anterior, baseada no método PRISMA para realizar um levantamento sistemático com foco na temática abordada na pesquisa. No entanto, nesta etapa, foram utilizadas duas plataformas para a busca de dados, a *Science Direct* e a *Scopus*, por suas características e abrangência. Os descritores utilizados nas buscas foram “*voluntary delivery points*” OR “*collection points*” AND “*e-waste*” OR “*waste electrical and electronic equipment*”, presentes em qualquer parte dos documentos.

Os critérios de seleção foram: tipo de documento - artigos de revisão; o período definido para o levantamento da pesquisa foi publicações realizadas de 2018 a outubro de 2022, tendo em vista que o levantamento foi realizado no respectivo mês, com o objetivo de averiguar a literatura mais recente a respeito do tema; e arquivos de acesso aberto - para facilitar a síntese das informações relevantes. A elegibilidade e inclusão nessa etapa do levantamento sistemático decorreram da mesma forma ao executado na primeira etapa, com foco na revisão bibliográfica para análise crítica dos meios de coleta, considerando os princípios da sustentabilidade e o acondicionamento adequado dos REEE, bem como a influência da aplicação de pontos de coleta de resíduos na gestão dos REEE.

4.3. Caracterização da área de estudo e gestão atual de REEE

A pesquisa aborda o gerenciamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) no município de Recife-PE.

A caracterização da área em estudo foi dividida em duas fases: a primeira, foi realizada um aprofundamento das características socioeconômicas e informações sobre os serviços urbanos, com o objetivo de elaborar o mapa de vulnerabilidade social de Recife e analisar a influência da vulnerabilidade social na gestão dos REEE da cidade.

Na segunda fase, foram identificadas as práticas de gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos na área em estudo por meio de pesquisas documentais exploratórias, em diretórios acadêmicos e institucionais, bem como em fontes de instrumentos legais. Por sua vez, realizou-se um levantamento prévio dos pontos de coleta utilizando o *Google Earth*, para posterior diagnóstico e caracterização com visitas *in loco*, empregando um formulário estruturado (Anexo A), semelhante ao utilizado por Santos (2018).

Com base em Santos (2018), optou-se por seguir a técnica *snowball* (bola de neve), que por meio das relações profissionais (*networking*) das pessoas envolvidas com a gestão de REEE, pôde-se obter informações quanto aos pontos de coleta e das empresas especializadas. Para Baldin e Munhoz (2011) a vantagem desse método é a identificação de um leque de pessoas que se inter-relacionam, sendo um fator importante para a aproximação do pesquisador com os atores envolvidos em seu objeto de pesquisa.

4.3.1. Fase 1 - Caracterização da vulnerabilidade social da área de estudo

A caracterização da vulnerabilidade social da área em estudo foi realizada por meio da sobreposição dos mapas de fragilidades dos serviços urbanos e dos moradores. A construção desses mapas foi baseada na metodologia aplicada por Costa Filho (2020).

Para a efetivação dessa etapa, foi utilizada como base de dados o Censo Demográfico do IBGE (2010). É importante enfatizar que devido ao atraso da realização do censo de 2020 e sua respectiva publicação por setores censitários, os dados de 2010 podem apresentar diferenças com a situação atual, mas isso não impede a utilização da base de dados, porque os fatores analisados na construção do mapa de vulnerabilidade social não mudam de forma repentina, uma vez que dependem de políticas e investimentos públicos, que são implementados lentamente.

Carvalho (2010), Vidal (2019) e Costa Filho (2020), apresentam variáveis ambientais para a composição dos mapas de fragilidades dos serviços urbanos e dos moradores. O primeiro (Quadro 8), aborda variáveis de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e infraestrutura associada à drenagem. O segundo (Quadro 9), por sua vez, aborda a alfabetização e renda *per capita*. Os respectivos quadros apresentam as variáveis utilizadas nesse trabalho para a construção dos mapas de caracterização.

Quadro 8 - Variáveis utilizadas para a caracterização de serviços urbanos

Variáveis	Variáveis de Serviços Urbanos
Dados gerais	
Idpp	Domicílios particulares permanentes
Abastecimento de Água	
Iabr	Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água da rede geral
Iabp	Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água de poço ou nascente na propriedade
Iabc	Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água da chuva armazenada em cisterna
Iabo	Domicílios particulares permanentes com outra forma de abastecimento de água
Esgotamento Sanitário	
Iesr	Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial
Iesfs	Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via fossa séptica
Iesfr	Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via fossa rudimentar
Iesvv	Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via vala
Iesrl	Domicílios particulares permanentes, com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rio, lago ou mar
Iesou	Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via outro escoadouro
Limpeza Urbana	
Ilic	Domicílios particulares permanentes com lixo coletado
Iliq	Domicílios particulares permanentes com lixo queimado na propriedade
Ilie	Domicílios particulares permanentes com lixo enterrado na propriedade

Quadro 8 - Variáveis utilizadas para a caracterização de serviços urbanos (Cont.)

Variáveis	Variáveis de Serviços Urbanos
Dados gerais	
Limpeza Urbana	
Ilit	Domicílios particulares permanentes com lixo jogado em terreno baldio
Ilir	Domicílios particulares permanentes com lixo jogado em rio, lago ou mar
Ilio	Domicílios particulares permanentes com outro destino do lixo
Infraestrutura associada à drenagem	
Ipav1	Domicílios particulares permanentes próprios - Existe pavimentação
Ipav2	Domicílios particulares permanentes alugados - Existe pavimentação
Ipav3	Domicílios particulares permanentes cedidos - Existe pavimentação
Imfio1	Domicílios particulares permanentes próprios - Existe meio-fio/guia
Imfio2	Domicílios particulares permanentes alugados - Existe meio-fio/guia
Imfio3	Domicílios particulares permanentes cedidos - Existe meio-fio/guia
Ibue1	Domicílios particulares permanentes próprios - Existe bueiro/boca de lobo
Ibue2	Domicílios particulares permanentes alugados - Existe bueiro/boca de-lobo
Ibue3	Domicílios particulares permanentes cedidos - Existe bueiro/boca de lobo

Fonte: Costa Filho (2020).

Quadro 9 - Variáveis utilizadas para a caracterização dos moradores

Variáveis	Variáveis de Características dos Moradores
Dados gerais	
Imor	Moradores em domicílios particulares permanentes
Alfabetização	
Ialfa	Pessoas alfabetizadas com 5 ou mais anos de idade
Rendimento	
IR1	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de até 1/8 salário mínimo
IR2	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/8 a 1/4 salário mínimo
IR3	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/4 a 1/2 salário mínimo
IR4	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/2 a 1 salário mínimo
IR5	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1 a 2 salários mínimos
IR6	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 2 a 3 salários mínimos
IR7	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 3 a 5 salários mínimos
IR8	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 5 a 10 salários mínimos
IR9	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 10 salários mínimos
IR10	Domicílios particulares sem rendimento nominal mensal domiciliar per capita

Fonte: Costa Filho (2020).

Para Medeiros (2021) os serviços urbanos são aqueles que garantem o funcionamento e a qualidade de vida nas cidades, como transporte, saneamento, iluminação, segurança, saúde e educação. Conforme Mendes, Ronzani e Paiva, (2019), a oferta e a distribuição desses serviços influenciam diretamente na vulnerabilidade social de uma região, pois afetam as condições de

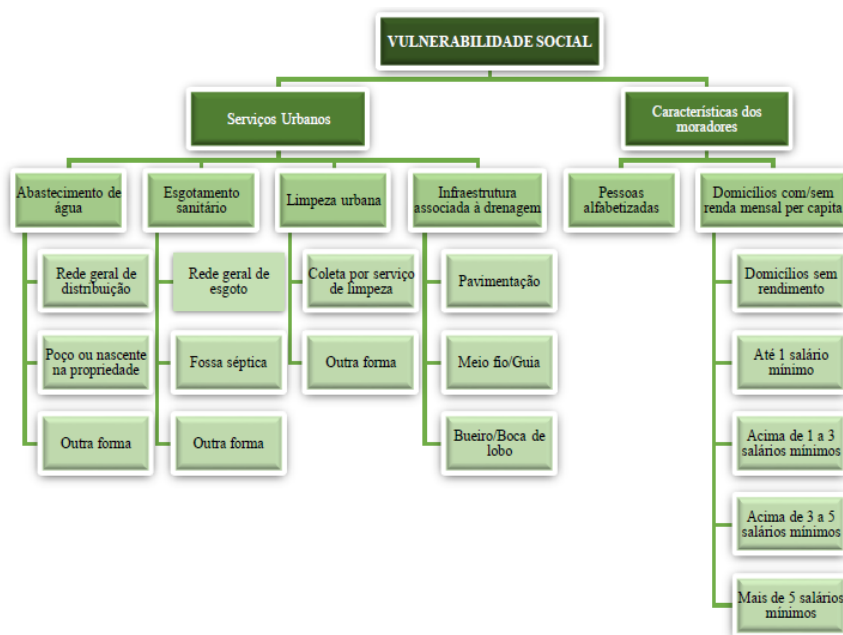
acesso e oportunidades dos moradores, já que uma região com baixa cobertura de serviços urbanos tende a apresentar maior vulnerabilidade social, pois seus habitantes enfrentam dificuldades para se deslocar, se informar, se proteger, se tratar e se qualificar.

Por outro lado, uma região com alta cobertura de serviços urbanos tende a apresentar menor vulnerabilidade social, pois seus habitantes dispõem de mais facilidades e recursos para melhorar sua situação socioeconômica (Souza, 2015; Medeiros, 2021).

De acordo com Medeiros (2021), as características dos moradores de uma região podem influenciar na vulnerabilidade social de diversas formas, dependendo do grau de marginalização, discriminação, desorganização familiar e violência que sofrem. Por exemplo, pessoas que residem em moradias precárias, com baixo nível de renda e educação, são mais vulneráveis socialmente do que aquelas que dispõem de condições materiais e humanas adequadas. Mendes, Ronzani e Paiva, (2019) afirmam que para compreender a vulnerabilidade social de uma região, é necessário analisar as características dos moradores e os fatores que os colocam em situação de risco ou desproteção social. Conforme Awasthi *et al.* (2018), o mapa de vulnerabilidade social é uma ferramenta importante para o planejamento urbano e pode ser utilizado para identificar áreas que necessitam de intervenção social e ambiental.

Com base nisso, este estudo analisou a relação entre a gestão de REEE e a vulnerabilidade social, afim de observar a relação das variáveis da vulnerabilidade social (Figura 6) e a tendência ao descarte, manejo e destinos sustentáveis de REEE.

Figura 6 - Variáveis de vulnerabilidade social



Fonte: Costa Filho (2020).

Para realizar a sobreposição dos mapas de fragilidades de serviços urbanos e dos moradores e, conseqüentemente, a obtenção do mapa de vulnerabilidade social, os grupos e subgrupos de variáveis foram ponderados por pesos e notas obtidos por meio de consultas com especialistas (método Delphi) realizadas por Vidal (2019). Foram atribuídas notas de 1 a 10 para as variáveis e pesos de 10 a 100 para grupos e subgrupos, conforme apresentado no (Quadro 10), ou seja, quanto maior a influência do grupo, subgrupo ou da variável ambiental, maior seria o peso ou nota atribuída.

Quadro 10 - Pesos e notas para a construção do mapa de vulnerabilidade social

Quadro 10 - Pesos e notas para a construção do Mapa de Vulnerabilidade Social

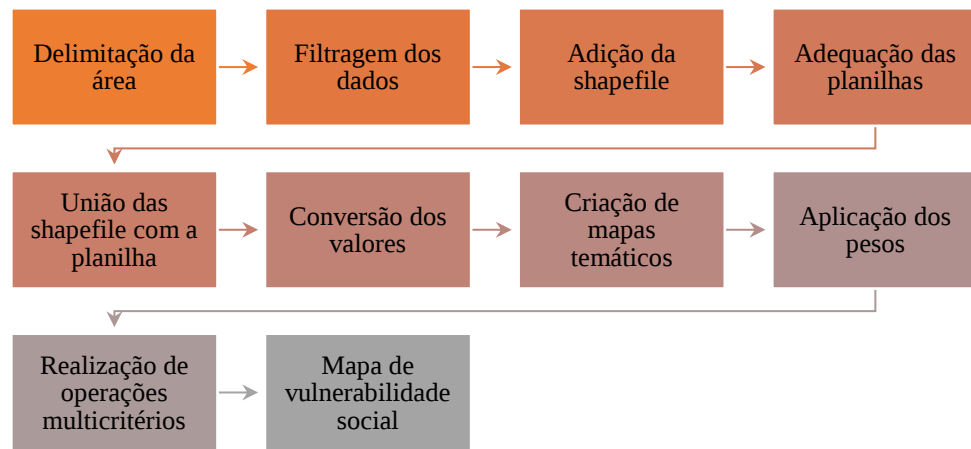
SERVIÇOS URBANOS - PESO = 65				
Abastecimento de Água Peso = 40	Esgotamento Sanitário Peso = 30	Limpeza Urbana Peso = 20	Infra. associada à drenagem Peso = 10	
Rede geral de distribuição Nota = 1,5 (Iabr)	Rede geral de esgoto Nota = 1 (Iesr)	Coleta por serviço de limpeza Nota = 1,5 (Ilic)	Pavimentação Nota = 1,5 (Ipav1+ Ipav2+ Ipav3)	
Poço ou nascente na propriedade Nota = 5 (Iabp)	Fossa séptica Nota = 5 (Iesfs)	Outras formas Nota = 10 (Iliq+ Ilie+ Ilit+ Ilir+ Ilio)	Meio fio/guia Nota = 3 (Imfio1+ Imfio2+ Imfio3)	
Outras formas Nota = 9,5 (Iabc+ Iabo)	Outras formas Nota = 10 (Iesfr+ Iesvv+ Iesrl+ Iesou)		Bueiro/boca de lobo Nota = 2 (Ibue1+ Ibue2+ Ibue3)	
CARACTERÍSTICA DOS MORADORES - PESO = 35				
Informações sobre renda - domicílios com/sem renda mensal per capita - Peso = 30				
Sem rendimento mensal Nota = 10 (IR10)	Até um SM Nota = 8 (IR1+ IR2+ IR3+ IR4)	Mais de 1 à 3 SM Nota = 6 (IR5+ IR6)	Mais de 3 à 5 SM Nota = 5 (IR7)	Mais de 5 SM Nota = 1 (IR8+ IR9)
Informações sobre alfabetização - Pessoas alfabetizadas - Peso = 70 (Ialfa)				

Fonte: Costa Filho (2020).

Nota: (1) SM - Salários Mínimos. (2) Os pesos e notas foram obtidos a partir da metodologia Delphi (consulta com especialista das áreas de interesse da pesquisa).

Finalizado o processo de obtenção de dados, foi possível realizar a construção dos mapas temáticos utilizando o *software QGIS*, versão 3.22.5, seguindo os procedimentos apresentados na (Figura 7).

Figura 7 - Procedimentos metodológicos para a construção do mapa de vulnerabilidade social



Fonte: Adaptado de Costa Filho (2020).

4.3.2. Fase 2 - Gestão atual de REEE em Recife, Pernambuco.

Para analisar a gestão atual dos REEE em Recife-PE foi realizado um levantamento bibliográfico por meio de uma pesquisa exploratória referente às práticas de gestão de REEE no município, cujos dados foram obtidos através de periódicos científicos e diretórios oficiais do município. Também foram realizadas pesquisas *in loco* em empresas e pontos de coleta voluntária. A (Figura 8) apresenta os passos percorridos para o levantamento dos dados em campo, bem como o detalhamento dos processos de análises de dados.

Figura 8 - Passos percorridos para o levantamento de dados

Fonte: A Autora (2023).

Com o levantamento realizado nos diretórios oficiais, foi possível localizar pontos públicos e privados de coleta, além da obtenção dos contatos das empresas que executam a logística reversa de REEE em Recife.

A partir disso, foi realizado um contato prévio, o que possibilitou a marcação das visitas *in loco* e reuniões por vídeo conferência. Os diálogos tiveram início no mês de outubro de 2021, e obedeceram ao roteiro pré-estabelecido (Quadro 11) para uma entrevista semiestruturada.

Quadro 11 - Roteiro semiestruturado aplicado junto aos representantes das empresas

Nº	QUESTÕES
01	Possui licença? () Sim () Não
02	É registrado a média de recebimento? () Sim () Não
03	Existe uma meta de recebimento? () Sim () Não
04	Tem parcerias com outras instituições públicas ou privadas? () Sim () Não
05	Tem engajamento com ações de impacto social? () Sim () Não
06	A destinação final é feita por empresa especializada? () Sim () Não
07	A coleta a domicílio é realizada apenas com agendamento ou por demanda? () Demanda () Agendamento () Não faz

Fonte: A Autora (2023).

Nessas ocasiões eram obtidas informações quanto ao processamento de gestão, aos meios de coleta, acondicionamento, destinação, entre outras informações respectivas ao gerenciamento dos REEE.

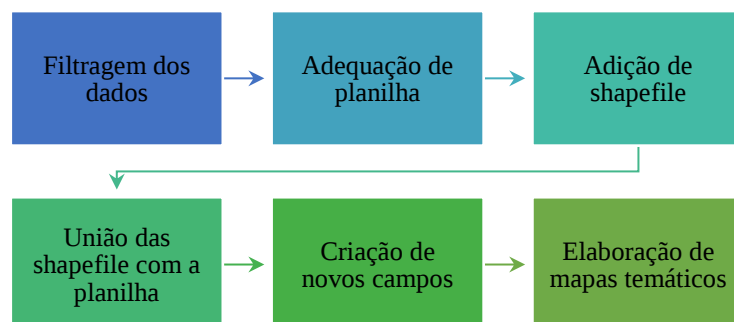
Na realização das visitas *in loco*, foi aplicado um formulário de caracterização dos coletores e localização, elaborado com base no formulário utilizado por Santos (2018). As visitas ocorreram entre os meses de outubro de 2021 e junho de 2022.

4.4. Aplicação de geotecnologias

A partir dos dados levantados na etapa anterior e com o auxílio do *software QGIS*, versão 3.22.5, pôde-se elaborar mapas temáticos para auxiliar os governantes e empresas responsáveis pela logística reversa, no planejamento estratégico do gerenciamento de REEE em Recife. Um dos produtos dessa fase é o mapa de distribuição dos pontos de coleta, que tem a finalidade de apresentar a localização dos pontos de coleta e suas respectivas características funcionais, como domínio do ponto (privado ou público) e tamanho do ponto de coleta e tipologia recebida (linha marrom, verde, azul e branca), apresentando as áreas do município com maior concentração de pontos de coleta. Assim como a espacialização das empresas, com objetivo de identificar os estabelecimentos licenciados, e além disso, analisar a influência da distribuição dos pontos de coleta em áreas de vulnerabilidade social.

O procedimento metodológico para a construção dos mapas (Figura 9) consistiu no tratamento dos dados levantados, em seguida foram exportados para o *software*, onde foram convertidos em *shapefile* para permitir a utilização das ferramentas de geoprocessamento.

Figura 9 - Roteiro semiestruturado aplicado junto aos representantes das empresas



Fonte: A Autora (2023).

Além da coleta de dados em campo, utilizou-se também dados fornecidos em sítios eletrônicos, alguns dados como variáveis socioeconômicas e demográficas, foram obtidos por meio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

A partir das análises dos mapas produzidos nesta etapa, será possível propor áreas mais favoráveis a instalação de pontos de coleta e sugestões de procedimento que poderão estabelecer melhorias a efetivação do sistema de logística reversa desses resíduos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção está dividida em 4 (quatro) partes, a primeira, considera os avanços dos estudos sobre as práticas sustentáveis de gestão de REEE, além de fazer uma análise a respeito dos principais conceitos, métodos e resultados encontrados na literatura sobre o tema, bem como as lacunas e desafios existentes. Na segunda, são discutidos os aspectos ambientais, sociais e econômicos envolvidos na coleta dos REEE, bem como as vantagens e desvantagens dos diferentes modelos de coleta, tais como coleta seletiva, logística reversa, ecopontos, entre outros. A terceira, consiste em uma descrição dos principais problemas e desafios relacionados à gestão dos resíduos sólidos, especialmente dos REEE. Também é apresentado o mapa da vulnerabilidade social e sua relação com a gestão dos resíduos sólidos. Por último, na quarta seção, apresentam-se análises espaciais sobre os pontos de coleta de REEE em Recife, considerando aspectos como demanda, oferta, acessibilidade, entre outros. Além disso, são propostas algumas recomendações para melhorar o desempenho e a eficiência do sistema de logística reversa dos REEE no município, levando em conta os princípios da sustentabilidade.

5.1. Levantamento das práticas sustentáveis de gestão de REEE em áreas de grandes concentrações urbanas

5.1.1. Estudo bibliométrico das práticas sustentáveis de gestão de REEE

Com relação ao levantamento dados usando o método descrito no item 4.1, observaram-se os resultados apresentados na (Quadro 12).

Foram encontrados 1.830 trabalho com os descritores selecionados, contudo, com os filtros aplicados (tipo de trabalho e período de estudo) houve uma redução significativa neste número, limitando a 157 artigos, em sequência aos passos do método utilizado, esse levantamento resultou a um total de 22 artigos.

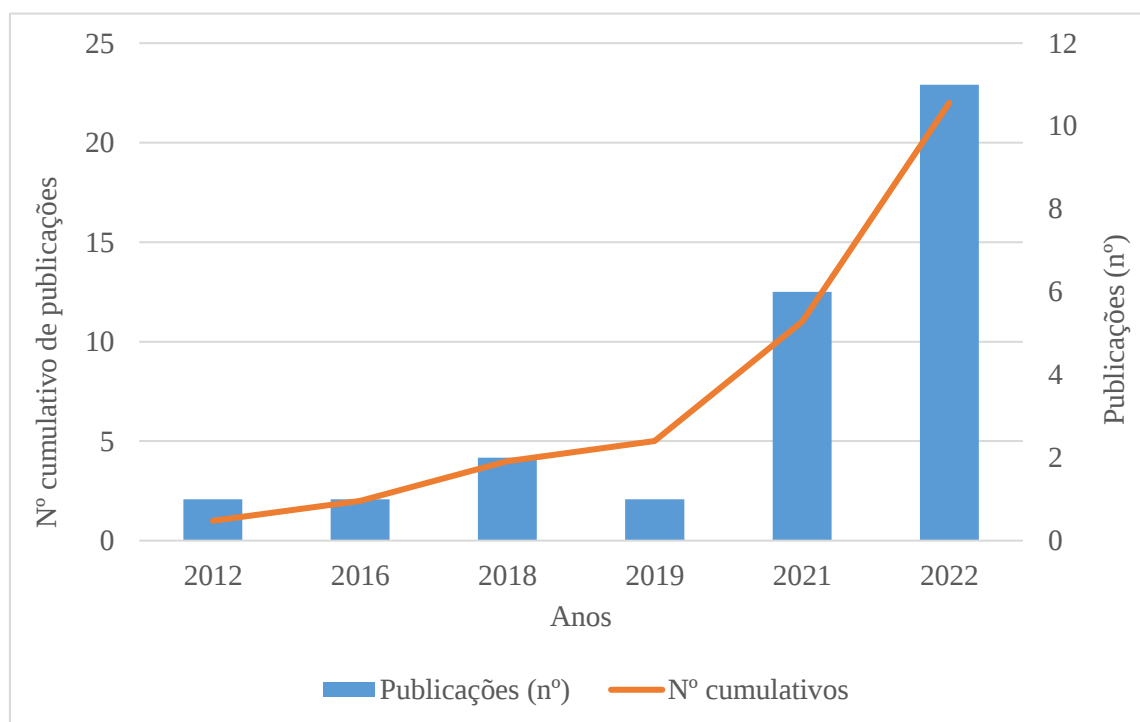
Quadro 12 - Dados da busca sistemática para o levantamento de dados

ID.				SEL.		ELEG.	INC.
Descritores	Base de Dados	Campo de Busca	Nº de artigos	Tipo de Filtro	Nº de artigos	Nº de artigos	Nº de artigos
("WEEE" OR "e-waste" OR "electronic waste" OR "waste electrical and electronic equipment") AND ("management practices" OR "management strategies")	Science Direct	Título, resumo, palavras-chave	1.830	Artigo de Revisão e Artigos de Pesquisa Áreas de Estudo: Engenharias e Ciências Ambientais Período: 2012 a 2022 Acesso aberto	157	29	22

Fonte: A Autora (2022).

Nota: ID – Identificação; SEL – Seleção; EL – Elegibilidade; INC – Inclusão.

Considerando a base de dados utilizada e os descritores, nota-se que houve poucas publicações de artigos a respeito do tema abordado, dentro da janela temporal delimitada de 2012 a 2022 como mostra (Figura 10), apresentando um período sem produção entre 2013 e 2015, além dos anos de 2017 e 2020. Contudo, observa-se um pequeno avanço nas produções em 2021 e 2022, com destaque para o último ano, apresentando 50% (11 artigos) dos trabalhos encontrados, evidenciando uma perspectiva de avanços nos estudos no tema abordado.

Figura 10 - Quantitativo de publicações no período de 2012 a 2022

Fonte: A Autora (2022).

A análise bibliométrica realizada por Zhang *et al.*, (2019), também apresenta uma tendência de avanço nas pesquisas com os REEE. Os autores afirmam que o aumento das publicações está ligado a publicações e implantações de regulamentos e legislações relacionados aos REEE. Por meio de estudos bibliométricos publicados recentemente foram encontradas cerca de três mil publicações revisadas por pares relacionadas ao resíduo eletroeletrônico, com tendência de aumento exponencial das publicações (Andrade *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2019).

Essas pesquisas podem fornecer informações sólidas quanto a importância do estudo do gerenciamento de REEE, que ganhou a atenção de pesquisadores de todo o mundo, com o objetivo de contribuir com o conhecimento para o desenvolvimento de uma gestão sustentável desses resíduos (Ismail; Hanafiah, 2020).

As produções científicas analisadas sob a perspectiva das práticas de gestão sustentável englobaram 67 instituições de 13 países, com a participação de 98 autores. Em termos continentais (Tabela 1), a Ásia contemplou 49,26% das publicações científicas na base de dados escolhida, enquanto a Europa apresentou um resultado de 22,39%, a América do Sul 14,92%, a América do Norte 7,47% e a Oceania com 5,97%.

Tabela 1 - Distribuição da contribuição científica por região geográfica

CONTINENTES	PAÍS	CONTRIBUIÇÃO POR INSTITUIÇÕES	CONTRIBUIÇÃO (%)
América do Norte	EUA	3	4,48%
	México	2	2,99%
América do Sul	Brasil	9	13,43%
	Peru	1	1,49%
Ásia	Arábia Saudita	1	1,49%
	China	2	2,99%
	Índia	26	38,81%
	Sri Lanka	4	5,97%
Europa	Alemanha	1	1,49%
	Lituânia	1	1,49%
	Reino Unido	8	11,94%
	Suécia	2	2,99%
	Países Baixos	3	4,48%
Oceania	Austrália	4	5,97%

Fonte: A Autora (2022).

Na tabela acima é perceptível que Índia foi o país que mais contribuiu para o quantitativo (38,81%) das produções científicas na temática estudada, provavelmente foi devido à busca de soluções para os problemas ambientais decorrentes da grande geração de REEE do país. Conforme Forti *et al.* (2020), a Índia é considerada o terceiro país que mais gerou resíduo eletroeletrônico no mundo em 2019, sendo responsável por 3,2 milhões de toneladas.

O Brasil é a segunda maior contribuição (13,43%) das produções científicas a respeito das práticas sustentáveis de gestão de REEE. Diante da mobilização da comunidade científica, é possível constatar que há um aumento no interesse pela temática nos últimos anos, provavelmente impulsionado pela necessidade de compreender a dinâmica das práticas de gestão de REEE, temática esta, que apresenta relevância global.

Em relação aos periódicos científicos (Tabela 2) dos trabalhos elegíveis, foram observadas publicações em 16 diferentes periódicos, com 4 deles possuindo fatores de impacto acima de 5.

Tabela 2 – Relação periódicos suas contribuições e fator de impacto

REVISTAS	ISSN/ e-ISSN	NÚMERO DE PUBLICAÇÕES	CONTRIBUIÇÃO (%)	FATOR DE IMPACTO (2021)
Ain Shams Engineering Journal	2090-4479	1	4,55	4.790
Circular Economy	2773-1677	1	4,55	-
Cleaner and Responsible Consumption	2666-7843	2	9,09	1.6
Cleaner Engineering and Technology	2666-7908	1	4,55	2.7
Cleaner Logistics and Supply Chain	2772-3909	1	4,55	-
Current Research in Environmental Sustainability	2666-0490	1	4,55	5
Environmental Challenges	2667-0100	1	4,55	2.4
Environmental Research	0013-9351	1	4,55	8.431
Environmental Technology & Innovation	2352-1864	4	18,18	7.758
Journal of Cleaner Production	0959-6526	1	4,55	11.072
Procedia CIRP	2212-8271	2	9,09	1.8
Procedia Environmental Sciences	1878-0296	2	9,09	1.2
Resources, Conservation & Recycling: X	2590-289X	1	4,55	3.9
Resources, Conservation & Recycling	0921-3449	1	4,55	13.716
Resources, Conservation & Recycling Advances	2667-3789	1	4,55	-
Total Environment Research Themes	2772-8099	1	4,55	-

Fonte: A Autora (2022).

Nesse estudo, a revista *Environmental Technology & Innovation* foi a mais utilizada pelos pesquisadores, tendo 04 (quatro) produções científicas, o que representa 18,18% do quantitativo analisado. Os periódicos *Cleaner and Responsible Consumption*, *Procedia CIRP*, e *Procedia Environmental Sciences* registraram cada um duas publicações, representando,

individualmente, 9,09% da quantidade total de artigos analisados, já os demais periódicos contribuíram cada um com apenas uma publicação.

A partir da representação da nuvem de palavras (Figura 11), que mostra as palavras mais usadas e suas relações de frequência, foi identificado um total de 259 palavras, tendo as 15 mais frequentes grande relação com a temática estudada. Nesse sentido, as palavras que se destacaram na análise textual estão na região central e têm maior dimensão (Melchior; Zanini, 2019). Dessa maneira, é possível observar os termos de maior relevância são: *waste*, *management*, *eletronic*, *sustainability*, *environment*.

Figura 11 - Nuvem de palavras



Fonte: A Autora (2022).

5.1.2. Levantamento de práticas e estratégias sustentáveis de gerenciamento de REEE

Foi possível analisar que os 22 artigos resultantes da aplicação do método PRISMA (Quadro 13), possuem diferentes vertentes que abordam práticas de gerenciamento de REEE, conscientização da população, ciclo de vida dos dispositivos, barreiras sistêmicas e culturais para a reutilização de resíduos eletroeletrônicos, além de compreender e otimizar as estratégias sustentáveis de gerenciamento de REEE. Os resultados mostraram que existem diversas iniciativas de gerenciamento sustentável de REEE em diferentes países, envolvendo aspectos

legais, econômicos, sociais e ambientais. No entanto, ainda há desafios a serem superados, como a falta de padronização, a informalidade, a baixa conscientização e a escassez de infraestrutura.

Quadro 13 - Principais teóricos, métodos e descrição de seus estudos

FONTE (ANO)	MÉTODO	OBJETIVO
Santos; Ogunseitan (2021)	Revisão teórica	Avaliar a situação atual da reciclagem de resíduos eletroeletrônicos no Brasil, além das modificações necessárias após assinatura do acordo setorial de logística reversa e desafios esperados para a implantação do sistema de logística reversa.
Mor <i>et al.</i> (2021)	Estudo exploratório	Revelar o papel das práticas de gerenciamento de resíduo eletroeletrônico para a sustentabilidade ambiental e explorar o nível de conscientização das pessoas sobre o gerenciamento de REEE, sua geração e práticas de tratamento primário em instituições educacionais.
Böner; Heggerý (2018)	Revisão teórica	Analisar e avaliar a gerenciamento de resíduo eletroeletrônico na Holanda.
Singh; Ogunseitan (2022)	Análise de Ciclo de Vida	Aumentar o tempo de funcionalidade dos dispositivos afim de mitigar até a metade das emissões totais de gases do efeito estufa.
Shittu; Williams; Shaw (2021).	Revisão teórica	Fornecer um exame crítico e contemporâneo da situação global atual da gestão de REEE e discute oportunidades de aprimoramento.
Nanayakkara <i>et al.</i> (2022)	Estudo de caso	Otimizar a rede de logística reversa.
Kahhat <i>et al.</i> (2022)	Estudo de caso	Fornecer sistema integrado de gestão de resíduo eletroeletrônico a ser implementado em fases.
Kumar <i>et al.</i> (2022)	Revisão teórica e método Delphi	Identificar facilitadores e investigar sua influência sobre outros capacitadores para implementar a gestão sustentável de REEE
Rajesh; Kanakadhurga; Prabakaraný (2022)	Revisão teórica	Detalhar sistema de gerenciamento de resíduo eletroeletrônico que inclui o processo de reciclagem e seus efeitos na Índia.
Vishwakarma <i>et al.</i> (2022)	Revisão teórica	Explorar o status atual, os desafios e as iniciativas enfrentadas pelo setor de TIC no tratamento de lixo eletrônico.
Naik; Eswari (2022)	Revisão teórica	Discutir a situação do resíduo eletroeletrônico e fornecer informações sobre os materiais perigosos encontrados nos dispositivos.
Menon; Ravi (2021)	Revisão teórica e Método Delphi	Estudar os fatores que atuam como viabilizadores da sustentabilidade nas indústrias eletroeletrônicas.
Cole <i>et al.</i> (2019)	Síntese interpretativa crítica e entrevistas semiestruturadas	Identificar as barreiras sistêmicas e culturais para a reutilização de equipamentos eletroeletrônicos.
Maia <i>et al.</i> (2021)	Estudo de caso	Identificar e analisar quantidades, tipologias e opções de destinação dos resíduos gerados no setor elétrico.
Mejame <i>et al.</i> (2022)	Revisão teórica	Demonstrar como o conceito de economia circular em uma estrutura de desenvolvimento sustentável pode ser implementado para enfrentar o desafio da escassez de recursos de terras raras com carga ambiental reduzida.

Quadro 13 - Principais teóricos, métodos e descrição de seus estudos (Cont.)

FONTE (ANO)	MÉTODO	OBJETIVO
Almulhim (2022)	Bola de neve	Avaliar a conscientização das famílias sobre o lixo eletrônico, os problemas ambientais associados ao descarte inadequado e a disposição de se engajar no gerenciamento do lixo eletrônico.
Cole et al. (2018)	Síntese interpretativa crítica e entrevistas semiestruturadas	Investigar as visões de especialistas eletroeletrônicos no Reino Unido.
Ádám et al. (2021)	Revisão teórica	Abordar as tendências atuais e as ameaças emergentes das práticas informais e formais de gerenciamento de REEE além de propor medidas e intervenções adequadas.
Mary; Meenambal (2016)	Estudo de caso	Descobrir como as regras (Gerenciamento e Manuseio) de REEE de 2011 podem ser implementadas para uma gestão ambientalmente correta no setor de grandes consumidores.
Neto et al. (2021)	Estudo de caso	Investigar o conhecimento e a prática do gerenciamento do REEE de famílias brasileiras de um bairro de classe média da cidade de Caruaru.
Wei; Liu (2012)	Revisão teórica	Explorar os desafios e problemas enfrentados pela gestão de resíduo eletroeletrônico na China.
Ankit et al. (2021)	Revisão teórica	Identificar status e tendência global de geração de lixo eletrônico.

Fonte: A Autora (2023).

Para que os REEE sejam gerenciados de forma eficaz e ambientalmente correta, é essencial ter informações sobre os equipamentos eletroeletrônicos (EEE) que são produzidos, adquiridos e descartados; essas informações são a base para o planejamento estratégico em relação à infraestrutura necessária para as diversas etapas do gerenciamento dos REEE.

Gerenciar os REEE de maneira eficiente em nível global é uma tarefa difícil (Williams, 2016). Existem diferentes abordagens e cenários para o gerenciamento dos REEE no mundo, que variam conforme a região. Os REEE têm fluxos e movimentos interconectados e complexos, que muitas vezes não são registrados (Peagram *et al.*, 2014). Diante disso, no (Quadro 14) são apresentados os cenários típicos de gestão de REEE.

Os diferentes panoramas de gerenciamento dependem de diversos fatores, como o nível de desenvolvimento econômico e social dos países, a disponibilidade da infraestrutura e tecnologia para coleta, transporte, armazenamento, tratamento e destinação final dos resíduos, a existência de políticas públicas, além de instrumentos legais que regulamente e incentive a participação dos diferentes atores.

Quadro 14 - Caracterização dos métodos de gerenciamento por cenário

CENÁRIOS	CARACTERIZAÇÃO
Cenário 1	Este processo envolve a gestão adequada de resíduos que são devidamente documentados e recolhidos, conforme os requisitos legais estabelecidos pela legislação vigente sobre REEE.

Quadro 14 - Caracterização dos métodos de gerenciamento por cenário (Cont.)

CENÁRIOS	CARACTERIZAÇÃO
Cenário 1	A recolha de REEE neste cenário é feita normalmente por meio de pontos de recolha municipais, fabricantes e comerciantes de EEE ou por meio de contratos de recolha específicos. Os REEE recolhidos são encaminhados para instalações de tratamento especializadas, onde são tratados por profissionais qualificados.
Cenário 2	É caracterizado pelo descarte direto de REEE juntamente com resíduos domésticos. Essa prática impede a separação adequada dos materiais e pode causar danos ambientais e à saúde. Dependendo da região, os resíduos misturados podem acabar em aterros sanitários ou serem queimados, gerando poluição e desperdício de recursos.
Cenário 3	Neste cenário, a coleta de REEE é feita de forma não regulamentada, sem registro oficial dos volumes e tipos de resíduos gerados e coletados. Isso dificulta o controle e a fiscalização das atividades relacionadas aos REEE. Além disso, os REEE coletados podem ser tratados de forma inadequada do ponto de vista ambiental ou serem objeto de exportação ilegal. Essa prática pode envolver agentes informais que atuam como intermediários na cadeia de valor dos REEE.
Cenário 4	Inclui a participação de agentes informais na recuperação de REEE dos consumidores, como catadores de resíduos e sucateiros. Essas atividades não estão sujeitas à legislação específica sobre o manejo de REEE.

Fonte: Adaptado de Shittu; Williams; Shaw (2021).

Cada cenário apresenta vantagens e desvantagens, bem como desafios e oportunidades para a melhoria da gestão dos REEE. É importante conhecer as características e as implicações de cada um para poder definir as melhores estratégias para promover uma gestão sustentável dos REEE.

A Suíça se destacou ao criar o primeiro sistema formal de gestão de REEE do mundo. Esse sistema segue o princípio da Responsabilidade Estendida ao Produtor - REP, que atribui aos fabricantes à responsabilidade física e financeira pelo destino dos resíduos. Atualmente, existem quatro entidades sem fins lucrativos que coordenam o fluxo de REEE na Suíça, desde a coleta e o transporte até o tratamento ambientalmente adequado (Schwazer *et al.*, 2005).

Na Austrália, o resíduo proveniente de peças de Tecnologia da Informação - TI, computadores, televisores e impressoras é gerenciado pelo *National Television and Computer Recycling Scheme - NTCRS* (Dias *et al.*, 2018; Islam; Huda, 2019, 2020) No entanto, a Diretiva REEE/UE (UE, 2012) classifica o resíduo eletroeletrônico em seis categorias diferentes, com metas específicas para coleta e reciclagem. O NTCRS se encaixa apenas nas categorias 2 (pequenos eletrodomésticos) e 6 (ferramentas elétricas e eletrônicas) dessa diretiva, deixando 4 categorias sem gerenciamento adequado. Além disso, não há nenhuma regulamentação que oriente como lidar com os outros tipos de resíduo eletroeletrônico presentes na Diretiva REEE/UE (Dias *et al.*, 2018; Islam; Huda, 2019, 2020).

A maior parte dos resíduos não gerenciados pelo NTCRS vai para os aterros sanitários e o restante é recolhido como sucata. Entre os resíduos, observa-se a presença de fones de ouvido, geladeiras, CD players, câmeras, máquinas de lavar, ar-condicionado, entre outros

(Dias *et al.*, 2018; Islam; Huda, 2019). Em relação a isso, a Economia Circular – EC tem sido promovida como uma estratégia que traz soluções sistêmicas promissoras para a economia global e para o meio ambiente (Balanay; Halog, 2019; Wang; Kara, 2019).

Os REEE são considerados como resíduos perigosos pela legislação do México e devem receber um tratamento adequado para evitar danos ao meio ambiente e à saúde pública. As empresas que geram esses resíduos são responsáveis pela sua gestão e destinação final, conforme estabelecido na Lei Geral para a Prevenção e Gestão Integral dos Resíduos - LGPGIR. Por outro lado, os resíduos eletroeletrônicos de origem domiciliar fazem parte dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e devem ser gerenciados pelo município (Kahhat *et al.*, 2022).

No México, os municípios recolhem os resíduos urbanos e transportam para as zonas de transferência. Após as zonas de transferência, os resíduos seguem para o local de disposição final, que é um aterro não revestido acima do solo. Segundo um estudo realizado em Mexicali, cidade do México, os resíduos eletroeletrônicos representam 3,68% (em massa) dos RSU, o que representa um desafio para a gestão municipal, pois não há alternativas para o seu aproveitamento ou disposição adequada (Mor *et al.*, 2021). Portanto, é urgente a necessidade de se desenvolver e implementar estratégias para a gestão dos resíduos eletroeletrônicos no âmbito municipal.

De acordo com WRAP (2017), a *Environment Agency* é responsável por regular a gestão de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) na Inglaterra, de acordo com a Diretiva REEE/EU. A essa diretiva foi incorporada à legislação do Reino Unido (UK) como o *WEEE Regulation*, que entrou em vigor em janeiro de 2007. O objetivo dessa regulamentação é promover a reciclagem e a reutilização dos REEE, reduzindo os impactos ambientais e econômicos desses resíduos.

Uma nova política para o direito de reparo de produtos eletrônicos de consumo está em debate em vários países. A Comissão Europeia e o Reino Unido já aprovaram diretrizes que obrigam os fabricantes a fornecer manuais de reparo e peças de reposição para alguns tipos de eletrodomésticos, como máquinas de lavar, geladeiras e televisores (CE, 2021). No entanto, de acordo com *Productivity Commission Draft Report*, para dispositivos eletrônicos mais complexos, como smartphones, tablets e laptops, o direito de reparo ainda enfrenta resistência das grandes empresas, que dificultam ou impedem o conserto (PRODUCTIVITY COMMISSION, 2021).

O direito de reparo defende que os consumidores possam consertar seus próprios equipamentos eletrônicos ou escolher serviços independentes, sem ficar presos aos fabricantes, assim, evitando o desperdício de recursos e a obsolescência programada dos produtos (Singh;

Ogunseitan, 2022). O direito de reparo é uma questão que vem ganhando força em vários países, inclusive no Brasil, onde há um Projeto de Lei - PL 6.478/2019, que visa obrigar os fabricantes a fornecerem peças de reposição, manuais de serviço e softwares necessários para a manutenção dos equipamentos (Brasil, 2019).

No entanto, em contraste com a União Europeia (UE), que vinculou o direito de reparar ao design ecológico dos produtos (considerando tanto a reparabilidade quanto a durabilidade) e à gestão sustentável dos recursos no contexto dos planos de ação para a economia circular da Comissão Europeia (PRODUCTIVITY COMMISSION, 2021), a Comissão Federal de Comércio dos EUA optou por uma abordagem diferente, visando facilitar o conserto dos dispositivos pelos próprios consumidores, sem depender exclusivamente das assistências técnicas oficiais de cada empresa. Além disso, a comissão promete intensificar as investigações de empresas que possam estar impondo restrições ilegais de reparo, violando leis como a *Magnuson-Moss Warranty Act*, que estabelece padrões de divulgação e conteúdo para as garantias escritas dos produtos.

Nos Estados Unidos, o gerenciamento de REEE varia entre os estados, pois não há legislação federal sobre REEE. Existem diferentes iniciativas para a gestão de REEE que envolvem tanto o setor público como o privado. Alguns exemplos são:

- O programa *E-Cycle* Washington, que permite aos consumidores entregar gratuitamente os seus REEE em pontos de coleta autorizados pelo estado de Washington.
- A iniciativa *E-Stewards*, que certifica as empresas que cumprem os padrões internacionais de segurança e responsabilidade ambiental na reciclagem de REEE.
- A lei federal *Responsible Electronics Recycling Act* - *RERA*, que visa proibir a exportação de REEE para países que não tenham legislação ambiental adequada.

Essas iniciativas visam reduzir os impactos negativos dos REEE no meio ambiente e na saúde humana, bem como promover a economia circular e a sustentabilidade.

Outra iniciativa é o programa *de Sustainable Materials Management* – *SMM*, gerenciado pela US-EPA, uma parceria entre a US-EPA e os fabricantes de equipamentos originais (OEM) para a coleta de REEE dos consumidores. Defende a compra de eletrônicos 'verdes' (certificados) por agências federais e a reciclagem em instalações certificadas, inclusive em estados sem regulamentação de devolução de REEE (Baldé *et al.*, 2017).

Existem dois programas de certificação para a reciclagem de REEE nos EUA, o Padrão de Reciclagem Responsável para Recicladores Eletrônicos (R2), administrado pela *Sustainable Electronics Recycling International* – *SERI*, e o programa de certificação *E-Stewards*, da *Basel*

Action Network - BAN. Os programas fornecem credenciamento para instalações de reciclagem eletrônica, sujeitas a auditoria e ao atendimento de critérios definidos, mais de 550 recicladores nos EUA em diferentes estados são credenciados por um ou ambos os esquemas.

Na Índia, a legislação relacionada aos REEE entrou em vigor em 2012, seguindo o princípio da Responsabilidade Estendida do Produtor - REP (Turaga; Bhaskar, 2017). Esse princípio estabelece que os produtores devem cumprir metas de coleta e reciclagem dos resíduos gerados, visando reduzir o impacto ambiental e social do setor informal de REEE, que representa 95% da atividade de reciclagem no país (Awasthi *et al.*, 2018).

Segundo a legislação indiana, os produtores de EEE devem se registrar junto às autoridades ambientais estaduais. Essas autoridades, denominadas *State Pollution Control Boards - SPCB*, são encarregadas de conceder licenças para a coleta e o tratamento dos REEE (Turaga; Bhaskar, 2017). A legislação foi modificada para incentivar taxas mais elevadas de reciclagem, inspirada nas mudanças feitas na Diretiva 2012/19/UE pelo Parlamento Europeu e o Conselho relativo aos REEE (Turaga; Bhaskar, 2017).

O sistema holandês de resíduo eletroeletrônico se destaca pela sua complexidade e sofisticação em relação a outros países desenvolvidos. O país utiliza diferentes formas de REP, que são adotadas também em outras nações avançadas. Como membro da União Europeia, a Holanda precisa cumprir o sistema REP, de acordo com a Diretiva REEE. Em 2014, 44% dos resíduos eletrônicos que entraram no mercado holandês (320.000 toneladas) foram coletados e processados (NATIONAAL (W) EEE REGISTER, 2015).

O regulamento conhecido por *Regeling AEEA*, que incorpora a Diretiva REEE na legislação nacional holandesa, foi estabelecido pelo Ministério da Infraestrutura e do Meio Ambiente da Holanda em 14 de fevereiro de 2014 e sofreu uma alteração parcial em 27 de janeiro de 2016 (Staatscourant, 2014).

Conforme a *Regeling AEEA*, os produtores e importadores de EEE devem assumir a responsabilidade conjunta pelo destino final dos equipamentos que introduzem no mercado quando estes se tornam resíduos. Além disso, os produtores devem atender a uma meta mínima de recolhimento dos REEE (UE, 2012). Os produtores podem optar por cumprir suas obrigações de forma individual ou coletiva, aderindo a um sistema de gestão compartilhada (UE, 2012; Staatscourant, 2014).

O Brasil possui regulamentos e políticas voltadas para a gestão de REEE. O país estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS em 2010 para promover a gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos. Tal regulamentação determina que cada parte interessada dentro do ciclo de vida do EEE seja responsável por sua gestão no final da vida útil,

promovendo a logística reversa de REEE (Ogondo *et al.* 2011). Em 2020, o Decreto de nº 10.240/2020 (Brasil, 2020) que regulamentou a PNRS, passou a exigir que fabricantes e importadores criem e financiem um sistema de logística reversa para coletar, reciclar ou destinar corretamente os REEE. O decreto representa um avanço na implementação da PNRS e na proteção ambiental no Brasil.

O sistema de logística reversa do Brasil envolve a cooperação entre os diferentes atores da cadeia produtiva e o acompanhamento do Ministério do Meio Ambiente por meio de indicadores de desempenho. Os consumidores devem colaborar com o sistema, separando os REEE dos demais e apagando informações e dados pessoais antes de entregá-los nos pontos de coleta (Santos; Ogunseitan, 2022). As cooperativas e associações de catadores devem estar legalmente formalizadas para participar do gerenciamento dos resíduos (Guarnieri *et al.* 2016; Ghisolfi *et al.* 2017; Oliveira *et al.* 2020) e os órgãos públicos de gestão de resíduos podem apoiar e participar de campanhas ou programas de conscientização e educação ambiental, além de promover incentivos financeiros para o consumidor ao devolverem seus aparelhos em desuso nos pontos de coleta autorizados (Santos; Ogunseitan, 2022).

Nos últimos anos a logística evoluiu bastante, de forma continuada e tornou-se hoje um importante elemento-chave para a estratégia competitiva das organizações, onde que assim a logística tem sido uma atividade primordial para uma estratégia empresarial bem elaborada, com a finalidade de garantir a sustentabilidade das organizações, criando uma nova forma de gerenciamento ambiental (Souza, 2019).

Espera-se que as regiões com legislação de REEE avancem na gestão eficiente e ambientalmente correta dos resíduos, enquanto as regiões sem legislação específica se mobilizem para adotar e implementar normas nesse sentido. Um passo essencial para melhorar o gerenciamento dos REEE no futuro, é estabelecer um consenso sobre os conceitos e as terminologias de REEE e padronizar os dados sobre esses resíduos. Isso pode ser feito adotando um conjunto de definições e metodologias comuns na coleta de dados.

5.2. Análise qualitativa dos meios de coleta sustentáveis

Dados os passos gerais da busca sistêmica com o método PRISMA, os termos selecionados, base de dados, filtro e período descritos no Item 4.2, observaram-se os resultados apresentados na (Quadro 15).

Foram encontrados 3.701 artigos ao somar os resultados das bases de dados utilizando os descritores selecionados. No entanto, com os critérios utilizados (tipo de trabalho e período

de estudo) houve uma redução significativa desse número, resultando em 18 artigos, dos quais somente 13 artigos foram inclusos.

Quadro 15 - Dados da busca sistemática para o levantamento de dados

ID.				SEL.		ELEG.	INC.
Descritores	Base de Dados	Campo de Busca	Nº de artigos	Tipo de Filtro	Nº de artigos	Nº de artigos	Nº de artigos
"voluntary delivery points" OR "collection points" AND "e-waste" OR "waste electrical and electronic equipment"	Science direct	Todos os campos	3.573	Artigo de Revisão/ Período: 2018 a 2022/ Acesso aberto	55	6	3
"voluntary delivery points" OR "collection points" AND "e-waste" OR "waste electrical and electronic equipment"	Scopus	Todos os campos	128	Artigo de Revisão/ Período: 2018 a 2022/ Acesso aberto	34	12	10

Fonte: Autora (2023).

Nota: ID – Identificação; SEL – Seleção; ELEG – Elegibilidade; INC – Inclusão.

Dos 13 artigos inclusos (Quadro 16), 09 foram considerados para a discussão desta pesquisa por apresentar a sua produção voltada para o sistema de coleta. Vale salientar que a fase coleta de resíduos desempenha um papel fundamental para a efetivação do sistema de logística reversa. Os demais artigos abordam uma revisão teórica a respeito dos desafios e estratégias sustentáveis de gerenciamento de REEE e não foram considerados.

Quadro 16 - Principais teóricos, métodos e descrição de seus estudos

FONTE (ANO)	MÉTODO	OBJETIVO
Nowakowski; Pamuła (2020)	Método de aprendizado profundo para identificação de resíduos a partir de imagens	Usar algoritmos de reconhecimento de visão para identificar o tipo e as dimensões do equipamento usado.
Aquino <i>et al.</i> (2020)	Heurísticas	Propor um modelo matemático para definir o melhor local para instalação de pontos de coleta de REEE.
Favot; Grassetti (2017)	Estudo de caso	Analisar o desempenho da coleta de REEE domésticos na Itália.
Nowakowski <i>et al.</i> (2020)	Metodologia combinada	Aplicação de algoritmo Harmony Search.
Santos <i>et al.</i> (2021)	Pesquisa de opinião pública	Verificar a aceitação e a disposição da população em utilizar o PEV.
Farizi <i>et al.</i> (2021)	Estudo de caso	Aplicação de um sistema Blockchain-based visando a segurança contra a ataques cibernéticos e alteração não autorizada.

Quadro 16 - Principais teóricos, métodos e descrição de seus estudos (Cont.)

FONTE (ANO)	MÉTODO	OBJETIVO
Kapski <i>et al.</i> (2021)	Estudo de caso	Desenvolver método para fundamentar a capacidade do PEV pelo critério de custo mínimo de apoio logístico.
Arias-Osorio <i>et al.</i> (2019)	Estudo de caso	Projetar uma rede de coleta de REEE
Messmann <i>et al.</i> (2018)	Estudo de caso	Avaliação do potencial de preparação para reutilização.

Fonte: A Autora (2023).

Com base na leitura dos artigos apresentados, percebe-se uma concentração de pesquisas em busca de aperfeiçoar a coleta de REEE por meio do uso da tecnologia e modelos matemáticos. Como é o caso do estudo apresentado por Nowakowski; Pamula (2020). Os autores propuseram um sistema de reconhecimento de imagem para identificar e classificar resíduos de equipamentos eletroeletrônicos com base em fotos. O objetivo é facilitar o planejamento da coleta, classificando o resíduo por imagem anexada pelo usuário no servidor da empresa.

O estudo de Nowakowski *et al.* (2020), propõe um sistema online de suporte à coleta de REEE que utiliza um algoritmo *Harmony Search* para otimização de rotas de veículos de coleta e um modelo de veículo com um sistema elevatório adaptado. Outro exemplo, é o estudo realizado por Aquino *et al.* 2020 que propõe um modelo matemático para definir o melhor local para a instalação de pontos de coleta de REEE, a fim de minimizar o custo de sistema de logística reversa com transporte, instalação e custo de oportunidade, que está ligado ao valor perdido quando os resíduos não são recolhidos, além dos custos da distância entre pontos de coleta e demanda.

A etapa de coleta é essencial para a implementação da economia circular. Essa pode representar um desafio ou uma oportunidade para os sistemas de REP, dependendo da sua eficiência, pois pode influenciar tanto a quantidade quanto a qualidade dos resíduos recolhidos (Gallardo *et al.*, 2015).

No que concerne ao sistema de coleta dos REEE, diferentes métodos de coleta têm sido oferecidos. Diante dos dados da literatura, existe foco em dois métodos para realizar a essa atividade, que são: o estacionário e o móvel, cada um com diferentes características (Quadro 17).

Quadro 17 - Relação das vantagens e desvantagens dos meios de coleta

MODALIDADE DE COLETA	MEIO DE COLETA	VANTAGENS	DESVANTAGENS
ESTACIONÁRIO	Pontos de coleta	Amplia as possibilidades de coleta dos REEE, pois oferecem uma alternativa aos locais convencionais de descarte, como lixões ou aterros sanitários.	Exige uma infraestrutura adequada e uma divulgação ampla, para que sejam acessíveis e conhecidos pela população.
MÓVEL	Coleta seletiva Coleta por demanda	Facilita a identificação e a destinação dos REEE, e dessa forma, permite que eles sejam encaminhados para reciclagem ou descarte seguro.	Depende da conscientização e da colaboração da população, que precisa separar os resíduos corretamente e dispor de locais adequados para a sua entrega.

Fonte: Adaptado de Freitas *et al.*, (2020); Santos; Guarnieri; Cerqueira (2021).

A coleta estacionária de REEE ocorre principalmente em centros de recolha municipais ou lojas de EEE que incluem os pontos de coleta disponibilizados em locais específicos, onde a população pode entregar voluntariamente os REEE. Os autores Araújo *et al.* (2020) destacam que os pontos de coleta podem estimular a participação da população e a educação ambiental, ao sensibilizar as pessoas sobre a importância da destinação correta dos resíduos.

Outra modalidade é a coleta móvel, que consiste em um caminhão que percorrer as ruas da cidade para recolher os resíduos separados pelos moradores, ou seja, nos domicílios ou nos estabelecimentos comerciais e industriais (Saphores *et al.* 2012), e a coleta sob demanda, em que um morador solicita que o material seja coletado em uma residência (Barros; Silveira, 2019). A coleta sob demanda pode ser adequada para uma coleta planejada, comumente aplicada com eficiência nos centros das cidades.

A respeito de pontos de coleta, a pesquisa de Santos *et al.* (2021), teve como propósito avaliar a aceitação e a disposição do PEV em relação à população do Rio de Janeiro. Por meio de um questionário online, a maioria dos participantes se declarou disposta a separar e depositar seus resíduos para o PEV. Os autores indicam que a localização e os fatores associados ao esforço dos consumidores como agentes do sistema de logística reversa são cruciais para a eficiência da coleta dos resíduos, e enfatizam a relevância de instalar o PEV em locais de fácil acesso.

O planejamento da coleta envolve atividades como a definição da localização dos pontos e das empresas gestoras, considerando as distâncias ideais entre esses e seus usuários. O ponto de coleta deve ficar próximo da demanda e deve favorecer a redução dos custos operacionais, que podem ser otimizados com o melhoramento das rotas dos veículos de coleta, a seleção do

tipo e número de veículos adequados e a maximização do uso do compartimento de carga do veículo (Aquino *et al.*, 2020).

A escolha do modelo mais adequado de coleta dos REEE depende das características locais, das demandas sociais e das políticas públicas. O ideal é que haja uma integração entre os diferentes modelos, de forma a garantir a eficiência, a sustentabilidade e a equidade da coleta dos REEE.

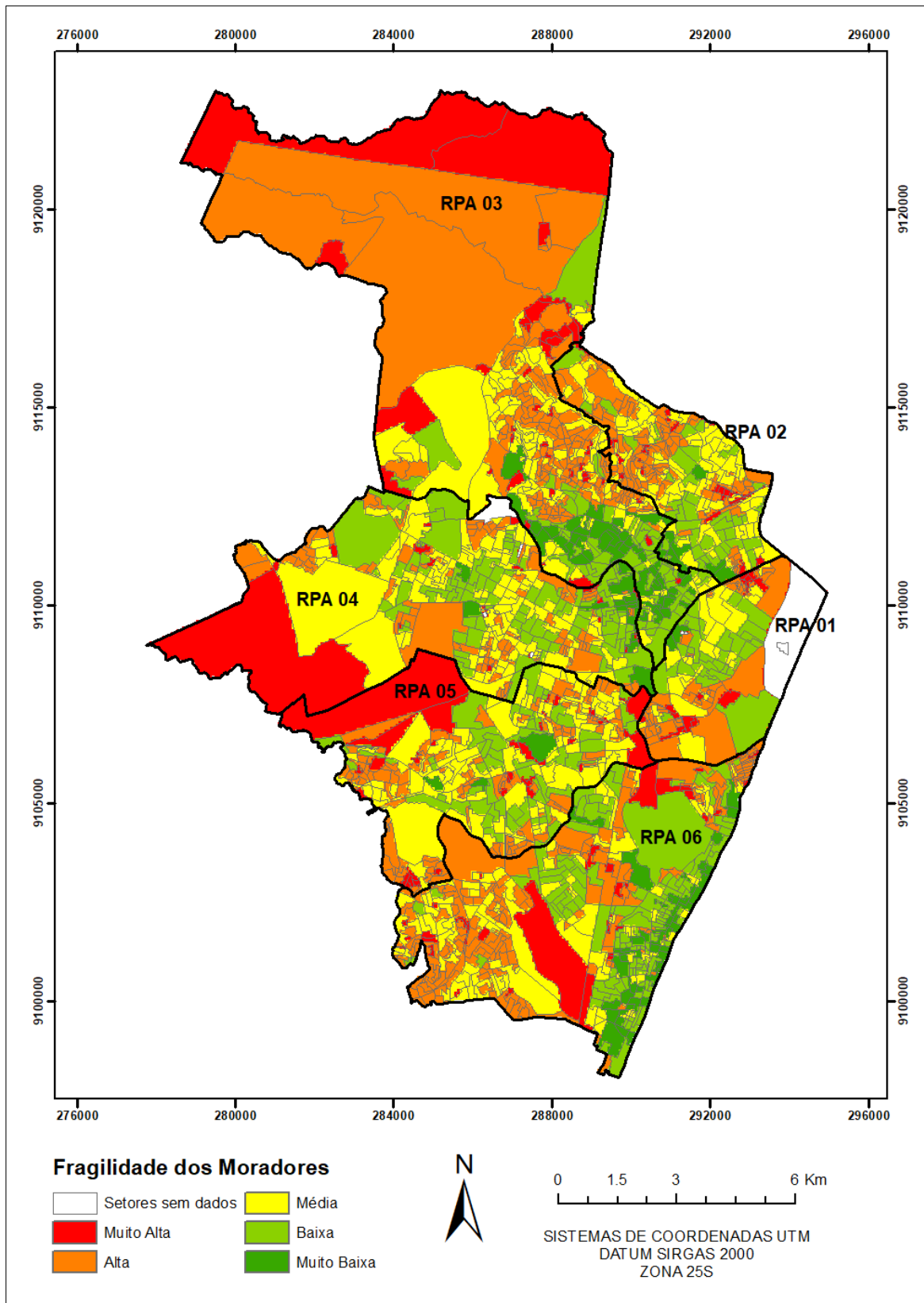
5.3. Caracterização da área de estudo e gestão atual de REEE no município de Recife/PE

5.3.1. Fase 1 – Caracterização da vulnerabilidade social da área de estudo

Com a finalidade de analisar a relação da vulnerabilidade social com a gestão dos REEE, foram elaborados os mapas de fragilidade dos moradores e dos serviços urbanos, (Figura 12) e (Figura 13), respectivamente.

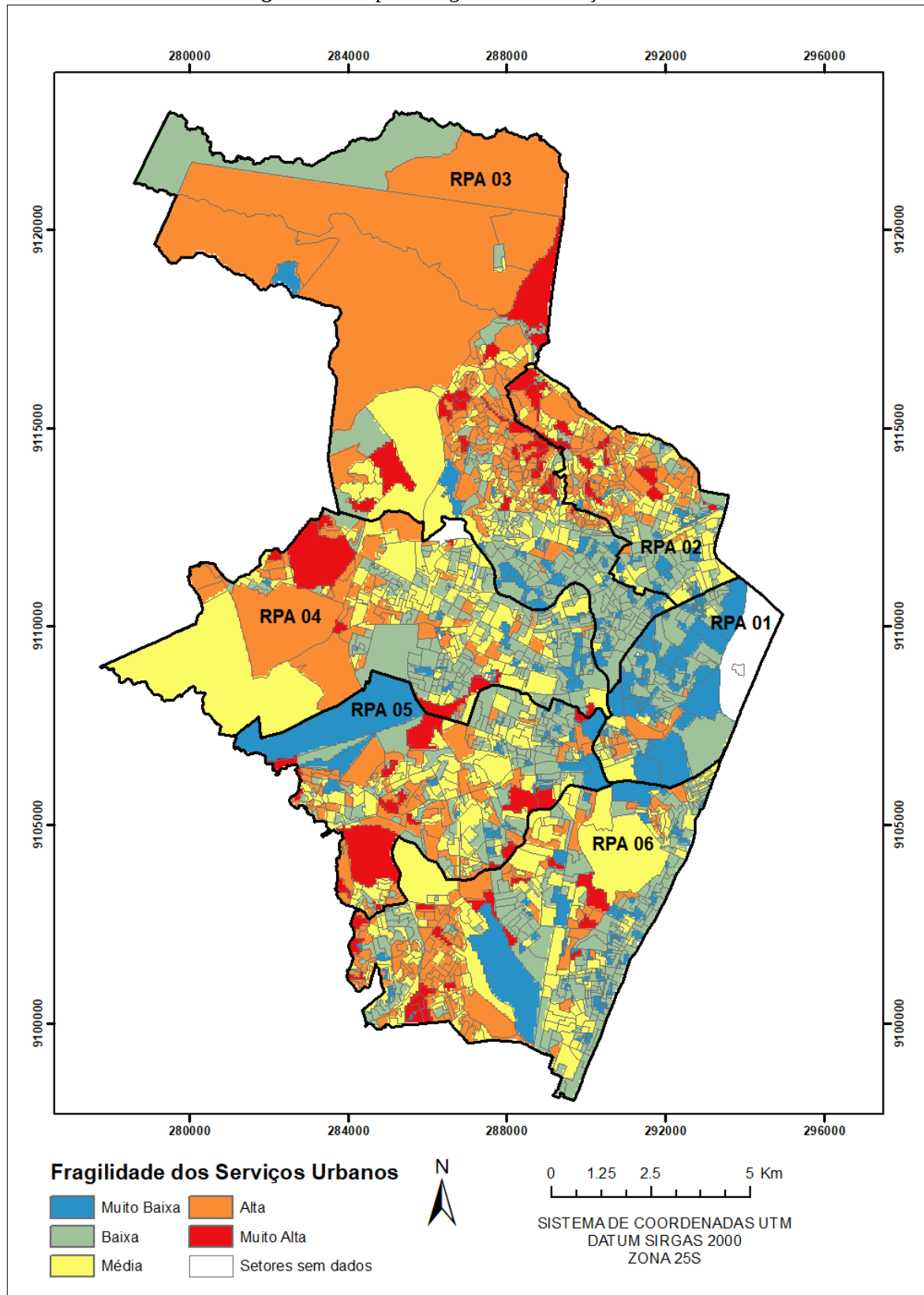
Por meio da (Figura 12), observam-se a presença de todas as faixas de fragilidade dos moradores em todas as Regiões Políticas Administrativas - RPA de Recife. A RPA 01, por exemplo, apresenta variação de faixas predominando entre baixa, média e alta vulnerabilidade, que provavelmente é devido à presença de residentes com diferentes níveis de poder aquisitivo nessa região. Diferentemente como é observado parcialmente no litoral sul (RPA 06) e na divisa entre as RPA 01, 03 e 04, que contemplam áreas nobres com boa infraestrutura urbana, como é observado na (Figura 13).

Figura 12 - Mapa da fragilidade dos moradores



Fonte: A Autora (2023).

Figura 13 - Mapa da fragilidade de serviços urbanos



Fonte: A Autora (2023).

As áreas que apresentam alta fragilidade são áreas que provavelmente são ocupadas por pessoas com baixa renda e/ou baixa escolaridade. Essa situação foi constatada em grandes e

pequenos setores das RPA 03, 04, 05 e 06, e em pequenos setores na RPA 01 e 02, onde a situação se apresenta menos crítica, apesar da RPA 02 apresentar uma predominância de média a alta fragilidade e a RPA 01 permeia majoritariamente entre as fragilidades baixa e média, porém existe uma disposição a alta fragilidade em setores centrados nos bairros de Santo Amaro, Santo Antônio, Cabanga, Ilha Joana Bezerra, Coelho. É importante frisar que esses setores possuem baixa ocupação de moradores com pouco poder aquisitivo.

Já no litoral sul (RPA 06) apresenta predominantemente baixa e muito baixa fragilidade, especificamente em setores centrados nos bairros Boa Viagem, Pina, que por sua vez são bairros ocupados por uma população com alto poder aquisitivo. Diferente dos setores situados nos bairros como Ibura, Jordão e Cohab que exibem fragilidade média, tendendo a alta e muito alta. A conjuntura de baixa e muito baixa fragilidade também é percebido na RPA 03, cujos setores estão situados em bairros nobres, como por exemplo: Graças, Aflitos, Espinheiro, Jaqueira e Casa forte. Situação semelhante é percebida nos setores da RPA 04 que faz divisa com a RPA 01, onde podemos encontrar os bairros Madalena, Torre, Ilha do Retiro e Cordeiro.

Em relação à fragilidade dos serviços urbanos, a RPA 01 se destaca por apresentar predominantemente fragilidade muito baixa e baixa, se destacando como a melhor região em termos de infraestrutura. As regiões RPA 02, 03, 04 e 05 apresentam boas condições de serviços urbanos na divisa com a RPA 01, assim como o litoral sul, na RPA 06. Nessas áreas se encontram bairros de importância em Recife, comumente apresentam os maiores valores de m^2 .

Os setores com fragilidade alta ou muito alta são os que apresentam baixa cobertura de infraestrutura de saneamento básico. Esses setores estão concentrados em áreas periféricas, onde provavelmente residem as populações com baixo rendimento e/ou pouca escolaridade. Como é o caso das áreas em vermelho na RPA 02, 03, 04, 05 e 06. Na RPA 03, por exemplo, tem fragilidade muito alta nas proximidades do bairro Passarinho, apesar de haver uma população com um rendimento médio razoável, no entanto essa área é próximo a morros, o que pode dificultar a promoção dos serviços de saneamento básico.

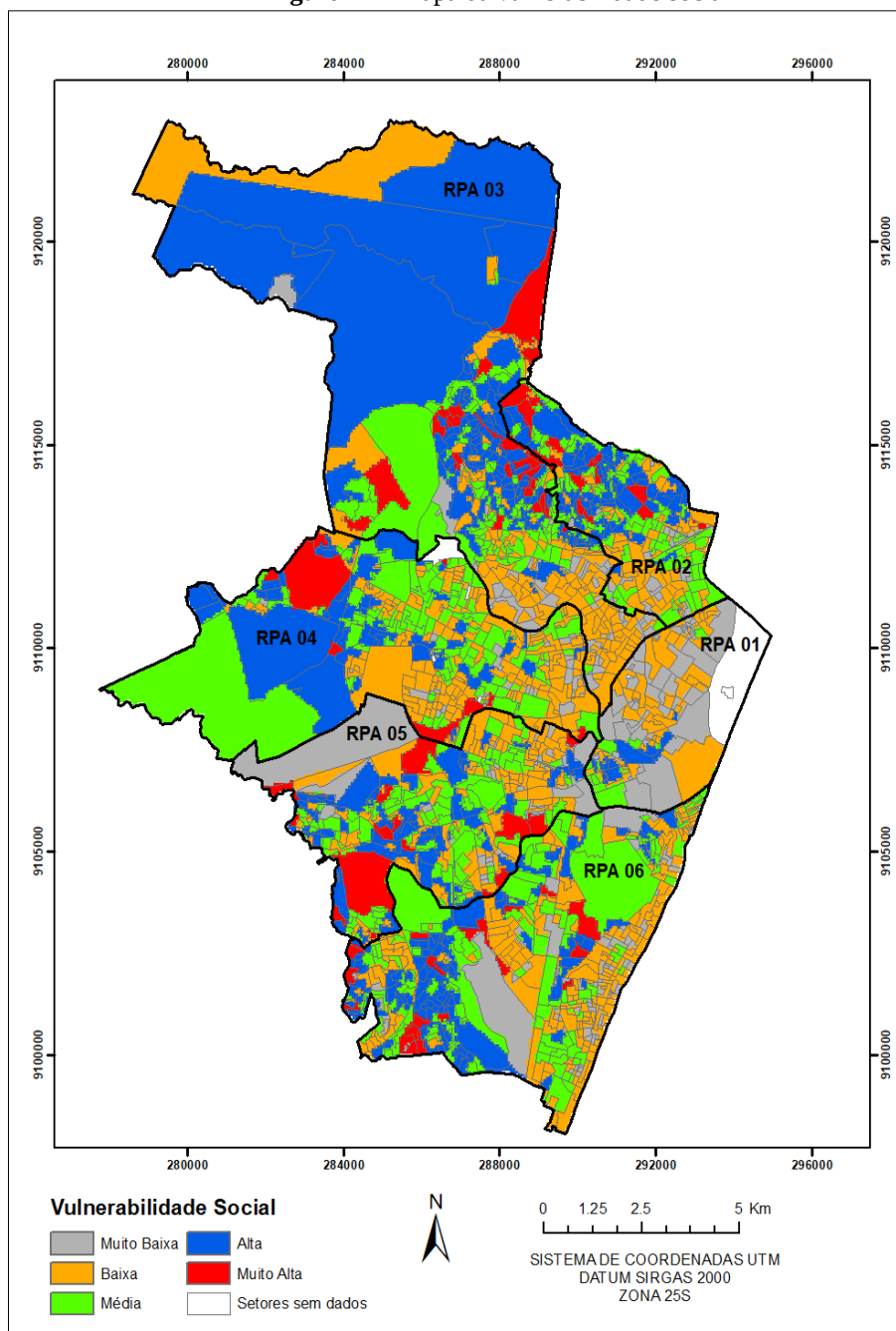
Já os setores com fragilidade média, são as áreas que apresentam deficiência em algum aspecto da infraestrutura, como saneamento básico, mobilidade, iluminação pública, gerenciamento de resíduos, entre outros. Esses setores correspondem a cerca de 40% da área urbana (IBAM, 2019), abrangendo principalmente as RPA 02, 03, 04, 05 e 06, além de algumas áreas periféricas da RPA 01.

Com a sobreposição dos mapas das (Figuras 12) e (Figura 13), foi obtido o mapa de vulnerabilidade social (Figura 14). Observa-se que a RPA 01 possui vulnerabilidade variando

de muito baixa a baixa, com setores pontuais em vulnerabilidade média à alta, diferente das outras RPA, que possuem faixas de vulnerabilidades mais elevadas.

As áreas que apresentam alta vulnerabilidade social são áreas que possivelmente são ocupadas por pessoas com baixa renda, baixo nível de escolaridade e acesso aos serviços de infraestrutura de saneamento básico insuficiente e/ou inexistente.

Figura 14 - Mapa da vulnerabilidade social



Fonte: A Autora (2023).

A política econômica de investimentos públicos e privados, em infraestrutura, saúde, educação, tem sido desigual nas regiões brasileiras, gerando desigualdade socioeconômica

regional (Cançado; Souza; Pereira, 2014). O desenvolvimento não se resume à dimensão econômica, mas também à social, que visa garantir às pessoas condições de superar a vulnerabilidade social (Santos *et al.*, 2015; Costa *et al.*, 2018).

Com os dados da densidade demográfica e rendimento médio do Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010) foram possíveis identificar os bairros com alta densidade populacional e alto poder aquisitivo (Tabela 3). Os bairros que não estão presentes na tabela, são aqueles que detém um rendimento médio menor que 2 (dois) salários mínimos.

Tabela 3 - Identificação de bairros com alta densidade populacional e alto poder aquisitivo

RPA	Rendimento médio 2 – 5 SM	Densidade demográfica (hab/ hec)	Rendimento médio 5 – 10 SM	Densidade demográfica (hab/ hec)	Rendimento médio 10 – 15 SM	Densidade demográfica (hab/ hec)	Rendimento médio > 15 SM	Densidade demográfica (hab/ hec)
01	Santo Amaro Santo Antônio	73,52 3,53	Ilha do Leite	38,21	Boa Vista Paissandu Soledade	84,15 14,70 77,06		
02	Arruda Campina do Barreto Campo Grande Água Fria Alto Santa Terezinha Bomba do Hemetério Fundão Porto da Madeira	145,56 182,67 145,04 225,38 245,74 195,67 130,21 161,35	Ponto de Parada Cajueiro	79,53 111,49	Encruzilhada Hipódromo Rosarinho	117,27 88,13 160,87	Torreão	66,29
03	Alto do Mandu Apipucos Brejo de Beberibe Córrego do Jenipapo Dois Irmãos Macaxeira Sítio dos Pintos Mangabeira Vasco da Gama	184,89 25,01 129,86 150,74 4,39 162,25 40,49 240,43 193,38	Casa Amarela Monteiro Pau-ferro	155,09 111,61 1,65	Tamarineira Poço de Panela Santana	138,18 56, 74 64,65	Casa Forte Parnamirim Jaqueira Aflitos Espinheiro Graças Derby	120,24 124,30 66,31 187,63 142,56 143,08 43,85

Tabela 3 - Identificação de bairros com alta densidade populacional e alto poder aquisitivo (Cont.)

RPA	Rendimento médio 2 – 5 SM	Densidade demográfica (hab/ hec)	Rendimento médio 5 – 10 SM	Densidade demográfica (hab/ hec)	Rendimento médio 10 – 15 SM	Densidade demográfica (hab/ hec)	Rendimento médio > 15 SM	Densidade demográfica (hab/ hec)
04	Várzea	31,24	Engenho do Meio	117,54				
	Caxangá	39,44	Cordeiro	121,02				
	Iputinga	120,22	Torre	152,68				
	Cidade	5,05	Madalena	126,48				
	Universitária	190,53	Prado	92,02				
	Torrões	148,22	Ilha do Retiro	68,75				
	Zumbi							
05	Afogados	98,24						
	Areias	124,51						
	Barro	70,09						
	Bongi	134,90						
	Coqueiral	213,00						
	Curado	20,56						
	Estância	114,44						
	Jardim São Paulo	121,96						
	Jiquiá	60,22						
	Mangueira	269,45						
	Mustardinha	196,56						
	San Martin	125,44						
	Sancho	177,46						
	Tejipió	94,63						
	Totó	176,81						
06	Cohab Ibura	157,97						
	Jordão	49,69						
	Pina	131,49	Ipsep Imbiribeira	139,27	Boa Viagem	163,17		
	Brasília	46,38		72,85				
	Teimosa	302,81						

Fonte: Adaptado de IBGE (2010).

Nota: SM – Salário Mínimo

Em 2019, Recife se destacou por ser uma das capitais que possuem desigualdade de renda mais acentuada (IBGE, 2020). Em geral, as áreas com baixa densidade populacional e baixo poder aquisitivo tende a gerar menos resíduos, isso ocorre porque esses fatores afetam diretamente o consumo de bens e serviços (Santos *et al.* 2019; Silva *et al.* 2020; Oliveira *et al.* 2021).

A densidade demográfica média da cidade de Recife é de 6.803,60 hab/km² (IBGE, 2022), mas existe uma grande variação entre as regiões político-administrativas - RPA. Essa densidade varia de acordo com o tipo de ocupação urbana dos bairros. Por exemplo, o bairro de Boa Viagem, na zona sul, é considerado um dos mais nobres e ricos da cidade, com uma renda média mensal de R\$ 6.674,00 e uma densidade demográfica de 13.136,94 hab/km², segundo o Censo 2010. Já o bairro de Ibura, na zona oeste, é um dos mais pobres e populosos da cidade, com uma renda média mensal de R\$ 508,00 e uma densidade demográfica de 19.277,78 hab/km², segundo o mesmo Censo. Esses dados revelam as desigualdades sociais e espaciais que marcam a realidade urbana de Recife.

Conforme apresentado na (Tabela 5), alguns exemplos dos bairros com maior densidade demográfica são: Brasília Teimosa (302,81 hab/km²), Mangueira (290,05 hab./km²); Coqueiral (213,00 hab/km²), Água Fria (225,38 hab/km²), Alto Santa Terezinha (245,74 hab/km²) e Mangabeira (269,45 hab/km²). Os bairros Água Fria e Alto Santa Tereza compõe a RPA 02, estão localizados em setores que tendem de média a alta vulnerabilidade social, assim como o bairro Mangabeira, localizada na RPA 03. Outra situação são os bairros Mangueira e Coqueiral, localizados na RPA 05, são áreas que apresentam uma vulnerabilidade social de alta a muito alta. Diferente de Brasília Teimosa, localizada na RPA 06, esse bairro está localizado em um setor mais privilegiado e por tanto aponta vulnerabilidade baixa tendendo a média.

Os dados mostram a diversidade e a complexidade da cidade de Recife, que tem bairros com diferentes perfis e demandas. Conhecer essas informações pode ajudar a planejar melhor as políticas públicas, os serviços e os negócios na capital pernambucana. A influência desses bairros na geração de resíduos sólidos, especialmente eletroeletrônicos, é significativa, pois estes concentram uma parcela expressiva do consumo e da produção desses na cidade.

Araújo *et al.* (2020) apresentam em sua pesquisa locais mais adequados para a instalação de pontos de coleta de REEE, visando aprimorar a logística reversa de REEE no Rio de Janeiro, Brasil. Para isso, definiram dois critérios para a análise espacial da distribuição de PEV: o primeiro relacionado a pontos críticos de geração de resíduos, que considera os locais com maior população e maior renda, pois assim, a propensão à geração de resíduos é maior. O segundo critério envolve áreas de grande fluxo diário de pessoas, como supermercados,

shoppings, universidades, entre outros. Como resultado, constataram que as regiões ideais para a instalação de pontos de coleta são as áreas com alta densidade demográfica, com a população com maior poder econômico e com uma boa infraestrutura urbana. Além disso, é ideal que a instalação ocorra em locais com grande movimentação de pessoas.

Simonetti *et al.* (2021) por sua vez, desenvolveu um estudo referente a relação entre o descarte irregular de resíduos sólidos urbanos e a vulnerabilidade social de Salto de Pirapora, São Paulo. Essa análise consistiu em um mapeamento de pontos de descarte irregular utilizando dados censitários disponíveis no IBGE. Em seus resultados foram identificados pontos de descarte irregular predominante nas regiões de vulnerabilidade média, embora o descarte tenha sido observado praticamente em todas as classes de vulnerabilidade, porém ficou evidente que a maior concentração seja nos bairros de baixa renda.

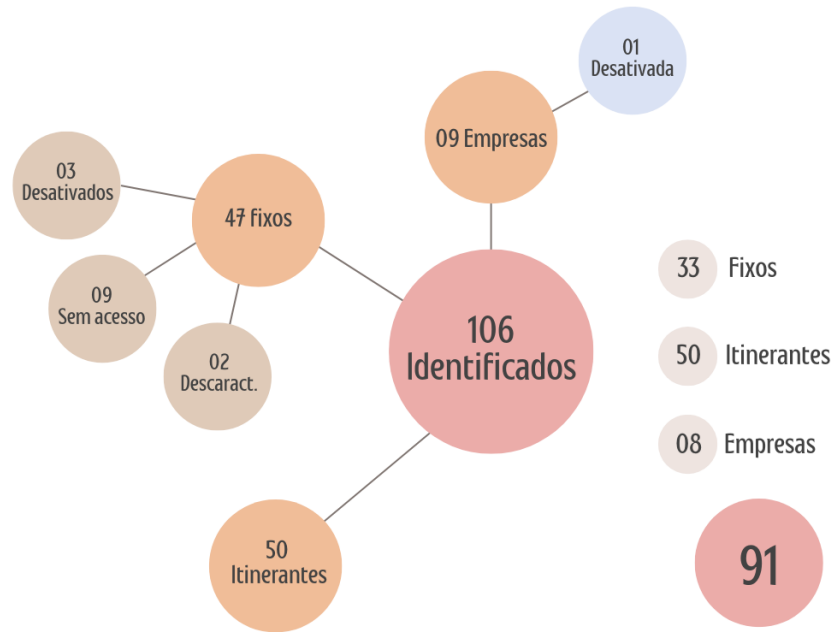
A mesma condição foi identificado no estudo realizado por Rigoldi e Lima (2020), que ao analisar o plano de gestão integrada dos resíduos sólidos e os efeitos que ele tem sobre a qualidade ambiental em Maringá, Paraná, por meio de um mapeamento de pontos de descarte irregular utilizando dados censitários disponíveis no IBGE, identificou, entre outros resultados, que as áreas de descarte irregular de resíduos sólidos coincidem as áreas de alta vulnerabilidade social do município, tais setores também apresentam baixa qualidade ambiental devido a presença de resíduos depositados de forma irregular.

5.3.2. Fase 2 - Gestão de REEE em Recife- PE

Com base na pesquisa exploratória, foram levantados inicialmente 106 potenciais locais de coleta de REEE (Figura 15). Desses, 47 eram pontos fixos, 50 itinerantes e 9 empresas. Porém, com o decorrer das visitas *in loco* e reuniões com os gestores, constatou-se que uma empresa e três pontos fixos foram desativados.

Dois pontos foram descaracterizados mediante a visita técnica devido a classificação de resíduos de recebimento serem somente de pilhas e lâmpadas, embora sejam REEE, não foi considerado nessa pesquisa devido não se enquadrar na classificação da ABDI (2013). Além desses, não foi permitido o acesso em 09 pontos, devido às medidas restritivas de combate a COVID-19, o que possivelmente também dificulta o recebimento de REEE, restando 33 pontos de coleta fixos específicos para REEE classificados pela ABDI e confirmados mediante visita técnica (Quadro 18).

Figura 15 - Inventário de levantamento de pontos de coleta de REEE



Fonte: A Autora (2023).

Dos 91 pontos válidos, 08 são sedes de empresas gestoras, resultando em 83 pontos de coletas fixos e itinerantes. Desses, 58 pontos de coleta (70%) estão instalados em setores públicos e 25 (30%) pontos instalados espaços da iniciativa privada.

Quadro 18 - Inventário de pontos de coleta confirmados mediante visita técnica

PONTO	LOCAL/BAIRRO	TIPOLOGIA RECEBIDA	DOMÍNIO DO PEV
01	ABA Global School/ Aflitos	Linhas azul, verde e marrom	Privado
02	ASA Indústria/ Afogados	Linhas azul, verde e marrom	Privado
03	Casas Bahia/ Afogados	Linhas azul, verde e marrom	Privado
04	Casas Bahia/ Casa Amarela	Linhas azul, verde e marrom	Privado
05	Casas Bahia/ Centro	Linhas azul, verde e marrom	Privado
06	Casas Bahia/ Imbiribeira	Linhas azul, verde e marrom	Privado
07	Loja Motostore/ Casa Forte	Linhas azul, verde e marrom	Privado
08	Loja Vivo/ Boa Vista	Linhas azul, verde e marrom	Privado
09	Loja Vivo/ Pina	Linhas azul, verde e marrom	Privado
10	Loja Vivo/ Boa Viagem	Linhas azul, verde e marrom	Privado
11	Loja Claro/ Boa Viagem	Linhas azul, verde e marrom	Privado
12	Loja Ibyte/ Boa Viagem	Linhas azul, verde e marrom	Privado
13	Loja Motorola/ Boa Viagem	Linhas azul, verde e marrom	Privado
14	Colégio Madre de Deus I/ Boa Viagem	Linhas azul, verde e marrom	Privado
15	Colégio Madre de Deus II/ Boa Viagem	Linhas azul, verde e marrom	Privado
16	Colégio Madre de Deus III/ Tamarineira	Linhas azul, verde e marrom	Privado
17	Provider I/ Santo Amaro	Linhas azul, verde e marrom	Privado
18	Provider II/ Santo Amaro	Linhas azul, verde e marrom	Privado
19	Sebrae/ Ilha do Retiro	Linhas azul, verde e marrom	Privado
20	Shopping Boa vista	Linhas azul, verde e marrom	Privado
21	Shopping Recife/ Boa Viagem	Linhas azul, verde e marrom	Privado

Quadro 18 - Inventário de pontos de coleta confirmados mediante visita técnica (Cont.)

PONTO	LOCAL/BAIRRO	TIPOLOGIA RECEBIDA	DOMÍNIO DO PEV
22	Shopping RioMar/Pina	Linhas azul, verde e marrom	Privado
23	Shopping Tacaruna/ Torreão	Linhas azul, verde e marrom	Privado
24	Softex/Recife	Linhas azul, verde e marrom	Privado
25	Techno Space Informática/ Boa Viagem	Linhas azul, verde e marrom	Privado
26	TRF 5º/ Recife	Linhas azul, verde e marrom	Público
27	Sítio Trindade/ Casa Amarela	Linhas azul, verde, marrom e branca	Público
28	Capela da Jaqueira/ Jaqueira	Linhas azul, verde, marrom	Público
29	Cooperativa Palha de Arroz/ Campo Grande	Linhas azul, verde e marrom	Público
30	Fundaj I / Derby	Linhas azul, verde e marrom	Público
31	Fundaj II / Casa Forte	Linhas azul, verde e marrom	Público
32	Paróquia das Graças / Graças	Linhas azul, verde, marrom e branca	Público
33	Agência Neoenergia/ Madalena	Linhas azul, verde e marrom	Público

Fonte: A Autora (2023).

Nota: Em relação aos pontos itinerantes, pode-se encontrar e acompanhar o cronograma mensal no respectivo link: <https://servicos.neoenergiapernambuco.com.br/ajuda/Paginas/Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica/Vale-Luz.aspx>.

Atualmente, a *Green Eletron* (2021) possui cinco tipos diferentes coletores (Figura 16) e (Quadro 19). Esses foram projetados para conseguir garantir quatro itens essenciais para o funcionamento do sistema da logística reversa de eletroeletrônicos, são eles: demanda de descarte, espaço disponível, estética e informação, segurança. É importante ressaltar que os itens depositados nos modelos P, M, G e GG ficam protegidos por um sistema de rampa que não permite o acesso manual.

O maior tamanho disponível segue um padrão no sistema da *Green Eletron*, recebe aparelhos de até 50 cm de altura e 70 cm de largura. O modelo menor (PP), conhecido por cesto, é utilizado apenas em situações específicas em que a permanência do coletor será temporária, como em eventos e campanhas.

Quadro 19 - Características dos PEV da Green Eletron

Tamanho	Dimensionamento (m)	Capacidade em kg	Tamanho máximo dos equipamentos
GG	2,2 x 2,2 x 1,3	500kg	50x70cm
G	1,96 x 1,4 x 1,9	250kg	30x60cm
M	1,40 x 1,0 x 1,2	200kg	30x55cm
P	1,27x 0,75x 0,44	50 kg	18x50cm
PP	1,00x1,00 x 1,00	150kg	100x100cm

Fonte: Adaptado da Green Eletron (2019).

Figura 16 - Modelos de PEV da Green Eletron



Fonte: Green Eletron (2019).

Os coletores apresentam diferenças significativas nas dimensões, nas capacidades e nos tamanhos máximos dos equipamentos que podem ser descartados em cada modelo de coletor. O modelo GG é o maior e o mais pesado, podendo receber até 500 kg de resíduos eletrônicos de até 50x70 cm. O modelo G é um pouco menor, mas ainda assim tem uma boa capacidade de 250 kg e pode receber equipamentos de até 30x60 cm. O modelo M é o mais adequado para espaços reduzidos, pois tem dimensões de 1,40 x 1,0 x 1,2 m e pode armazenar até 200 kg de resíduos de até 30x55 cm. O modelo P é o menor e o mais leve, com capacidade para apenas 50 kg e tamanho máximo dos equipamentos de 18x50 cm. Por fim, o modelo PP é um coletor especial, que pode receber equipamentos de até 100x100 cm e tem capacidade para 150 kg. A (Figura 17) apresenta coletores de REEE observados em Recife – PE.

Figura 17 - Registro fotográfico de coletores identificados nas visitas técnicas



Fonte: A Autora (2023).

Como as próprias empresas funcionam como pontos de coletas, buscou-se contatá-las a fim de verificar por meio de uma entrevista semiestruturada, as particularidades dos procedimentos de processamento realizados pelas organizações, além de identificar as tipologias coletadas segundo a classificação dos EEE pela ABDI (2013): linhas branca, verde, azul e marrom, e suas formas de coleta (Quadro 20).

Quadro 20 - Inventário das empresas identificadas, tipologias coletadas e seus meios de coleta

Empresa	Tipologia coletada	Meios de coleta	Endereço
A	Linha verde e marrom	Postos de coleta fixo e itinerantes	Rua Ribeiro de Brito, N 830, Edf. Iberbras, 12º andar, Boa Viagem, CEP 51021-310, Recife-PE
B	Todas as linhas	PEV, Drive – Thru, Coleta em domicílio, Caravanas/campanhas, e recebe na empresa.	R. Prof. Mussa Hazin, 108 - Iputinga, Recife - PE, 52171-011
C	Linha marrom	Recebe na empresa	Estr. dos Remédios, 1561 - Ilha do Retiro, Recife - PE, 50750-360
D	Linha azul, verde e marrom	PEV e recebe na empresa.	Rua Ribeiro Pessoa, 503 Caxangá, Recife PE CEP 50970580

Quadro 20 - Inventário das empresas identificadas, tipologias coletadas e seus meios de coleta (Cont.)

Empresa	Tipologia coletada	Meios de coleta	Endereço
E	Todas as linhas	Coleta na residência e recebe na empresa.	R. Mamede Coelho, 53 - Dois Unidos, Recife - PE, 52140-180
F	Todas as linhas	Recebe na empresa	Rua Madri, 190, Imbiribeira
G	Linha verde	PEV e recebe na empresa	Avenida da Recuperação, 318 - Apipucos Recife - PE 52171-021
H	Todas as linhas	Recebe na empresa	Rua Alto José Bonifácio, 775 - Casa Amarela

Fonte: A Autora (2023).

Em relação às licenças necessárias para o funcionamento das empresas gestoras, as 5 empresas que aceitaram participar da pesquisa semiestruturadas confirmaram que possuem as documentações necessárias para as execuções das atividades.

Conforme a Lei complementar nº 140/2011 (Brasil, 2011) é de competência dos municípios o licenciamento ambiental de atividades com potencial poluidor. Para o caso dos resíduos eletroeletrônicos, os pontos de entrega que receberão os resíduos, o transporte dos componentes perigosos, as centrais de armazenamento e/ou unidades de desmonte ou processamento deverão ser licenciados.

Em relação a manter um registro de recebimento mensal de REEE, 02 empresas foram positivas a essa questão, empresas A e B. A empresa A, relatou que em média coletam cerca de 500 ton/mês de REEE, todo o material é encaminhado a uma empresa especializada para fazer a destinação final do resíduo. A empresa B, por sua vez, tem uma média de recebimento inferior a empresa A, sendo um total de 40 ton/mês. Ao receber esse material, a empresa segue um processo de procedimentos para aproveitamento e venda dos produtos remanufaturados, aqueles que são identificados como rejeito são encaminhados para outra empresa que realizará a disposição final.

Todas as empresas relataram que não possuem meta específica de coleta, uma vez que a ideia é coletar o máximo possível, a fim de contribuir com a minimização de impactos ao meio ambiente, evitando que esse resíduo seja descartado de forma incorreta, assim como contribuir para a efetivação da logística reversa dos materiais recebidos. Em relação a efetivação de parcerias, as empresas A, B, e D se manifestaram a favor, pois facilitam o alcance de um número maior de contribuintes, contribuindo para a inserção da economia circular.

Em relação às ações que impactem positivamente a comunidade, as empresas A, B, D, e E possuem programas destinados a públicos que apresentam vulnerabilidade social. A empresa A, possui um projeto de incentivo financeiro em troca dos resíduos (desconto na sua conta de energia); a empresa B realiza a doação de 01 computador para cada 05 computadores

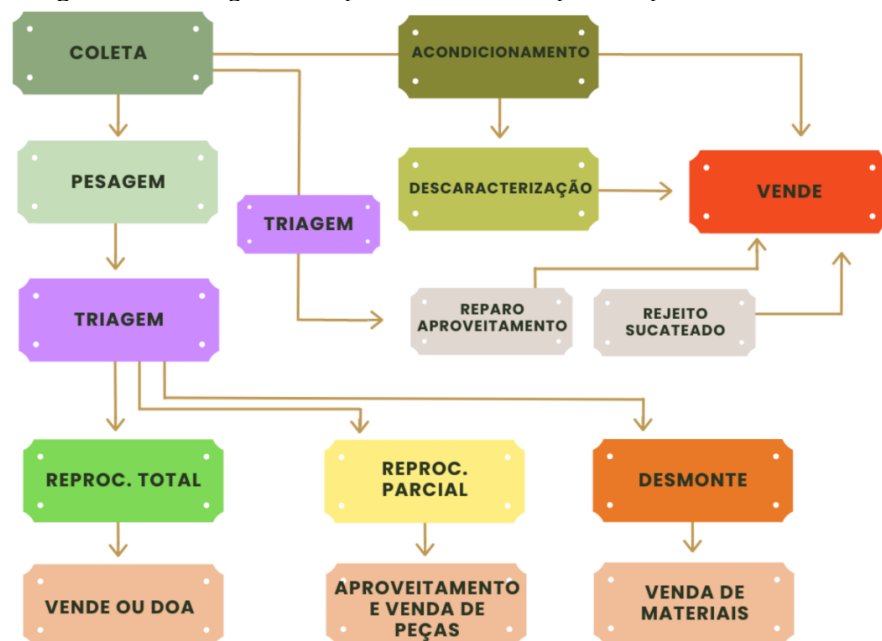
remanufaturados, além de promover a capacitação de moradores de comunidades vulneráveis; a empresa D proporciona retorno financeiro para ONGs que exerçam a atividade de venda dos resíduos coletados, e a empresa E promove bazar para arrecadação de recursos financeiros e a capacitação de moradores de comunidade em situação de vulnerabilidade.

Com exceção da empresa E, todas as empresas encaminham seus rejeitos à uma empresa especializada e licenciada para a destinação final. A empresa E, por sua vez, vende para sucateiros para arrecadar recursos financeiros.

Quanto ao tipo de serviço de coleta realizada nas residências, pode-se dizer que a uma rota eficiente e econômica influencie na dinâmica da coleta de resíduos realizada pelas empresas. Por isso, as empresas A e E acreditam que devido aos gastos com combustível, depreciação veicular e mão de obra, compensa fazer as coletas mediante a demanda, isso quer dizer que essas empresas aguardam atingir uma quantidade mínima para poder realizar a coleta. As empresas B e D preferem realizar as coletas mediante agendamento, porém só recolhem resíduos de grande porte, como geladeira, máquina de lavar, fogão elétrico, etc; para objetos de pequeno e médio porte e em pequena quantidade, os consumidores são orientados a descartar em algum ponto de coleta próximos a suas residências. A empresa C não realiza coleta em residências de nenhuma forma.

A partir dos processos relatados pelas empresas de gestão consultadas, foi possível construir o fluxograma de coleta e destinação dos REEE gerados em Recife (Figura 18).

Figura 18 - Fluxograma dos processos adotados pelas empresas identificadas



Fonte: A Autora (2023).

Nota: Reproc. – Reprocessamento.

Após a coleta, em algumas situações, é feito o acondicionamento em galpões para posterior descaracterização e venda. Em outras condições, acontece a coleta do material, segue para o acondicionamento e posteriormente segue para a venda, sem qualquer descaracterização ou triagem.

Em outros casos, os REEE são pesados para seguir para a triagem, esse processo segue determinados métodos para a primeira separação dos materiais. Quando os materiais estão em condições satisfatórias, seguem para o reprocessamento total, ou seja, necessitando de pequenos reparos, passam por processo de remanufatura. Porém, quando o material chega em condições parciais, há o reprocessamento parcial de uso, sendo necessário a recolocação de peças, restauração do sistema, entre outros ajustes, para depois seguir para a remanufatura. Já o material que não apresenta condições de aproveitamento, segue para o processo de desmonte e destinação final. Todo material que é submetido a um reparo e que volta a ter condições de uso, são vendidos ou doados. A (Figura 19) apresenta os REEE coletados por algumas das empresas consultadas nesta pesquisa.

Figura 19 - Registro do acondicionamento dos REEE coletados



Fonte: A Autora (2023).

No que concerne aos procedimentos de processamento para coleta e destinação realizados pelas empresas, o Acordo Setorial para a Logística Reversa (BRASIL, 2019) estabelece que as empresas têm a opção de criar seus próprios sistemas de logística reversa ou de participar de um sistema coletivo gerenciado por entidades, como a Green Eletron. A vantagem do sistema coletivo é que as empresas dividem os custos da operação com outras do mesmo segmento, garantindo assim a destinação correta e a reciclagem dos eletroeletrônicos.

Em outra conjuntura, o material coletado segue para a triagem, nesse procedimento são identificados os materiais com potencial aproveitamento mediante reparo, e com isso seguem para a venda. Já os materiais que não podem ser reparados são classificados como rejeitos e então são vendidos para sucateiros.

5.4. Aplicação de geotecnologias e sugestões de procedimentos

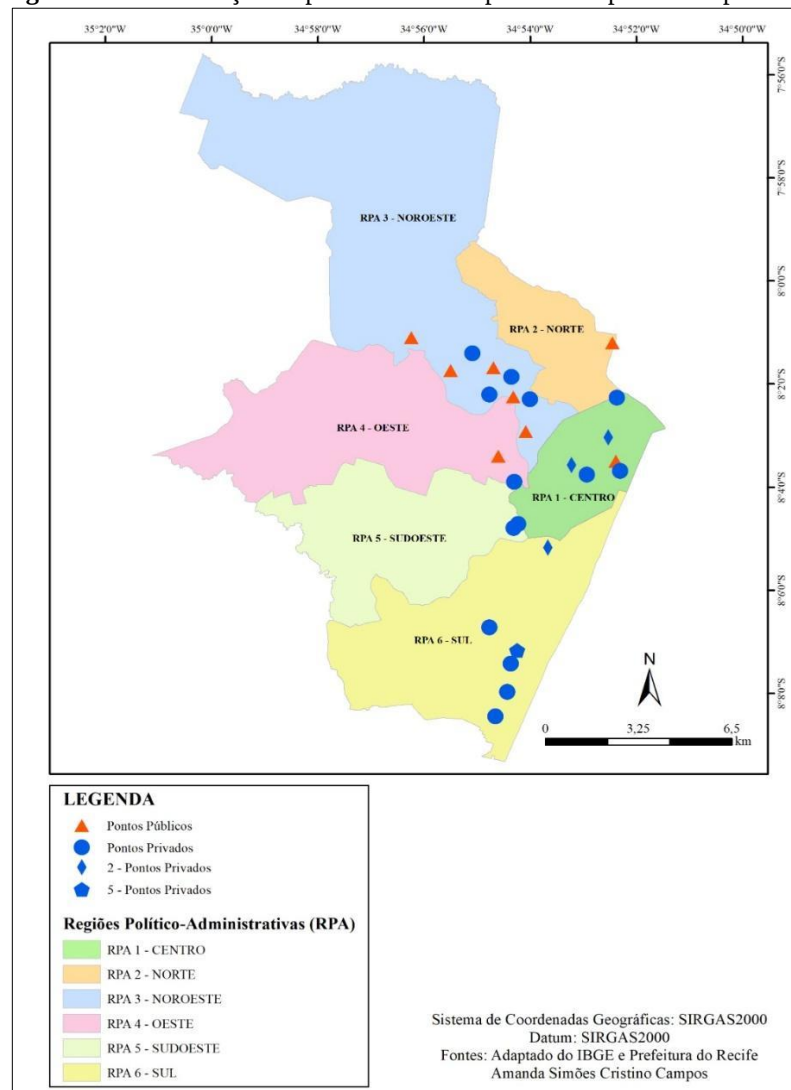
Com os pontos fixos de coleta (33), o domínio desses pontos e a divisão política administrativa, foram possíveis elaborar o mapa apresentado na (Figura 20). É importante salientar que devido à proximidade entre alguns pontos, os mesmos ficaram sobrepostos, por tanto, foram apresentados por ícones diferentes.

O (Quadro 21) apresenta a área total atendida pelos pontos de coleta nas diferentes regiões da cidade. É perceptível a má distribuição dos pontos em relação às áreas das regiões, o que indiretamente influencia nas ações não sustentáveis da população, pois sem o atendimento devido e sem a promoção da educação ambiental, a população tende a descartar os REEE em áreas de bota fora ou simplesmente encaminhá-los para o aterro sanitário junto com o resíduo comum.

Quadro 21 - Caracterização das Regiões Político-Administrativas de Recife -PE

RPA	Região	Nº de bairros	Nº de coletores	Densidade populacional	Área total (Ha)
1	Centro	11	8	78.114 hab	1.525,12
2	Norte	18	1	221.234 hab	1.481,54
3	Noroeste	29	9	312.981 hab	7.889,49
4	Oeste	12	2	278.947 hab	4.208,77
5	Sudoeste	16	2	263.778 hab	2.990,88
6	Sul	8	11	382.665 hab	4.179,46

Fonte: Adaptado de Gondim (2019).

Figura 20 - Distribuição de pontos de coleta por setores públicos e privados

Fonte: A Autora (2023).

Existe uma maior concentração de pontos de coleta instalados na RPA 06 (Sul) com 11 pontos de coleta, seguido da RPA 03 (Nordeste) com 09 pontos de coleta e depois a RPA 01 (Centro) com 08 pontos. Os pontos de coleta distribuídos em menor quantidade estão nas RPA 02, 04 e 05.

Apesar de conter pontos de coletas em todas as RPA, há uma concentração maior na área central da cidade, provavelmente próximos aos bairros mais nobres, que contêm pessoas com maior poder aquisitivo e uma maior probabilidade de descarte de resíduos de equipamentos devido a troca, o que corrobora com o pressuposto de maior atendimento em áreas com menores fragilidades da população e de serviços urbanos.

De *Moraes et al.* (2021) afirma que o número de pessoas atendidas por um ponto de coleta varia conforme a área de abrangência e a densidade populacional dos distritos. Porém,

isso pode ser afetado pela distribuição desigual da população dentro do distrito, que não é refletida no valor da densidade populacional, demandando uma escala territorial menor para essa análise.

A RPA 6 é a região com a maior população, apresenta uma extensão territorial de 4.179,46 ha e um quantitativo de 8 bairros, sendo a RPA com o menor número de bairros, entre eles cita-se Boa Viagem, que é o bairro mais populoso de Recife, com 122.922 habitantes, favorecido com 11 pontos de coleta privados, apresentando uma abrangência maior quanto a distribuição de pontos de coleta. Diferente da RPA 01, que tem a menor densidade populacional, apesar de ser composta por 11 bairros, o maior deles Santo Amaro, que sozinho detém 27.9398 habitantes (IBGE, 2010) e tem uma extensão territorial de 1.525,12, essa RPA é atendida por 07 pontos de coleta instalados em setores privados e 01 em setor público.

Em relação a RPA 03, essa é maior região de Recife com uma segunda maior população, e é dividida em três Microrregiões, composta no total por 29 bairros. A RPA 03 é provida de 9 pontos de coleta, sendo a maioria dos pontos (05) instalados em setores públicos e 04 em setores privados. De toda forma, como mencionado, os coletores se concentram em bairros mais próximos da área central da cidade, deixando os bairros mais distantes com quase nenhuma opção de realizar o descarte de forma sustentável.

Os RPA 02, 04 e 05 representam o menor quantitativo em distribuição de pontos de coleta. A RPA 04 é a terceira região com a maior densidade populacional de Recife, tem uma extensão territorial um pouco maior que a RPA 06, e é composta por 12 bairros, entretanto, é provida apenas com 02 pontos de coleta, um público e outro privado.

Quanto a RPA 05, destaca-se a extensão de 2.990,88ha e população de 263.778 habitantes, sendo uma das maiores RPA do Recife no quesito população, e apesar disso, a região só tem 02 (dois) pontos de coleta em setores privados. A Região abriga 16 bairros e o complexo industrial do Curado, um dos principais centros econômicos de Pernambuco e da RMR.

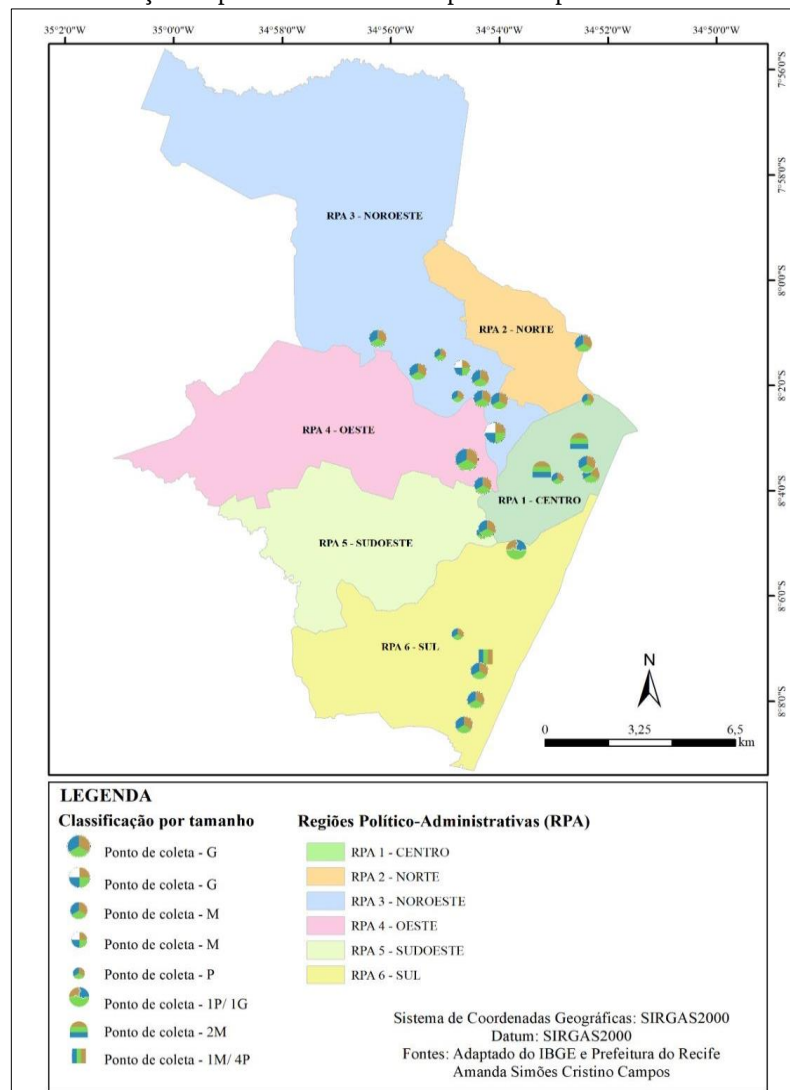
Gondim (2019) aponta que a RPA 02 sofre com a pobreza e a vulnerabilidade social de grande parte dos seus moradores. Segundo o autor, 5,98% estão em situação de extrema pobreza, 17,84% em pobreza e 40,10% em vulnerabilidade à pobreza. A região é marcada por morros, alagados e áreas ribeirinhas, que foram alvo de intervenções estatais nas áreas de saneamento básico, infraestrutura e habitação desde 1970. Mesmo tendo uma densidade populacional de 221.234 habitantes, existe somente 01 ponto de coleta no setor público.

Uma questão importante a se considerar na gestão dos REEE, é a quantidade e os tamanhos dos coletores dos pontos de coleta, além da identificação dos coletores pela tipologia

coletada. Esses fatores influenciam na eficiência, na economia e na sustentabilidade do sistema de logística reversa dos REEE.

A respeito da tipologia coletada e os tamanhos dos coletores (Figura 21), os pontos de coleta em sua maioria recebem as linhas verdes, marrom e azul, existindo apenas 02 pontos de coleta públicos que recebem a linha branca, localizados nos bairros das Graças e Casa Amarela na RPA 03. Comumente, quando os consumidores precisam destinar produtos de grande porte (linha branca), eles notificam uma empresa que fazem a coleta diretamente na residência.

Figura 21 - Distribuição de pontos de coleta a respeito do tipo coleta e outras características



Fonte: A Autora (2023).

Em relação aos tamanhos dos coletores dispostos em Recife, existe a concentração de 18 pontos de coleta de tamanho M, 12 P e 3 G. Cada modelo de coletor possui características distintas em relação às dimensões, às capacidades e aos tamanhos máximos dos equipamentos que podem ser acondicionados em seu interior. Embora apresente uma boa quantidade de

pontos, os mesmos apresentam uma má distribuição, existem muitas áreas sem pontos de coleta e que estão localizadas a uma distância considerável dos coletores disponíveis.

Quanto maior a quantidade e o tamanho dos pontos de coleta, maior será a capacidade de armazenamento dos resíduos, mas também maior será o custo de instalação e manutenção desses equipamentos. Por outro lado, pontos de coleta muito pequenos ou em número insuficiente podem não atender à demanda da população e provocar o descarte inadequado.

A RPA 03 é a única área contemplada com coletores que recebe as quatro categorias de resíduos, sendo 01 do tamanho M e outro do tamanho G, além do mais, possui 05 pontos do tamanho M que aceitam apenas as linhas marrom, verde e azul, assim como os pontos de tamanho P, que são no total 02 coletores. Diferente da RPA 02, que possui 01 ponto de coleta de tamanho M, que aceita apenas as linhas azul, verde e marrom. Outra RPA favorecida com a alocação de pontos de coleta de tamanhos diversos é a RPA 01, terceira área mais privilegiada com a quantidade de pontos de coleta, sendo 02 do tamanho P e 06 do tamanho M, porém, todos recebem apenas as linhas azul, verde e marrom.

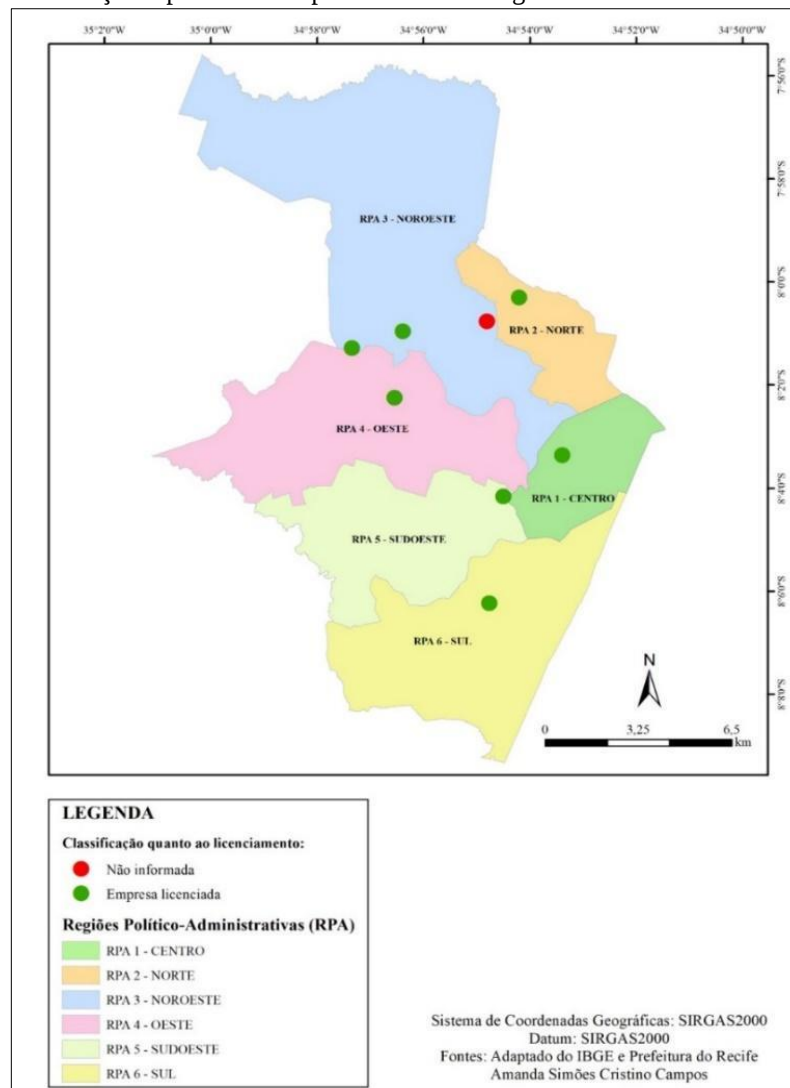
A RPA 06 é a área com mais pontos de coleta, 11 pontos de vários tamanhos distribuídos pelos bairros dessa região. São 06 coletores do tamanho P, 04 M e apenas 01 de tamanho G, entretanto, todos recebem as linhas verde, azul e marrom. Quantidade inferior é encontrada também nas RPA 04 e 05, cada uma possui apenas 02 coletores e ambos recebem apenas 3 linhas da categoria estabelecida no Brasil, que são: verde, azul e marrom. São 01 do tamanho M e 01 do tamanho G na RPA 04, e na RPA 05 possui 01 do tamanho P e o outro tamanho M.

Diante desse cenário, percebe-se uma aplicação maior de coletores do tipo M em toda a cidade, favorecendo a coleta de resíduos de pequeno porte das linhas verde, azul e marrom, porém, não existe uma distribuição homogênea de pontos tipo G, são insuficiente /ou inexistentes em três regiões da cidade, além de poucos pontos de coleta que recebe especialmente resíduo de linha branca, que consiste em produtos eletrodomésticos de grande porte. Além disso, na RPA 06 existe uma concentração de ponto de coleta P, o que pode causar limitação do descarte de resíduos de porte maior pela população.

Portanto, é necessário planejar adequadamente a quantidade e os tamanhos dos pontos de coleta, levando em conta as características do local, o perfil dos geradores de resíduos, a frequência da coleta e a disponibilidade de recursos. Além disso, seguindo a ideia de Araújo *et al.*, (2020), o sistema de logística reversa depende de mais investimentos no marketing do projeto e na educação ambiental, para que o público-alvo tenha consciência dos benefícios do descarte correto e, assim, contribua para o gerenciamento de REEE.

Em relação às empresas gestoras de REEE em Recife (Figura 22), percebe-se que as empresas ativas estão situadas em diferentes regiões político-administrativas. No âmbito legal, a maioria das empresas possui licenciamento para o gerenciamento dos REEE. O licenciamento é importante e necessário por ser um instrumento que prevê condições para o estabelecimento de empreendimentos e atividades, de forma a tentar eliminar ou minimizar, quando possível, danos ao meio ambiente e, ao mesmo tempo, garantir o desenvolvimento social e econômico.

Figura 22 - Distribuição espacial das empresas atuantes no gerenciamento dos REEE em Recife-PE



Fonte: A Autora (2023).

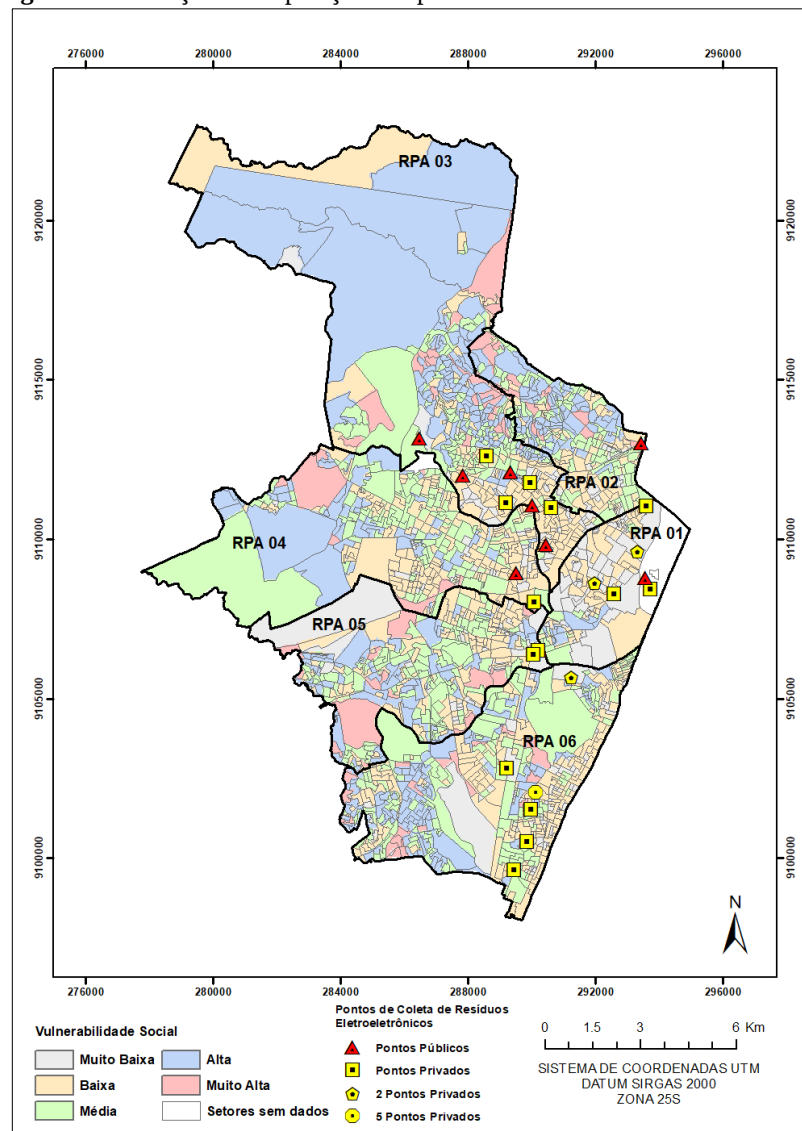
A maioria das empresas são licenciadas, todavia, é presente na RPA 03 uma empresa que não informou quanto ao licenciamento para operacionalização do gerenciamento dos resíduos eletroeletrônicos.

Uma empresa que opera sem licença está cometendo infração ambiental e pode ser multada ou interditada pelos órgãos competentes. Além disso, a ausência de licenciamento

implica em falta de controle e fiscalização sobre as etapas de coleta, transporte, armazenamento, tratamento e destinação final dos resíduos, o que pode gerar impactos ambientais, bem como exposição dos trabalhadores e da população a substâncias tóxicas. A vantagem das empresas licenciadas é, sobretudo, a contribuição para a preservação do meio ambiente e redução de impactos causados pelo descarte incorreto dos REEE, pois essas empresas seguem normas técnicas que garantem a segurança e a qualidade dos serviços prestados.

No tocante a distribuição de pontos de coleta para atender as diversas realidades de vulnerabilidade social presentes em Recife (Figura 23), observou-se que a abrangência dos pontos de coleta é insuficiente nas áreas mais periféricas da cidade, principalmente a oeste e norte do município, o que dificulta o descarte adequado dos REEE pela população desses setores.

Figura 23 - Relação da disposição dos pontos de coleta e as áreas vulneráveis



Fonte: A Autora (2023).

Com a sobreposição dos pontos e faixas de vulnerabilidade é perceptível que os PEV estão dispostos majoritariamente em áreas de baixa e média vulnerabilidade social, enfatizando que provavelmente a disposição desses pontos foi realizada com base no poder aquisitivo da população contribuinte, deixando grande parte da população sem atendimento.

A partir dos mapas apresentados nesse tópico, é possível relatar a necessidade de implementação de políticas públicas para a gestão correta dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, bem com a promoção da educação ambiental, para expor os impactos ambientais decorrentes do descarte irregular e os benefícios de um bom gerenciamento para o meio ambiente e para a população do município.

Além disso, cabe enfatizar que os REEE possuem valor agregado e que esses resíduos podem ser uma fonte de renda para a população mais vulnerável. É importante que os governantes também observem o papel social que a gestão dos REEE possui, implementando parcerias com empresas e cooperativas para a formação dos agentes que estão diretamente ligados à gestão desses resíduos.

Contudo, é comum que as áreas com alta densidade demográfica e alto poder aquisitivo tendem apresentar uma maior geração de REEE (Savage *et al.*, 2018), assim como as áreas que possuem um grande tráfego de pessoas são mais propícias aos descarte desses resíduos (Araújo *et al.*, 2020). Dessa forma, observa-se que o ponto crítico da distribuição dos PEV se encontra principalmente nas áreas distantes ao centro de Recife, apresentando uma maior necessidade de atenção dos gestores do município.

5.4.1. Sugestões de procedimentos e melhorias para a efetivação do sistema de logística reversa de REEE

Diante do cenário apresentado ao longo deste trabalho, é possível compreender a complexidade da gestão dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. Considerando que Recife possui diferentes situações socioambientais, é necessário um esforço conjunto para aprimorar o sistema de logística reversa do município. Para contribuir com essa melhoria, são sugeridas algumas ações (Quadro 19) focadas nos respectivos eixos: (I) aspectos gerais para o gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos; (II) descentralização ou implantação de mais pontos de coleta em áreas descobertas; (III) tecnologias como ferramenta de gestão; e por fim (IV) instalação de pontos de coleta em áreas suscetíveis a vulnerabilidades socioambientais.

O objetivo do quadro apresentado é ser um instrumento eficaz para orientar as ações dos gestores públicos, das empresas, das organizações da sociedade civil e dos consumidores, favorecendo a melhoria da qualidade de vida e a proteção do meio ambiente.

Algumas ideias para objetivo específico sobre mapear por meio de geotecnologia pontos de coleta de REEE são:

Quadro 22 - Sugestões de procedimento para a otimização do gerenciamento de REE

PROCEDIMENTOS
Aspectos gerais para gerenciamento de REEE
Promover campanhas de educação ambiental e sensibilização sobre a importância da gestão responsável dos resíduos eletroeletrônicos, tanto para a preservação dos recursos naturais quanto para a saúde pública.
Implementar sistemas de logística reversa e de coleta seletiva de REEE.
Apoiar o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias limpas e inovadoras para o processamento dos REEE, visando extrair os materiais valiosos e minimizar os impactos ambientais e os riscos à saúde humana.
Fortalecer a legislação ambiental e a fiscalização sobre o manejo dos REEE, estabelecendo metas, normas, incentivos e penalidades para os diferentes agentes envolvidos na cadeia produtiva dos equipamentos eletroeletrônicos.
Analisar a demanda e a oferta de materiais recicláveis na região, considerando os custos e benefícios ambientais, sociais e econômicos.
Possibilitar a reciclagem e a reutilização dos componentes e materiais dos REEE, reduzindo a demanda por recursos naturais.
Adotar critérios de eco-design na produção dos equipamentos, buscando aumentar a eficiência energética, a durabilidade, a modularidade e a facilidade de desmontagem e reparo.
Sensibilizar e capacitar os consumidores, os trabalhadores e os gestores públicos sobre a importância da gestão sustentável de REEE, estimulando o consumo consciente, a doação, o conserto e o descarte correto dos equipamentos.
Criar incentivos fiscais e financeiros para as empresas que adotem práticas de gestão sustentável dos resíduos eletroeletrônicos, como a redução, a reutilização e a reciclagem.
Sugestões a respeito da descentralização ou implantação de mais pontos de coleta em áreas descobertas
Realizar um diagnóstico da demanda e da oferta de serviços de coleta especialmente nas RPA 02, 04, 05, pois são regiões que não possuem cobertura adequada.
Identificar as áreas prioritárias para a instalação de novos pontos de coleta, considerando os critérios de acessibilidade, segurança, viabilidade técnica e financeira, e impacto ambiental e social.
Estabelecer parcerias com entidades públicas e privadas, como prefeituras, associações de moradores, cooperativas de catadores, empresas e ONGs, para a gestão compartilhada dos pontos de coleta.
Promover campanhas de educação ambiental e conscientização dos cidadãos sobre a importância da separação e do descarte correto dos resíduos.
Monitorar e avaliar periodicamente o funcionamento e os resultados dos pontos de coleta, buscando aprimorar a qualidade e a eficiência do serviço.
Sugestões a respeito da utilização da tecnologia como ferramenta para a otimização da gestão de resíduos eletroeletrônicos e aplicação de pontos de coleta
Realizar um mapeamento georreferenciado das áreas que necessitam de maior atenção em relação à coleta seletiva, utilizando dados de fontes confiáveis e atualizadas.
Utilizar aplicativos móveis ou plataformas digitais para divulgar os locais, horários e tipos de resíduos que podem ser entregues nos novos pontos de coleta, bem como incentivar a participação da população por meio de recompensas, feedbacks e gamificação.
Estabelecer parcerias com empresas, organizações sociais e instituições públicas que possam apoiar a implantação e a manutenção dos novos pontos de coleta, oferecendo recursos financeiros, materiais ou humanos.
Monitorar e avaliar o desempenho dos novos pontos de coleta, utilizando indicadores quantitativos e qualitativos, e realizar ajustes e melhorias contínuas com base nos resultados obtidos.

Quadro 22 - Sugestões de procedimento para a otimização do gerenciamento de REE (Cont.)

PROCEDIMENTOS
Sugestões a respeito da utilização da tecnologia como ferramenta para a otimização da gestão de resíduos eletroeletrônicos e aplicação de pontos de coleta
Promover a educação ambiental e a conscientização dos cidadãos sobre a importância da coleta seletiva e da reciclagem, utilizando meios de comunicação adequados ao perfil e às necessidades do público-alvo.
Utilizar sistemas de rastreamento e monitoramento dos resíduos, desde a sua geração até a sua destinação final, para garantir o controle e a transparência do processo.
Implementar plataformas digitais que conectem os geradores, os transportadores e os receptores dos resíduos, facilitando a comunicação, a negociação e a logística reversa.
Desenvolver aplicativos móveis que informem aos consumidores sobre os locais mais próximos e adequados para a entrega dos resíduos eletroeletrônicos, bem como os benefícios ambientais e sociais dessa ação.
Criar incentivos fiscais e financeiros para as empresas que adotem práticas de gestão sustentável dos resíduos eletroeletrônicos, como a redução, a reutilização e a reciclagem.
Promover campanhas de educação ambiental e conscientização sobre a importância da gestão responsável dos resíduos eletroeletrônicos, tanto para a preservação dos recursos naturais quanto para a saúde pública.
Sugestões para instalar coletores específicos para coleta de REEE em áreas suscetíveis a vulnerabilidades socioambientais
Explicar as normas e regulamentos vigentes sobre a gestão de REEE, destacando as responsabilidades e obrigações dos geradores e dos prestadores de serviço.
Oferecer incentivos financeiros ou fiscais para a adesão ao programa de coleta de REEE, como descontos, subsídios ou isenções.
Demonstrar a confiabilidade e a segurança dos coletores específicos, garantindo que eles sejam adequados às características e às necessidades dos setores comerciais.
Estabelecer parcerias e acordos com entidades representativas dos setores comerciais, como associações, sindicatos ou cooperativas, para divulgar e promover a coleta de REEE.
Identificar os principais tipos de REEE gerados nos setores comerciais, bem como as suas características, potencialidades e riscos associados.
Analisar as legislações vigentes sobre a gestão de REEE no Brasil e no mundo, destacando as responsabilidades dos diferentes atores envolvidos no ciclo de vida desses produtos.
Considerar as demandas e as necessidades das comunidades locais para a seleção dos locais mais adequados para a instalação dos coletores específicos.
Elaborar um plano de comunicação e sensibilização para divulgar a importância da coleta seletiva de REEE e incentivar a participação dos comerciantes e dos consumidores nessa iniciativa.

Fonte: A Autora (2023).

6 CONCLUSÕES

O tema sobre as práticas sustentáveis de gestão de REEE tem ganhado destaque na literatura científica nacional e internacional nos últimos anos, demonstrando a relevância e a complexidade do assunto.

O cenário de gestão dos resíduos varia conforme diversos fatores, tais como o grau de desenvolvimento econômico e social dos países, a disponibilidade de infraestrutura e tecnologia para as atividades de coleta, transporte, armazenamento, tratamento e disposição final dos resíduos, a existência de políticas públicas e instrumentos legais que regulem e estimulem a participação dos diferentes atores. Cada cenário tem seus prós e contras, assim como seus desafios e oportunidades para a melhoria da gestão dos REEE. É fundamental analisar as

características e as implicações de cada cenário para definir as melhores estratégias para promover uma gestão sustentável dos REEE.

Um modelo único de coleta que atenda a todas as situações inexistente. O que temos são diferentes modelos que devem ser adaptados às características locais, às demandas sociais e às políticas públicas. O ideal é que haja uma articulação entre os diversos atores envolvidos na gestão dos REEE, como poder público, empresas, cooperativas, consumidores e organizações da sociedade civil, de forma a garantir a eficiência, a sustentabilidade e a equidade da coleta dos REEE.

Em Recife, no entanto, a gestão de REEE nas áreas mais vulneráveis da cidade ainda apresenta deficiências, pois há muitos setores que não contam com pontos de coleta adequados, além de estarem distantes dos existentes.

Dessa forma, conclui-se que o sistema de logística reversa de REEE na cidade apresenta alguns desafios e oportunidades para a sua melhoria. A distribuição dos pontos de coleta deve ser revista e adequada às demandas e às especificidades de cada região, buscando atender a todos os tipos e tamanhos de resíduos. Além disso, é fundamental investir em ações de sensibilização e conscientização da população, para que ela participe ativamente do processo de descarte correto e reaproveitamento dos REEE, gerando benefícios ambientais, sociais e econômicos para a cidade.

SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Algumas sugestões de pesquisas futuras a respeito de gerenciamento de resíduos de equipamento eletroeletrônicos em áreas de grandes concentrações urbanas são:

- Desenvolver metodologias para mapear e monitorar as fontes e os fluxos desses resíduos nas cidades, utilizando ferramentas como sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica e modelagem espacial.
- Analisar as políticas públicas e as iniciativas privadas existentes para o gerenciamento desses resíduos, identificando as lacunas, os desafios e as oportunidades de melhoria.
- Propor um modelo de gestão de REEE que contemple características sociais, econômicas e ambientais, visando a sustentabilidade da gestão e a inserção da população mais vulnerável no modelo de gestão.

REFERÊNCIA

ABDI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos** – Análise de Viabilidade Técnica e Econômica. Brasília, 2013.

ABDULHASAN, M. J., HANAFIAH, M. M., SATCHET, M. S., ABDULAALI, H. S., TORIMAN, M. E., & AL-RAAD, A. A. (2019). Combining GIS, Fuzzy logic, and AHP models for solid waste disposal site selection in Nasiriyah, Iraq. **Applied Ecology & Environmental Research**, 17(3).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.833**: Manufatura reversa. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.156**: resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**. 2019. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 9 ago. 2022.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (2021)**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>.

ALENCAR, T. S. **Logística reversa de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no município do Rio de Janeiro**: Desafios e oportunidades. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

AMBIENTE BRASIL. **Metais pesados**. 2020. Disponível em: https://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/artigos/metais_pesados.html. Acesso em: 26 jun. 2021.

AQUINO, Í. R. B., DA SILVA JUNIOR, J. F., GUARNIERI, P., & E SILVA, L. C. (2020). The Proposition of a Mathematical Model for the Location of Electrical and Electronic Waste Collection Points. **Sustainability**, 13(1), 1-15.

ARAÚJO, D. R. R.; OLIVEIRA, J. D.; SELVA, V. F.; SILVA, M. M.; SANTOS, S. M. Generation of domestic waste electrical and electronic equipment on Fernando de Noronha Island: qualitative and quantitative aspects. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 24, p. 19703-19713, 2017.

ARAÚJO, R. A., OTTONI, M., & XAVIER, L. H. (2020). Analysis of e-waste voluntary delivery points (VDP) location in the city of Rio de Janeiro, Brazil.

AUSTRALIAN GOVERNMENT. **Right to repair, draft report. Productivity Commission, Australia.** 2021. Disponível em: <https://www.pc.gov.au/inquiries/current/repair/draft/repair-draft.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2023.

BALDÉ, C. P.; FORTI, V.; GRAY, V.; KUEHR, R.; STEGMANN, P. **The global e-waste monitor 2017:** Quantities, flows and resources. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) e International Solid Waste Association (ISWA), 2017a.

BALDÉ, C. P.; FORTI, V.; GRAY, V.; KUEHR, R.; STEGMANN, P. **The global e-waste monitor.** United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) e International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna. 2017b.

BARROS, R. T. D. V., & SILVEIRA, Á. V. F. (2019). Uso de indicadores de sustentabilidade para avaliação da gestão de resíduos sólidos urbanos na Região Metropolitana de Belo Horizonte. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, 24, 411-423.

BERTICELLI, R., PANDOLFO, A., & KORF, E. P. (2016). Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos: perspectivas e desafios. **Revista gestão & sustentabilidade ambiental**, 5(2), 711-744. DOI: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v5e22016711-744>.

BESSEN, GR, GÜNTHER, WMR, RIBEIRO, H., JACOBI, PR, & DIAS, SM (2017). **Gestão da coleta seletiva e de organizações de catadores: indicadores e índices de sustentabilidade.** São Paulo: Faculdade de saúde pública/USP. Doi: 10.11606/9788588848245.

BORTHAKUR, A., & GOVIND, M. (2019). Computer and mobile phone waste in urban India: an analysis from the perspectives of public perception, consumption and disposal behaviour. **Journal of Environmental Planning and Management**, 62(4), 717-740.

BRASIL. Decreto Federal 10.240, de 12 de fevereiro de 2020. Regulamenta o inciso VI do Caput do art. 33 e o art. 56 da Lei n. 12305, de 2 de agosto de 2010, e complementa o decreto n. 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. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2020.

BRASIL. Decreto Federal 7.404, de 23 de dezembro 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2010.

BRASIL. Lei Federal 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2009.

BRASIL. Lei Federal 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2010.

BRASIL. Lei Federal 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1981.

BRASIL. Lei Federal 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1998.

BRASIL. Lei Federal 9795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1999.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos** - Planares [recurso eletrônico] / coordenação de André Luiz Felisberto França... [et. al.]. – Brasília, DF: MMA, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano_nacional_de_residuos_solidos-1.pdf.

BRASIL. Projeto de Lei nº 6.478, de 2019. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2217958>. Acesso em: 26 jul. 2023.

BUENO, C., HAUSCHILD, M. Z., ROSSIGNOLO, J. A., OMETTO, A. R., & MENDES, N. C. (2016). Sensitivity analysis of the use of Life Cycle Impact Assessment methods: a case study on building materials. **Journal of Cleaner Production**, 112, 2208-2220.

CAMACHO-OTERO, O. J.; BOKS, C.; PETTERSEN, I. N. Consumption in the circular economy: A literature review. **Sustainability**, v. 10, n. 8, p. 2758, 2018. Doi: <https://doi.org/10.3390/su10082758>.

CANÇADO, A. C., SOUZA, M. D. F. A., & PEREIRA, J. R. (2014). Os princípios cooperativistas e a identidade do movimento cooperativista em xeque. *Revista de Gestão e Organizações Cooperativas*, 1(2), 51-62.

CARDOSO, E.; ROTOLO, M.; VALLE, T. F.; OTTONI, M. S. O.; FERNANDES, H. F. Desafios da Logística Reversa de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil. **Revista Ineana**, v. 07, n. 1, p. 6 – 19, 2019.

CLARKE, C.; WILLIAMS, I. D.; TURNER, D. A. Evaluating the carbon footprint of WEEE management in the UK. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 141, p. 465-473, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.003>.

CMMAD - COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum**. 2 ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas. 1991. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4245128/mod_resource/content/3/Nosso%20Futuro%20Comum.pdf. Acesso em: 05 dez. 2021.

CORREIA, A. J. C. **Avaliação econômica e ambiental por meio do mapeamento da logística reversa de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos: estudo de múltiplos casos no Brasil**.

2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2017.

COSTA FILHO, F. D. C. D. (2020). Metodologia de apoio à gestão de qualidade de águas pluviais da macrodrenagem urbana em áreas de arranjos populacionais médios.

CRUZ, C. A. B.; SANTANA, R. S.; SANDES, I. S. F. A logística reversa como diferencial competitivo nas organizações. **Revista Científica do ITPAC**, v. 6, n. 4, 2013.

DIAS, M. V. **Avaliação da gestão de resíduos eletroeletrônicos**. 2017. Tese (Doutorado em Gestão Ambiental) – Universidade Positivo, Curitiba, 2017

DIAS, P.; MACHADO, A.; HUDA, N.; BERNARDES, A. M. Waste electric and electronic equipment (WEEE) management: A study on the Brazilian recycling routes. **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 7-16. 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.219>.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy**: Economic and business rationale for an accelerated transition. Cowes: Ellen MacArthur Foundation. 2013.

ERIVAN, R.; DARTUS, J.; VILLATTE, G.; MARCHEIX, P. S.; DESCAMPS, S.; BOISGARD, S. Bibliometric analysis of case report citations and their effect on the impact factor: How does publishing case reports impact journals. **Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research**, v. 106, n. 8, p. 1463-1467, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2020.05.016>.

FEITOSA, A. K., BARDEN, J. E., KONRAD, O., & DE MATOS, M. A. A. (2020). Avaliação da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em um Município do Nordeste Brasileiro. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, 9(1), 293-315. DOI <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2020v9i1.p293-315>.

FERREIRA, R. H. M.; PEITER, F. G. Obsolescência Programada e o Mercado de Telefones Celulares: panorama de consumo e conscientização no município de Guarapuava-PR. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 10, 2020, Belém do Pará. **Anais [...]** Belém do Pará: APREPRO, 2020. Disponível em: <https://aprepro.org.br/combrep/2020/anais/>.

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), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA). Bonn/Geneva/Rotterdam, 2020. Disponível em: <https://collections.unu.edu/view/UNU:7737#viewAttachments>. Acesso em: 14 mai. 2021.

FORTI, V.; BALDÉ, K.; KUEHR, R. **E-waste Statistics: Guidelines on Classifications, Reporting and Indicators, second edition**. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA). Bonn/Geneva/Rotterdam, 2018. Disponível em: <http://collections.unu.edu/view/UNU:6477#viewAttachments>. Acesso em: 14 set. 2021.

FREITAS, T. G. D., KOCOUREK, S., OLIVEIRA, J. D. L., & CAMPOS, A. O. D. (2020). Participação social na coleta seletiva solidária: estudo de caso de uma instituição federal de ensino superior no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, 7(16), 553-573. Doi: 10.21438/rbgas(2020)071607.

GALLARDO, A., CARLOS, M., PERIS, M., & COLOMER, F. J. (2015). Methodology to design a municipal solid waste pre-collection system. A case study. **Waste management**, 36, 1-11.

GARCIA, D. S. S.; BENEDET, G. O ciclo dos resíduos eletroeletrônicos sob o viés da economia circular e da PNRS – Lei 12305/2010. **Revista Saberes da Amazônia**, v. 5, n. 10, p. 172-190, 2020. Doi: <https://doi.org/10.31517/rsa.v5i10.355>.

GFK – GROWTH FROM KNOWLEDGE. **Venda de eletroeletrônicos cresce 21% e canal on-line confirma tendência de expansão.** 2014. Disponível em: <http://www.gfk.com/br/news-and-events/press-room/pressreleases/paginas/venda-de-eletroeletronicos-cresce-e-canal-on-line-confirma-tendencia-de-expansao.aspx>. Acesso em: 15 ago. 2022.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 11-32, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6ª. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GIL, M. D. M. **Relações entre fatores socioeconômicos e a geração de resíduos sólidos domiciliares-Vacaria**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências Ambientais) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2016.

GONDIM, J. V. S. **Estado e políticas públicas no Recife: a bacia do rio Beberibe e as intervenções do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC)**. 2019. Dissertação (Mestrado em Serviço Social) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

GREEN ELETRON - GESTORA DE LOGÍSTICA REVERSA DE ELETRÔNICOS. **Economia Circular**. 2019. Disponível em: <https://greeneletron.org.br/blog/tag/economia-circular/>. Acesso em: 20 jun. 2021.

GREEN ELETRON - GESTORA DE LOGÍSTICA REVERSA DE ELETRÔNICOS. **Resíduos Eletrônicos no Brasil – 2021**. 2021. Disponível em: <https://greeneletron.org.br/pesquisa>. Acesso em 13 out. 2021.

HAMEED, S. (2015). Retrospection of Globalisation Process and the Sustainability of Natural Environment in Developing Countries. In **Promoting Sustainable Practices through Energy Engineering and Asset Management** (pp. 244-262). IGI Global.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Arranjos populacionais e concentrações urbanas no Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2016a. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/arranjos_populacionais/2015/pdf/publicacao.pdf. Acesso em: 10 abr. 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>. Acesso em: 12 nov. 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/recife.html>. Acesso em: 27 jun. 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2020**. 2020a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>. Acesso em: 22 jul. 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha Censitária**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/malhas-territoriais/15774-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html?=&t=downloads>. Acesso em: 17 dez. 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**, 2016b. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101551_informativo.pdf. Acesso em: 27 jun. 2023.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. (2022). Governo do Brasil. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/categorias/45-todas-as-noticias/noticias/11693-mais-de-800-mil-catadores-serao-beneficiados-com-o-credito-de-reciclagem-no-brasil>.

ISLAM, M. T., & HUDA, N. (2019). Material flow analysis (MFA) as a strategic tool in E-waste management: Applications, trends and future directions. **Journal of environmental management**, 244, 344-361.

ISMAIL, H.; HANAFIAH, M. M. A review of sustainable e-waste generation and management: present and future perspectives. **Journal of environmental management**, v. 264, p. 110495, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110495>.

JESUS, L. A. F.; SANTOS, J. Sobre a situação global dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: uma análise descritiva e comparativa das versões 2017 e 2020 do The Global E-Waste Monitor. **Revista Expressão Científica**, v. 6, n. 1, 2021.

KAHHAT, R.; MILLER, T. R.; OJEDA-BENEDITEZ, S.; CRUZ-SOTELO, S. E.; JAUREGUI-SESMA, J.; GUSUKUMA, M. Proposal for used electronic products management in Mexicali. **Resources, Conservation & Recycling Advances**, v. 13, p. 200065, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200065>.

KOBAL, A. B. C.; SANTOS, S. M.; SOARES, F. A.; LÁZARO, J. C. Cadeia de suprimento verde e logística reversa - os desafios com os resíduos eletroeletrônicos. **Produto & Produção**, v. 14, n. 1, p. 55–83, 2013. Doi: <https://doi.org/10.22456/1983-8026.29594>.

KORHONEN, J., NUUR, C., FELDMANN, A., & BIRKIE, S. E. (2018). Circular economy as an essentially contested concept. **Journal of cleaner production**, 175, 544-552.

KVESELIS, V.; FARIDA, E.; MASAITIS, S. Analysis of energy development sustainability: The example of the lithuanian district heating sector. **Energy Policy**, v. 100, p. 227 - 236, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.10.019>.

LEITE, P. R. **Logística Reversa. Sustentabilidade e Competitividade. Teoria Prática Estratégias**. 3. ed. São Paulo: Saraiva. 2017.

LIMA, J. D. D., JUCÁ, J. F. T., REICHERT, G. A., & FIRMO, A. L. B. (2014). Uso de modelos de apoio à decisão para análise de alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na Região Sul do Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 19, 33-42. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014000100004>

LIU, W.; WANG, J.; LI, C.; CHEN, B.; SUN, Y. Using bibliometric analysis to understand the recent progress in agroecosystem services research. **Ecological Economics**, v. 156, p. 293-305, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.09.001>.

LORDELO, C. L.; SANTOS, I. T. Q. P. Desafios do programa de gestão integrada de resíduos eletroeletrônicos em instituição de ensino. In: SILVA, T. S.; MARQUES, M. M. N.; EL-DEIR, S. G. (Orgs.). **Desmaterialização dos resíduos sólidos: estratégias para a sustentabilidade**. 1. ed. – Recife: EDUFRPE: Gampe, 2020.

MARTIN, V. Y.; WEILER, B.; REIS, A.; DIMMOCK, K.; SCHERRER, P. ‘Doing the right thing’: How social science can help foster pro-environmental behaviour change in marine protected areas. **Marine policy**, v. 81, p. 236-246. 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.04.001>.

MEDEIROS, C. F. D. **Vulnerabilidades na cidade: o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) e as desigualdades socioambientais**. 2021. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

MELCHIOR, C; ZANINI, R. R. Mortality per work accident: A literature mapping. **Safety Science**, v. 114, p. 72-78, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.01.001>.

MENDES, K. T.; RONZANI, T. M.; PAIVA, F. S. D. População em situação de rua, vulnerabilidades e drogas: uma revisão sistemática. **Psicologia & Sociedade**, v. 31, p. e169056, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1590/1807-0310/2019v31169056>.

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Production**, v. 26, n. 1, p. 160-175, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1590/0103-6513.153213>.

MÉNDEZ-FAJARDO, S.; BÖNI, H.; VANEGAS, P.; SUCOZHANYAY, D. Improving sustainability of E-waste management through the systemic design of solutions: the cases of Colombia and Ecuador. In: PRASAD, M. N. V.; VITHANAGE, M.; BORTHAKUR, A. (ed.) **Handbook of Electronic Waste Management**. Oxford: Elsevier Inc., 2020.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. **PLoS Medicine**, v. 6, n. 7, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>.

MONTEIRO, M. S. **Comportamento dos consumidores em relação à reciclagem e reutilização de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos em bairro de classe média alta do Recife**. 2020. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

MOR, R. S., SANGWAN, K. S., SINGH, S., SINGH, A., & KHARUB, M. (2021). E-waste management for environmental sustainability: an exploratory study. **Procedia CIRP**, 98, 193-198.

MORAES, C. S. B.; MARTIRES, G. M. B. M.; BONARETTO, C. M. V.; CAMPOS, M. O.; ANSANELLI, S. L. M.; OLIVEIRA, J. A.; MAIA, J. V. F.; BARBOSA, M. C. S. Gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos em municípios do Estado de São Paulo: caracterização e propostas de diretrizes. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 11, p. 109842-109871, 2021. Doi: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n11-557>.

NORDELÖF, A. A scalable life cycle inventory of na automotive Power electronic inverter unit—part II: manufacturing processes. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 24, n. 9, p. 1765-1780, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1491-3>.

NOWAKOWSKI, P., & PAMUŁA, T. (2020). Application of deep learning object classifier to improve e-waste collection planning. **Waste Management**, 109, 1-9.

OLIVEIRA, J. D. D. (2017). *Resíduos eletroeletrônicos enviados para galpões de recicláveis da cidade do Recife* (Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco)

OLIVEIRA, J. D.; OLIVEIRA NETO, J. F.; SILVA, M. M.; SANTOS, S. M. E-Waste Mistakenly Disposed of as Recyclable Waste: A Case Study from Brazil. **CLEAN – Soil, Air, Water**, v. 48, n. 11, p. 2000115, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1002/clen.202000115>.

ONGONDO, F. O., WILLIAMS, I. D., & CHERRETT, T. J. (2011). How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes. **Waste management**, 31(4), 714-730.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **CNUMAD – Conferência das Nações Unidas Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**: Agenda 21. Rio de Janeiro: ONU, 1992.
ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Millennium Development Goals**. Washington: ONU, 2000. Disponível em: <https://www.un.org/millenniumgoals/partners.shtml>. Acesso em: 05 out. 2021.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development**. Washington: ONU, 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 05 out. 2021.

OPRIS, S. Electronics: A Broken Story about Production and Consumption. In: EDULJEE, G. H.; HARRISON, R. M. (Ed.). **Issues in Environmental Science and Technology: Electronic Waste Management**, 2. ed., The Royal Society of Chemistry, p. 213–245, 2020.

OTTO, S.; KIBBE, A.; HENN, L.; HENTSCHKE, L.; KAISER, F. G. The economy of E-waste collection at the individual level: A practice oriented approach of categorizing determinants of E-waste collection into behavioral costs and motivation. **Journal of cleaner production**, v. 204, p. 33-40, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.293>.

PACHECO, E. B. A. V.; FERREIRA, J. F.; SILVA, A. L. N. Uma proposta para identificação de indicadores de sustentabilidade para avaliação do gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos com foco na reciclagem. **Gestão e Gerenciamento**, v. 10, n. 10, p. 18-26, 2019.

PADILHA, V. Desejar, comprar e descartar: da persuasão publicitária à obsolescência programada. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 68, n. 4, 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602016000400015>.

PERNAMBUCO. Lei Estadual 14.236, de 13 de dezembro de 2010. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos, e dá outras providências. **Diário Oficial de Pernambuco**. Recife, 2010.

PERNAMBUCO. Lei Estadual 15.084, de 7 de setembro de 2013. Dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de coletores de lixo eletrônico pelas empresas que comercializam pilhas, baterias e aparelhos eletrônicos de pequeno porte no Estado de Pernambuco, dá outras providências. **Diário Oficial de Pernambuco**. Recife, 2013.

PERNAMBUCO. Plano de Resíduos Sólidos da Região de Desenvolvimento Metropolitana de Pernambuco, Incluindo Programa de Coleta Seletiva. 2019. Disponível em: http://www.seduh.pe.gov.br/c/document_library/get_file?folderId=134505&name=DLFE-340601.pdf. Acesso em: 10 jul. 2023

PERNAMBUCO. SECRETARIA DAS CIDADES. **Plano Metropolitano de Resíduos Sólidos– PMRS/Secretaria das Cidades – SECID**. Recife, 2011, p. 94. Disponível em: http://www.recife.pe.gov.br/cidadaniaambiental/upload/pdf/material_adicional/Outros_textos_relevantes/PLANO_METROPOLITANO_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_GOVERNO_DO_ESTADO_DE_PERNAMBUCO.pdf. Acesso em: 16 dez. 2021.

PINTO, C. V. D. S., SANTOS, R. M. D., & ROCHA, B. N. (2018). **Vulnerabilidade social nas regiões metropolitanas brasileiras: breve análise dos resultados do IVS calculado para as PNADs 2011-2015**. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9743>.

PINTO, W. L. H., DE MORAES, C. S. B., CAPPAROL, D. C. A., DE OLIVEIRA, J. C., DE MATTOS ANSANELLI, S. L., & DOLPHINE, L. M. (2020). Gestão municipal de resíduos sólidos e proposta de indicadores de sustentabilidade. **Brazilian Applied Science Review**, 4(1), 70-111. DOI: <https://doi.org/10.34115/basrv4n1-006>

POLAT, Z. A.; ALKAN, M.; PAULSSON, J.; PAASCH, J. M.; KALOGIANNI, E. Global scientific production on LADM-based research: A bibliometric analysis from 2012 to 2020. **Land Use Policy**, v. 112, p. 105847, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105847>.

PREFEITURA DO RECIFE. **Pontos de Coleta Seletiva e Resíduos**. 2019a. Disponível em: <http://dados.recife.pe.gov.br/dataset/pontos-de-coleta-seletiva>. Acesso em: 19 jun. 2023.

PREFEITURA DO RECIFE. **Recife lança campanha para coleta de lixo eletrônico**. 2019b. Disponível em: <https://www.recife.pe.gov.br/2020/01/09/recife-lanca-campanha-para-coleta-de-lixo-eletronico/>. Acesso em 13 jun. 2023.

RAJESH, R., KANAKADHURGA, D., & PRABAHARAN, N. (2022). Electronic waste: A critical assessment on the unimaginable growing pollutant, legislations and environmental impacts. **Environmental Challenges**, 7, 100507. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100507>.

RAMOS, M. G; ROSÁRIO, L. V. M; AMARAL, R. M. P. IRAMUTEQ Software and Discursive Textual Analysis: Interpretive Possibilities. In: COSTA, A. P.; REIS, L. P.; MOREIRA, A. (Ed.), **Computer Supported Qualitative Research**. Lisboa: Springer, p. 58-72, 2018.

REIS, D., FRIEDE, R., & LOPES, F. H. P. (2017). Política nacional de resíduos sólidos (Lei no 12.305/2010) e educação ambiental. **Revista Interdisciplinar do Direito-Faculdade de Direito de Valença**, 14(1), 99-111.

REIS, L. C. D., BERNARDINI, F. C., CAPPELLI, C., & FERREIRA, S. B. L. (2021, July). A transformação inteligente das cidades brasileiras na perspectiva da governança de TIC. In **Anais do IX Workshop de Computação Aplicada em Governo Eletrônico** (pp. 227-238). SBC. Doi: <https://doi.org/10.5753/wcge.2021.15991>.

RICARDO, Eder; DE MORAIS, Cristiane Bonatto; ZANELLA, Luiz Felipe Torcatto. Logística reversa: um estudo sobre o descarte do lixo eletrônico em Fraiburgo, SC. **Unoesc & Ciência-ACSA**, 2016, 7.1: 85-92.

RICHTER, M. F., TAVARES, D. L., MORBACH, J., & DE OLIVEIRA, C. C. (2022). RESÍDUOS ELETRÔNICOS: Efeitos na saúde humana, impacto ambiental e potencial econômico. **HOLOS**, 5. Doi: <https://doi.org/10.15628/holos.2022.13979>.

RIGOLDI, K. C., & LIMA, V. A. L. É. R. I. A. (2020). A influência da gestão de resíduos sólidos na qualidade ambiental e nas desigualdades socioespaciais de Maringá-PR. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium**, 11(1), 85-96.
ROSA, N. O. A responsabilidade socioambiental em empresas florestais: problematizações vigentes. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 4, n. 2, p. 28-50, 2019.

ROSSINI, V.; NASPOLINI, S. H. D. 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. Doi: <http://dx.doi.org/10.26668/IndexLawJournals/2525-9687/2017.v3i1.2044>.

SANTOS, C. A. F. **A gestão dos resíduos eletroeletrônicos e suas consequências para a sustentabilidade**: Um Estudo de Múltiplos Casos na Região Metropolitana de Porto Alegre. 2012. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SANTOS, C. A. F. D. (2012). A gestão dos resíduos eletroeletrônicos e suas consequências para a sustentabilidade: um estudo de múltiplos casos na Região Metropolitana de Porto Alegre.

SANTOS, D. F., **Análise da coleta de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos nos “ecopontos” de Belo Horizonte, MG**. 2018. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2018.

SANTOS, R. H. M., GUARNIERI, P., & CERQUEIRA STREIT, J. A. (2021). Obsolescência programada e percebida: Um levantamento sobre a percepção do ciclo de vida com usuários de aparelhos celulares. **Gestão & Planejamento-G&P**, 22(1).

SANTOS, R. H. M., GUARNIERI, P., & CERQUEIRA STREIT, J. A. (2021). Obsolescência programada e percebida: Um levantamento sobre a percepção do ciclo de vida com usuários de aparelhos celulares. **Gestão & Planejamento-G&P**, 22(1). DOI: 10.53706/gep.v.21.5886.

SANTOS, S. M., & OGUNSEITAN, O. A. (2022). E-waste management in Brazil: Challenges and opportunities of a reverse logistics model. **Environmental Technology & Innovation**, 28, 102671. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102671>.

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. 102671, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102671>.

SAVAGE, J. E., JANSEN, P. R., STRINGER, S., WATANABE, K., BRYOIS, J., DE LEEUW, C. A., & POSTHUMA, D. (2018). Genome-wide association meta-analysis in 269,867 individuals identifies new genetic and functional links to intelligence. **Nature genetics**, 50(7), 912-919.

SCHNEIDER, M. S., RADÜNS, C. D., & ENDERLE, T. P. (2021). Gestão de resíduos sólidos: Logística Reversa de Eletroeletrônicos, Pilhas e Lâmpadas. **Salão do Conhecimento**, 7(7).

SCHUELER, ASD, KZURE, H., & RACCA, GB (2018). Como estão os resíduos urbanos nas favelas cariocas? *urbe*. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 10, 213-230. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.001.AO15>.

SCHWARZER, S. et al. E-waste management in Switzerland. In: International Conference on Electronics and the Environment, 2005, New Orleans. **Conference Proceedings [...]** New Orleans: IEEE, 2005. p. 95-100.

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**, v. 120, p. 549 - 563, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.016>.

SILVA, M. L. L.; OLIVEIRA, C. E. A.; FERREIRA, R. P.; CARDOSO, A. M. Risco Ambiental e Biotecnologia na Recuperação de Metais da Placa de Circuito Impresso (PCI). **Applied Science Review**, v. 4, n. 4, p. 2494-2505, 2020. Doi: <https://doi.org/10.34115/basrv4n4-026>.

SINGH, N.; OGUNSEITAN, O. A. Disentangling the world wide web of e-waste and climate change co-benefits. **Circular Economy**, vol. 1, n. 2, p. 100011, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cec.2022.100011>.

SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre Gestão dos Resíduos Sólidos. Ministério do Meio Ambiente. (2021). Disponível em: <https://sinir.gov.br/informacoes/tipos-de-residuos/residuos-solidos-urbanos/>.

SOUZA, C. M. N.; COSTA, A. M.; MORAES, L. R. S.; FREITAS, C. M. **Saneamento: promoção da saúde, qualidade de vida e sustentabilidade ambiental**. Editora Fiocruz. 2015. ISBN: 978-85-7541-470-5.

SOUZA, F. **FBS ELETRÔNICA – Eletrônica ao alcance de todos**. 29 de abril de 2014. Disponível em: <https://fbseletronica.wordpress.com/2014/04/29/componentes-eletronicos-conceitos-basicos/>. Acesso em: 09 abr. 2022.

SOUZA, R. G.; CLÍMACO, J. C. N.; SANT'ANNA, A. P.; ROCHA, T. B.; VALLE, R. A. B.; QUELLHAS, O. L. G. Sustainability assessment and prioritisation of e-waste management options in Brazil. **Waste management**, v. 57, p. 46-56, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.034>.

SOUZA, S. R.; GALLARDO, A. L. C. F. **Ferramentas de Gestão Integrada e Gerenciamento de Resíduos Sólidos em Cidades Inteligentes e Sustentáveis**. Ações do Comitê de Integração de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo. 2020.

STHIANNOPKAO, S., & WONG, M. H. (2013). Handling e-waste in developed and developing countries: Initiatives, practices, and consequences. **Science of the Total Environment**, 463, 1147-1153.

SUÁREZ-EIROA, B., FERNÁNDEZ, E., MÉNDEZ-MARTÍNEZ, G., & SOTO-OÑATE, D. (2019). Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice. **Journal of cleaner production**, 214, 952-961.

TORRES, B. M. **Proposta de Rota Tecnológica Sustentável e Inteligente Para Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos**. 2021. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia Ambiental) – Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco, Recife, 2021.

TURAGA, R. M. R., BHASKAR, K., SINHA, S., HINCHLIFFE, D., HEMKHAUS, M., ARORA, R., & SHARMA, H. (2019). **E-waste management in India: Issues and strategies**. *Vikalpa*, 44(3), 127-162.

UE - UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2012/19/EU do Parlamento Europeu e do Conselho Directiva, de 4 de julho de 2012. Relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE). **Jornal Oficial da União Europeia**, Estrasburgo, 24 jul. 2012.

UE - UNIÃO EUROPEIA. Diretiva Europeia 2002/95/CE do Parlamento Europeu edo Conselho Directiva, de 27 de Janeiro de 2003. Relativa à restrição do uso de determinadas substâncias perigosas em equipamentos elétricos e eletrônicos. **Jornal Oficial da União Europeia**, Bruxelas, 13 fev. 2004.

UE - UNIÃO EUROPEIA. Diretiva Europeia 2011/95/UE do Parlamento Europeu E Do Conselho Directiva, de 27 de janeiro de 2003. Relativa à reformulação sobre restrição do uso de determinadas substâncias perigosas em equipamentos elétricos e eletrônicos. **Jornal Oficial da União Europeia**, Bruxelas, 13 fev. 2003.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Basel Convention**. 2014. Disponível em: <https://www.basel.int/portals/4/basel%20convention/docs/text/baselconvention-text-e.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2021.

VIDAL, I. C. D. A. (2019). Avaliação da poluição difusa no sistema de macrodrenagem de Campina Grande-PB.

WANG, Z.; ZHANG, B.; GUAN, D. Take responsibility for electronic-waste disposal. **Nature**, v. 536, p. 23-25, 2016.

WORLD ECONOMIC FORUM. **A new circular vision for electronics**: Time for a global reboot. World Economic Forum. 2019. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf. Acesso em: 12 ago. 2021.

WRAP, 2017. Collection and treatment of good WEEE practices - antecedents to guide. Disponível em: <http://www.wrap.org.uk/content/weee-good-practice-collection-and-treatmentbackground-guide>.

XAVIER, L. H.; CARVALHO T. C. **Gestão de resíduos eletroeletrônicos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

XAVIER, L. H.; VIEIRA, R.; SOARES, A. D.; MEDEIROS, R. P.; MARTINS, A.; CIRENO, M. E.; FERREIRA, A. P. **Resíduos Eletroeletrônicos na Região Metropolitana do Recife (RMR)**: Guia Prático para um Ambiente Sustentável. 1 ed. Recife: Editora Massangana, 2014.

YANG, J.; GU, F.; GUO, J.; CHEN, B. Comparative Life Cycle Assessment of Mobile Power Banks with Lithium-Ion Battery and Lithium-Ion Polymer Battery. **Journal of Cleaner Production**, v. 11, n. 19, p. 5148, 2019. Doi: <https://doi.org/10.3390/su11195148>.

ZHANG, L.; GENG, Y.; ZHONG, Y.; DONG, H.; LIU, Z. A bibliometric analysis on waste electrical and electronic equipment research. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 21098 – 21108, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05409-2>.

ANEXO (S)

Anexo A - Formulário de caracterização dos pontos de coleta

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL						
FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DESTINADOS AOS RESÍDUOS ELETROELETRONICOS DE RECIFE-PE					Data:	
					Visita:	
1. IDENTIFICAÇÃO DO PONTO DE COLETA						
Nome:						
Endereço:						
Bairro:		Município:		UF:		CEP:
2. COORDENADAS GEOGRÁFICAS DO PONTO DE COLETA						
Datum:						
Lat/ Long.			LATITUDE		LONGITUDE	
3. CARACTERIZAÇÃO DO PONTO DE COLETA						
3.1 TIPO DE PONTO DE COLETA						
Tamanho:	Altura:	Largura:	Profundidade:			
Capacidade (Kg ou m³):						
Número de Fotos:						
Tipo:						
☐	COLETOR PARTICULAR					
☐	COLETA INTINEIRANTE					
☐	COLETOR PÚBLICO					
☐	POSTO DE RECEBIMENTO DE PEQUENOS E MÉDIOS VOLUMES					
3.2 TIPOLOGIAS COLETADAS						
☐	LINHA BRANCA (geladeiras, refrigeradores e congeladores, fogões, lava-roupas e ar-condicionado)					
☐	LINHA MARROM (televisor tubo/monitor, televisor plasma/LCD/monitor, DVD/VHS e produtos de áudio)					
☐	LINHA AZUL (batedeiras, liquidificadores, ferros elétricos e furadeiras)					
☐	LINHA VERDE (desktops, notebooks, impressoras e aparelhos celulares)					
3.3 DESCRIÇÃO DO PONTO DE COLETA (CONDIÇÕES DE CONSERVAÇÃO)						
☐	ADEQUADO					
☐	INADEQUADO					
OBS.:						
3.4 TEMPO DE ARMAZENAMENTO:						
3.5 DESTINO:						
OBSERVAÇÕES:						