



**UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO**



Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências
Departamento de Eletrônica e Sistemas



Graduação em Engenharia Eletrônica

Vinícius Fernando Rocha Lobo

**Cidades Inteligentes: Um metamodelo para o
tratamento sustentável de resíduos de
equipamentos elétricos e eletrônicos**

Recife

2024

Vinícius Fernando Rocha Lobo

**Cidades Inteligentes: Um metamodelo para o
tratamento sustentável de resíduos de
equipamentos elétricos e eletrônicos**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Eletrônica, do Departamento de Eletrônica e Sistemas, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador(a): Prof. Sidney Marlon Lopes de Lima, D.Sc.

Recife
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Lobo, Vinícius Fernando Rocha.

Cidades inteligentes: um metamodelo para o tratamento sustentável de
resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos / Vinícius Fernando Rocha
Lobo. - Recife, 2024.

69 p. : il., tab.

Orientador(a): Sidney Marlon Lopes de Lima

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Eletrônica -
Bacharelado, 2024.

Inclui referências.

1. Sustentabilidade. 2. Metamodelo de Cidades inteligentes. 3. Sucata
Eletrônica. 4. Economia Criativa. 5. Resíduos de Equipamentos Elétricos e
Electrônicos. I. Lima, Sidney Marlon Lopes de. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

Vinícius Fernando Rocha Lobo

Cidades Inteligentes: Um metamodelo para o tratamento sustentável de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Eletrônica, do Departamento de Eletrônica e Sistemas, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Aprovado em: 20/06/2024

Banca Examinadora

Prof. Sidney Marlon Lopes de Lima, D.Sc.
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Guilherme Nunes de Melo, D.Sc.
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Reuben Palmer Rezende de Sousa, D.Sc.
Universidade Federal de Pernambuco

Isabela Natália da Silva Ferreira, D.Sc.
Universidade Católica de Pernambuco

Rosalva Raimundo da Silva, D.Sc.
Instituto Aggeu Magalhães

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que conheci ao longo da vida e que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação pessoal e profissional. Cada encontro, cada conversa e cada experiência compartilhada foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Obrigado a todos vocês!

Resumo do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Eletrônica e Sistemas, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Eletrônica(Eng.)

Cidades Inteligentes: Um metamodelo para o tratamento sustentável de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos

Vinícius Fernando Rocha Lobo

O aumento do volume de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) representa grandes desafios ambientais e de saúde em todo o mundo. Este estudo visa desenvolver um quadro completo para o tratamento sustentável dos REEE, com foco em cidades inteligentes e estratégias inovadoras de gestão de resíduos. Propomos um metamodelo que visa abordar o ciclo de vida do lixo eletrônico, desde a coleta até a reciclagem e descarte. Esta pesquisa utiliza uma abordagem que combina análise de políticas, engajamento de *stakeholders* e inovação tecnológica, visando criar uma solução escalável e adaptável para prefeituras. O metamodelo proposto utiliza técnicas gerenciais para otimizar a coleta de REEE, melhorar a reciclagem e garantir um descarte ecologicamente correto. O modelo demonstra potencial para avanços na utilização de recursos de maneira mais eficiente e na redução de resíduos, resultado da colaboração com autoridades municipais, fabricantes e recicladores. O estudo destaca o papel crítico de estruturas integradas e inteligentes de cidades, na resolução dos desafios dos REEE. O metamodelo proposto alinha políticas, tecnologia e ação comunitária, oferecendo um caminho para a gestão sustentável de resíduos urbanos, o que ajudará a atingir os objetivos mais amplos de proteção ambiental e saúde pública.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Metamodelo de Cidades Inteligentes; Sucata eletrônica; Economia Criativa; Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos.

Abstract of Course Conclusion Work, presented to Department of Electronic and Systems, as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Bachelor of Electronic Engineering(Eng.)

Smart Cities: A Metamodel for the Sustainable Treatment of Waste from Electrical and Electronic Equipment

Vinícius Fernando Rocha Lobo

The volume of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) is growing, posing significant environmental and health challenges worldwide. This study aims to develop a comprehensive framework for the sustainable treatment of WEEE, focusing on smart cities and innovative waste management strategies. We propose a metamodel which aims to address the lifecycle of electronic waste, from collection to recycling and disposal. This research adopts an approach that combines policy analysis, stakeholder engagement, and technological innovation, aiming to devise a scalable and adaptable solution for city halls. The proposed metamodel uses management techniques to optimize WEEE collection, enhance recycling, and ensure eco-friendly disposal. The model shows potential for substantial improvements in resource utilization and waste reduction, stemming from collaboration with city authorities, manufacturers, and recyclers. The study emphasizes the critical role of integrated, smart city frameworks in addressing the WEEE challenge. The proposed metamodel aligns policy, technology, and community action, offering a pathway to sustainable urban waste management that will support broader environmental protection and public health goals.

Keywords: Sustainability; Smart Cities Metamodel; Electronic Waste; Creative Economy; Waste Electrical and Electronic Equipment.

Lista de Ilustrações

3.1	Colapso de aterro sanitário no Sri Lanka. Entre as causas prováveis, há a decomposição do lixo eletrônico.	30
4.1	a) Recicladores queimam partes de monitores ao ar livre em Gana. . .	33
4.2	b) Combustão de placa de circuito eletrônico para recuperação de metais utilizados na peça em Taizhou, China.	34
4.3	c) Após a combustão, separação manual dos fios de cobre de um circuito eletrônico em Nova Delhi, Índia.	34
4.4	d) Os resíduos provenientes dos processos de recuperação de metais contaminam lagos e rios. Na imagem, efluente do processo de dissolução do cobre em circuitos eletrônicos deságua em um rio em Taizhou. O processo utiliza ácido sulfúrico. Imagens retiradas do Laboratório Federal Suíço de Ciência e Tecnologia de Materiais (Empa).	34
6.1	Metodologia de coleta e fonte de dados utilizada. (Fonte: o autor) . .	42
8.1	Gestão Integrada de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) (Fonte: autor)	53

Lista de Tabelas

1.1	Metais pesados e suas consequências para a saúde humana.	13
6.1	Arguição padrão do metamodelo autoral	43
7.1	Classificação de algumas respostas dos agentes sobre logística reversa.	51

Lista de Abreviações e Símbolos

CH_4	..... Gás Metano
CNPJ	..... Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica
CPF	..... Cadastro de Pessoas Físicas
GPS	..... Sistema Global de Posicionamento
LAI	..... Lei de Acesso à Informação
MCI	..... Metamodelo de Cidade Inteligente
OAB	..... Ordem dos Advogados do Brasil
PNRS	..... Política Nacional de Resíduos Sólidos
REEE	Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos
SIC	..... Serviço de Informação ao Cidadão
TAC	..... Termo de Ajuste de Conduta
TIC	.... Tecnologias de Informação e Comunicação

Sumário

1	Introdução	12
1.1	Justificativa	15
1.2	Objetivo Geral	16
1.2.1	Objetivos específicos	17
1.3	Organização do TCC	17
2	Fundamentação Teórica	20
2.1	Metamodelo de Cidades Inteligentes	24
3	Descarte inadequado de aparelhos eletrônicos: Aterros e lixões	27
4	Os perigos da reciclagem informal	31
5	Políticas internacionais e nacionais sobre REEE	35
5.1	Políticas Brasileiras sobre REEE	36
6	Metodologia	40
6.1	Metodologia de consulta aos órgãos públicos municipais	41
6.2	Fase: Coleta de Dados	41
6.3	Fase: Análise	44
6.4	Fase: Documentação e Comunicação	44
7	Resultados	45
8	Proposta de Metamodelo de Cidades Inteligentes	52
8.1	Taxação de eletrônicos no momento da compra	54

8.2	Acompanhamento de Performance	54
8.3	Portal da Transparência	57
8.4	Lei Dell	59
8.5	Penalidades	59
9	Considerações Finais	61
9.1	Limitações do estudo	62
9.2	Encaminhamentos	64
	Referências	66

Capítulo 1

Introdução

Diferentes metamodelos de cidades inteligentes têm sido desenvolvidos com o objetivo de resolver problemas urbanos associados a vários indicadores socioeconômicos, essenciais para garantir os direitos humanos. O conceito de Cidades Inteligentes possui diversas definições, mas existe um consenso quase geral sobre a inclusão do domínio ambiental. Assim, as cidades devem possuir mecanismos eficazes para medir e mitigar seu impacto ambiental, visando neutralizar os efeitos nocivos sobre a natureza.

Paralelamente, a economia criativa emerge como um pilar fundamental das Cidades Inteligentes. Reconhece-se que a implementação de tais cidades requer a melhoria das condições econômicas e sociais. Nesse contexto, a população de baixa renda, em particular, necessita de suporte através da economia criativa para prosperar dentro deste novo modelo urbano.

As Cidades Inteligentes devem focar no apoio aos mais vulneráveis, promovendo a geração de renda e protegendo o meio ambiente. Curiosamente, o valor monetário dos materiais brutos contidos nos resíduos eletrônicos foi estimado em US\$ 64 bilhões (55 bilhões de Euros) (Sahajwalla e Gaikwad, 2018), mas apenas 20% dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) gerados globalmente são reciclados (Sahajwalla e Gaikwad, 2018).

O descarte inadequado de sucata eletrônica representa um risco sério tanto para a sociedade quanto para a economia, pois os componentes eletrônicos contêm

substâncias tóxicas como chumbo, mercúrio e retardadores de chama (dos Santos et al., 2023). Além disso, o descarte impróprio em aterros ou lixões pode liberar estas substâncias tóxicas no solo e nas águas subterrâneas, aumentando os riscos para a saúde humana, como câncer e danos ao pulmão e fígado (Khan et al., 2021)(Akram et al., 2019).

Os REEE representam os resíduos de crescimento mais rápido no mundo, devido à obsolescência programada, ao avanço tecnológico e ao consumo de mercado (Shittu et al., 2021). Esses resíduos contêm várias substâncias tóxicas que ameaçam seres vivos e o meio ambiente, o que torna a gestão do lixo eletrônico um grande desafio atual (Vaccari et al., 2019b). A Tabela 1.1 detalha alguns elementos tóxicos comuns em REEE e os impactos desses elementos na saúde humana.

Tabela 1.1: Metais pesados e suas consequências para a saúde humana.

Elemento	Principal dano à saúde humana
Alumínio	Contaminação crônica por Al é sugerida como um dos fatores ambientais na ocorrência da doença de Alzheimer.
Bário	Causa efeitos no coração, constrição dos vasos sanguíneos, elevação da pressão arterial e efeitos no sistema nervoso central.
Cádmio	Acumula-se nos rins, fígado, pulmões, pâncreas, testículos e coração; a intoxicação crônica pode causar descalcificação óssea, danos renais, enfisema pulmonar, além de efeitos teratogênicos (deformação fetal) e carcinogênicos (câncer).
Chumbo	Este é o elemento mais tóxico; acumula-se nos ossos, cabelos, unhas, cérebro, fígado e rins; em baixas concentrações causa dores de cabeça e anemia. Exerce uma ação tóxica sobre a biossíntese do sangue, o sistema nervoso, o sistema renal e o fígado; é um veneno cumulativo em intoxicações crônicas que causam alterações gastrointestinais, neuromusculares e hematológicas, e podem levar à morte.
Cobre	Intoxicação com danos ao fígado.
Cromo	Armazenado nos pulmões, pele, músculos e tecido adiposo, pode causar anemia, alterações hepáticas e renais, além de câncer de pulmão.
Mercúrio	Absorvido rapidamente pelos pulmões. Modifica configurações de proteínas e pode causar colapso circulatório no paciente, levando à morte. Altamente tóxico para humanos (de 3g a 30g é fatal), tem efeito cumulativo e causa danos cerebrais, além de envenenamento do sistema nervoso central e efeitos teratogênicos.
Níquel	Carcinogênico (age diretamente na mutação genética).
Prata	10g na forma de Nitrato de Prata é letal para humanos.

Fonte: Adaptado de ABDI, 2013.

A Comissão Ambiental Europeia definiu dez categorias de resíduos eletrônicos, todas contendo artefatos que utilizam metais pesados. O descarte inadequado destes materiais apresenta riscos significativos para a segurança ocupacional, saúde humana e o ambiente, uma vez que metais de resíduos eletrônicos não se degradam naturalmente. Foram encontradas altas concentrações de metais e PBDEs em locais informais de reciclagem, o que demonstra como os resíduos eletrônicos liberam substâncias tóxicas que persistem no ambiente e podem desequilibrar ecossistemas aquáticos e terrestres (Ohajinwa et al., 2018).

O manejo apropriado e ambientalmente responsável dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) é crucial. Este trabalho propõe a criação de um Modelo de Cidade Inteligente (MCI) para a logística e engenharia reversa de sucata eletrônica no Brasil, com o intuito de superar as limitações impostas tanto por decretos governamentais quanto por entidades de gestão privada. Frequentemente, tais modelos se tornam iniciativas isoladas ou exemplares de sucesso limitado a certas áreas. A implementação do metamodelo sugerido visa capacitar gestores públicos a mitigar, prevenir e corrigir os efeitos adversos do descarte inadequado de resíduos eletrônicos.

Este Trabalho de Conclusão de Curso é organizado em nove capítulos e se dedica a explorar a gestão sustentável de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) no contexto de cidades inteligentes.

O primeiro capítulo estabelece o propósito e a relevância da pesquisa, delineando os objetivos e a importância do estudo no contexto atual. O Capítulo 2 discute as bases teóricas relevantes, enfatizando a necessidade de reutilização e reciclagem de eletrônicos como práticas essenciais para uma gestão sustentável de REEE.

O Capítulo 3 aborda o descarte inadequado de aparelhos eletrônicos, destacando seus impactos ambientais e à saúde pública. O Capítulo 4, por sua vez, detalha os riscos associados à reciclagem informal, sublinhando as consequências para a saúde humana e para o meio ambiente. O Capítulo 5 explora as políticas internacionais e nacionais sobre REEE, com foco nas diferenças entre as abordagens da União

Europeia, Estados Unidos e Brasil, destacando a implementação da logística reversa no Brasil.

No Capítulo 6, a metodologia da pesquisa é minuciosamente descrita, explicando cada passo, desde a formulação da questão de pesquisa até a coleta e análise dos dados. O Capítulo 7 apresenta os resultados obtidos, evidenciando a participação limitada dos agentes envolvidos e as falhas na gestão de REEE.

O Capítulo 8, "Proposta de Metamodelo de Cidades Inteligentes", propõe um quadro teórico para a integração de tecnologias e práticas sustentáveis em cidades, oferecendo soluções para as lacunas identificadas. Este capítulo sugere abordagens para melhorar a gestão dos REEE, adequadas à realidade das cidades de Pernambuco e outras regiões.

Por fim, o Capítulo 9 resume as principais descobertas e contribuições do estudo, apontando direções futuras para pesquisa e prática. Discute-se também os desafios enfrentados durante a pesquisa e se propõem iniciativas futuras para aprimorar as políticas e práticas de logística reversa de REEE em ambientes urbanos.

Cada capítulo deste documento detalha aspectos distintos da pesquisa, ampliando a compreensão sobre a criação e implementação de metamodelos para cidades inteligentes, cobrindo desde teorias até suas aplicações práticas.

1.1 Justificativa

A escolha do tema para este estudo é justificada pela crescente preocupação global com os Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE), que representam significativos desafios ambientais e de saúde pública. A produção de REEE está em ascensão devido ao aumento do consumo de tecnologia e à rápida obsolescência dos dispositivos eletrônicos. Esses resíduos contêm substâncias tóxicas que, se não forem adequadamente manejadas, podem causar graves danos ao meio ambiente e à saúde humana.

Adicionalmente, o tratamento inadequado dos REEE contribui para a perda de materiais valiosos, como metais preciosos e raros, que poderiam ser reciclados e

reintroduzidos na cadeia produtiva, reduzindo a necessidade de extração de recursos naturais e diminuindo o impacto ambiental associado à mineração.

No contexto brasileiro, o trabalho proposto visa criar um Modelo de Cidade Inteligente para a logística e engenharia reversa de sucata eletrônica. Este modelo visa superar as limitações dos decretos governamentais brasileiros e das entidades de gestão privada, frequentemente isolados ou limitados a poucos domínios de uso. O metamodelo desenvolvido sobre gestão sustentável de REEE foi elaborado meticulosamente, integrando diferentes elementos para proporcionar uma estrutura abrangente e eficaz.

Neste contexto, o desenvolvimento de um quadro sustentável para o tratamento dos REEE em cidades inteligentes não apenas aborda esses riscos como também representa uma oportunidade de liderar inovações em gestão de resíduos. O foco em estratégias inovadoras e em cidades inteligentes é essencial para criar soluções que sejam escaláveis, adaptáveis e capazes de integrar tecnologia avançada, políticas eficazes e ação comunitária. Tais estratégias são cruciais para promover uma economia circular, maximizar a eficiência no uso de recursos e melhorar a qualidade de vida nas áreas urbanas.

Por isso, o estudo propõe um metamodelo que visa integrar diversos aspectos desde a coleta até o descarte ecologicamente correto dos REEE, alinhando-os com políticas de sustentabilidade e colaboração entre diferentes *stakeholders*, incluindo autoridades municipais, fabricantes de equipamentos e empresas de reciclagem. Esse enfoque integrado é fundamental para enfrentar os desafios associados ao aumento dos resíduos eletrônicos e para movimentar as cidades em direção à práticas mais sustentáveis de gestão de resíduos.

1.2 Objetivo Geral

Desenvolver um metamodelo para o tratamento sustentável de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) em contextos de Cidades Inteligentes, integrando políticas, tecnologia e ação comunitária para otimizar a gestão do ciclo de

vida do lixo eletrônico, desde a coleta até a reciclagem e descarte ecologicamente correto.

1.2.1 Objetivos específicos

- Analisar os desafios ambientais e de saúde apresentados pelo aumento do volume de REEE, considerando as substâncias tóxicas e os impactos associados ao descarte inadequado;
- Propor um quadro de engajamento de *stakeholders* que inclua autoridades municipais, fabricantes de eletrônicos e recicladores para melhorar as práticas de gestão de resíduos;
- Implementar técnicas avançadas de análise de dados para otimizar os processos de coleta, reciclagem e descarte de REEE;
- Avaliar a eficácia do metamodelo proposto na redução do volume de resíduos e na melhoria da utilização de recursos em um ambiente urbano;
- Adaptar o metamodelo para ser aplicável em diferentes contextos urbanos e estar preparado para a integração com novas tecnologias de gestão de resíduos.

Esses objetivos ajudarão a estruturar o estudo e a pesquisa, fornecendo um plano claro para abordar e mitigar os problemas associados ao lixo eletrônico em Cidades Inteligentes.

1.3 Organização do TCC

O conteúdo deste TCC está dividido em doze capítulos. As referências encontram-se nas páginas finais. A seguir, um resumo dos capítulos seguintes do TCC.

Capítulo 2 - Fundamentação Teórica: Este capítulo explora esforços globais para o desenvolvimento de tecnologias menos poluentes, focando na reutilização de dispositivos eletrônicos para reduzir impactos ambientais e prolongar a vida

útil dos aparelhos. Aborda também práticas de remanufatura, recondição, reparo e atualização como alternativas ao descarte.

Capítulo 3 - Descarte inadequado de aparelhos eletrônicos: Aterros e lixões:

Analisa as consequências do descarte inadequado de lixo eletrônico, destacando os riscos de contaminação ambiental e à saúde pública em aterros e lixões. Discute os impactos na qualidade da água, solo e saúde humana, exemplificando com situações de contaminação de alimentos e riscos de explosões devido à acumulação de gases.

Capítulo 4 - Os perigos da reciclagem informal:

Discute os riscos associados à reciclagem informal de eletrônicos, destacando a liberação de gases tóxicos e o perigo de explosões. Enfatiza a exposição dos trabalhadores a condições prejudiciais e os impactos ambientais resultantes, como contaminação de água e solo. Ressalta a necessidade de práticas de reciclagem mais seguras e regulamentadas para proteger a saúde e o meio ambiente.

Capítulo 5 - Políticas internacionais e nacionais sobre REEE:

Este capítulo compara as políticas de gestão de resíduos eletrônicos na União Europeia e nos Estados Unidos, destacando as diferenças em termos de regulamentação e eficácia. Também descreve as iniciativas brasileiras, como a implementação da logística reversa, enfatizando a responsabilidade compartilhada entre fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes na reciclagem de eletrônicos.

Capítulo 6 - Metodologia:

Explora a metodologia de pesquisa focada na análise da implementação da logística reversa para Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) no Brasil, detalhando as fases de coleta de dados, análise, documentação e comunicação dos resultados. A metodologia visa identificar desafios e práticas nas prefeituras e entre agentes da logística reversa para melhorar a gestão ambiental.

Capítulo 7 - Resultados:

Apresenta os resultados da pesquisa sobre a participação de comerciantes, cooperativas, distribuidores, fabricantes, importadores e pre-

feituas na logística reversa de REEE por região do Brasil. Destaca o baixo nível de resposta e participação de alguns grupos e a falta de iniciativas sustentáveis. Analisa a variação nas práticas de gestão de resíduos e na transparência entre diferentes regiões.

Capítulo 8 - Proposta de Metamodelo de Cidades Inteligentes: Propõe um metamodelo para a gestão integrada de resíduos eletrônicos em cidades inteligentes no Brasil. Apresenta estratégias como a taxaço de eletrônicos no momento da compra e o acompanhamento de *performance*, buscando melhorar a fiscalizaço e eficiência na reciclagem de REEE. O modelo sugere a criaço de uma entidade gestora pública financiada por taxas aplicadas aos fabricantes e um portal da transparência alinhado à Lei de Acesso à Informaço.

Capítulo 9 - Consideraçoes Finais: Reflete sobre a necessidade de integrar a gestão de resíduos eletrônicos em modelos de cidades inteligentes para uma abordagem mais sustentável e eficiente. Discute a importância de uma legislaço eficaz, a cooperaço entre os diferentes agentes envolvidos e propõe futuras açoes para garantir a eficácia da logística reversa e a proteço ambiental no Brasil.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Esforços globais estão concentrados no desenvolvimento de tecnologias que sejam menos poluentes, mais eficientes em termos de energia e economicamente acessíveis, com o objetivo de mitigar os impactos ambientais causados pelo descarte eletrônico. A reutilização de dispositivos eletrônicos é uma prática que contribui significativamente para estender a vida útil desses aparelhos e aumentar seus ciclos de produção, reduzindo assim os impactos negativos tanto no meio ambiente quanto na saúde humana.

Reutilização envolve o emprego de equipamentos eletrônicos completos ou de seus componentes para a mesma finalidade inicialmente prevista para eles. Esse processo permite que outro usuário compre, troque ou receba o dispositivo, promovendo economia de recursos naturais. Especificamente no contexto de equipamentos de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), reutilizar computadores demonstra ser mais eficiente em termos de energia do que reciclá-los (Computer Aid International, 2020). Notavelmente, 80% da energia consumida durante a vida útil de um computador pessoal é utilizada durante sua fabricação, antes mesmo de ser ativado pela primeira vez.

A reutilização de itens tecnológicos muitas vezes é evitada devido ao alto valor que a sociedade atribui à posse de tecnologia de ponta. Independentemente do status social ou econômico, há uma forte tendência entre as pessoas de adquirirem apenas as TVs ou smartphones mais recentes. Conseqüentemente, a vida útil média

de um computador novo reduziu-se de 6 anos para 4 anos em 1997. Prevê-se que essa expectativa tenha diminuído para apenas 2 anos em 2005, e essa tendência de redução está acelerando rapidamente (Khan et al., 2021)(Shakil et al., 2023).

Existem várias maneiras de lidar com dispositivos eletrônicos obsoletos (de Oliveira et al., 2023):

- **Remanufatura:** Este processo envolve a remoção de partes específicas de equipamentos eletrônicos descartados, que são posteriormente reutilizadas para criar novos artefatos. Em um contexto mais amplo, grandes quantidades de sucata eletrônica semelhante são coletadas em uma instalação central e meticulosamente desmontadas. As partes desmontadas são separadas por tipo, limpas, testadas e então encaminhadas para a linha de montagem, onde novos produtos são fabricados, podendo incorporar também novas peças conforme necessário.
- **Recondicionamento:** Este processo é necessário para restaurar um dispositivo eletrônico a uma condição específica. Envolve desmontar completamente a unidade para que todos os seus componentes possam ser testados e, se necessário, reparados ou substituídos para assegurar o funcionamento adequado do produto final.
- **Reparo:** Consiste em restaurar o funcionamento de um dispositivo eletrônico sem alterações significativas em seus componentes. Esta prática foca em corrigir defeitos específicos para retornar o dispositivo ao seu estado operacional original.
- **Atualização:** Este processo visa melhorar o desempenho ou aumentar a funcionalidade de um dispositivo eletrônico. Nos computadores *desktop*, por exemplo, é possível substituir ou atualizar componentes como processadores, placas de vídeo e memória RAM. No entanto, o design mais compacto e integrado dos *smartphones* frequentemente impede a atualização de partes individuais, limitando as possibilidades de melhoria pós-compra.

Como efeito colateral, os processos de remanufatura, recondição, reparo e atualização podem exigir a compra de novas partes e a contratação de mão de obra qualificada. Adicionalmente, necessitam de armazenamento adequado e consumo de eletricidade, entre outros recursos, o que pode reduzir sua eficiência ambiental.

Uma alternativa para o descarte de dispositivos eletrônicos obsoletos é o seu armazenamento. No entanto, com o avanço da Internet das Coisas (IoT), torna-se cada vez menos provável que dispositivos obsoletos sejam simplesmente armazenados. Prevê-se que, em breve, todos os móveis em residências e empresas sejam equipados com dispositivos eletrônicos com conectividade à internet, transformando objetos comuns como geladeiras e máquinas de lavar em aparelhos inteligentes capazes de realizar compras automaticamente para seus proprietários. Portanto, guardar sucata eletrônica equivale a preservar móveis antigos. Em 2011, a CISCO antecipou que até 2020 existiriam aproximadamente 50 bilhões de dispositivos conectados devido à expansão da Internet das Coisas (Cisco Systems, 2011).

A Internet das Coisas e a Quarta Revolução Industrial destacam a remanufatura e a reciclagem como as melhores práticas para o gerenciamento de dispositivos eletrônicos obsoletos. Quando implementadas adequadamente, essas técnicas permitem a reutilização de recursos naturais e previnem a contaminação do solo e das águas subterrâneas por resíduos tóxicos (Awogbemi et al., 2022). A reciclagem difere da reutilização pois, para que um dispositivo seja reciclado, ele deve ser desmontado até voltar ao estágio de matérias-primas e outros insumos, como energia e gás. Durante a reciclagem, metais valiosos como ouro, prata e cobre são extraídos dos dispositivos eletrônicos. Esse processo pode ser realizado com o auxílio de tecnologias como celulares ou computadores, e os materiais recuperados são posteriormente utilizados na fabricação de novos dispositivos eletrônicos avançados.

A reciclagem de eletrônicos de forma ambientalmente amigável é um processo complexo que requer o uso de máquinas sofisticadas e caras, que operam com mecanismos eletrostáticos, magnéticos, mecânicos e elétricos (Menad, 2016). Testes físicos e químicos são realizados em cada parte do lixo eletrônico para fragmentá-lo

em escalas muito pequenas e remover gases nocivos (Kaya, 2016). Atualmente, o Brasil não dispõe de incentivos fiscais para a importação de equipamentos ou para a reciclagem de eletrônicos, apesar da Quarta Revolução Industrial. Existem projetos de lei, como o 2909/11, que propõe incentivos fiscais para indústrias de reciclagem, mas alguns desses projetos falharam devido a atrasos na aprovação pelo Congresso Nacional.

O processo de reciclagem é considerado ambientalmente correto e exige a colaboração entre a planta de reciclagem, órgãos municipais, fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos elétricos e eletrônicos. Além disso, é recomendado que as prefeituras substituam lixões e aterros por centros de triagem, que coletam, manuseiam e transportam resíduos eletrônicos para a planta de reciclagem.

Descartar dispositivos eletrônicos em aterros ou lixões é a pior opção, pois esses locais não estão equipados para lidar com resíduos eletrônicos. Para evitar riscos, é recomendável proibir o aterramento de resíduos eletrônicos, pois substâncias tóxicas podem contaminar a água e representar riscos à saúde (Lin et al., 2022). Somente recentemente as pessoas começaram a reconhecer a importância de coletar e descartar resíduos sólidos mistos de forma sanitária (Letcher e Vallero, 2019). No passado, cidades desenvolvidas como Nova York descartavam a maior parte de seus resíduos em lixões, mas, desde o início da década de 1930, começaram a adotar melhores práticas de descarte. Em 1959, a Sociedade Americana de Engenheiros Civis (ASCE) publicou a primeira definição oficial de aterro sanitário (of Civil Engineers, 1959).

- **Lixões:** São buracos abertos e não regulamentados no solo, sem qualquer proteção ambiental.
- **Aterro controlado:** Compacta resíduos e utiliza material de cobertura diária, monitora águas superficiais e subterrâneas e conta com infraestrutura adequada.
- **Aterro sanitário:** Local onde o lixo é compactado e requer cobertura diária,

uma boa localização, infraestrutura apropriada, tratamento para chorume e gases, e um plano para após o seu fechamento.

Esta hierarquia de métodos de descarte ressalta a necessidade crítica de se adotar práticas mais sustentáveis na gestão de resíduos eletrônicos. As políticas públicas desempenham um papel fundamental nesse contexto, estabelecendo normas rigorosas e fornecendo orientações claras para a gestão ambientalmente responsável desses materiais.

2.1 Metamodelo de Cidades Inteligentes

Conceituar o termo *Cidades Inteligentes* não é algo trivial, haja vista a sua abrangência e dependência ao contexto que se encontra inserido. Embora o termo Cidades Inteligentes tenha múltiplas definições, é quase um consenso que se inclua o domínio relacionado ao meio ambiente. Em termos gerais, ao se falar em Cidades Inteligentes somos remetidos à ideia de otimização de recursos e entrega de melhores serviços públicos à população.

As Cidades Inteligentes são aquelas que monitoram e integram as condições de todas as suas infraestruturas críticas, incluindo estradas, pontes, túneis, ferrovias/metrô, aeroportos, portos marítimos, comunicações, água, energia, até grandes edifícios, pode otimizar melhor seus recursos, planejar suas atividades de manutenção preventiva e monitorar aspectos de segurança enquanto maximiza os serviços aos seus cidadãos.

O termo Cidades Inteligentes tem sido, cada vez mais, relacionado ao emprego eficiente de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs). Cidades Inteligentes seria uma ferramenta para melhorar a infraestrutura e serviços da cidade, consequentemente trazendo melhor qualidade de vida da sociedade em geral.

Com o desenvolvimento da Internet, tem sido cada vez mais instigante a criação de novas formas de gestão que possam auxiliar os gestores públicos em termos de investimento e tomadas de decisão. Levando isso em consideração, a utilização de

um metamodelo de Cidade Inteligente é uma ferramenta que pode ser utilizada para sistematizar e organizar melhores práticas governamentais.

Já ao que se refere a Metamodelos, pode-se dizer que é uma representação formal de um modelo que descreve, em termos abstratos, os processos, relações e estruturas fundamentais de um sistema. Como tal, ele fornece a base abstrata para a construção de modelos mais específicos de processos e relações, conhecidos como instâncias do metamodelo.

Considerando que a disposição ambientalmente correta de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) não pode ser negligenciada. Este trabalho visa criar um Modelo de Cidade Inteligente para a logística e engenharia reversa de sucata eletrônica no Brasil. O objetivo é superar as limitações dos decretos governamentais brasileiros e das entidades de gestão privada. Tais modelos frequentemente acabam se tornando iniciativas isoladas ou servem como histórias de sucesso para poucos domínios de uso. A aplicação do metamodelo proposto ajudará os gestores públicos a mitigar, prevenir e remediar os efeitos colaterais do descarte inadequado de sucata eletrônica.

O metamodelo desenvolvido sobre gestão sustentável de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) foi elaborado através de um processo meticuloso, integrando diferentes elementos para proporcionar uma estrutura abrangente e eficaz. As etapas abaixo foram usadas para criar o metamodelo:

Definição do Escopo e Objetivos: O primeiro passo foi definir claramente o escopo do metamodelo, focando na gestão sustentável de REEE em contextos urbanos, especialmente em Pernambuco. Os objetivos foram estabelecidos para incluir a redução da poluição ambiental causada pelo descarte inadequado e a promoção de práticas de reciclagem e remanufatura.

Revisão da Literatura e Análise de Políticas: Foi realizada uma revisão abrangente da literatura acadêmica e das políticas pertinentes, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos e normativas específicas de logística reversa. Esta etapa proporcionou um entendimento profundo das melhores práticas e regulamentações vigentes,

servindo como base teórica para o desenvolvimento do metamodelo.

Desenvolvimento de Modelos Analíticos: Com base nos dados coletados e nas melhores práticas identificadas, foram desenvolvidos modelos analíticos para simular diferentes cenários de gestão de REEE. Isso incluiu modelagem de fluxos de resíduos, análise de impacto ambiental e econômico, e previsão de demanda por serviços de reciclagem e remanufatura.

Integração de Tecnologias Sustentáveis: Considerando a inovação tecnológica como um componente essencial, o metamodelo incorporou tecnologias sustentáveis. Esta abordagem visa não apenas a eficiência na recuperação de materiais de REEE, mas também a minimização dos impactos ambientais e a promoção de práticas seguras e sustentáveis.

Capítulo 3

Descarte inadequado de aparelhos eletrônicos: Aterros e lixões

As pessoas estão em constante expansão do mundo procuram uma melhoria ou melhoria padrão de vida que, por sua vez, exige a aquisição de novos bens e o descarte dos antigos. Como a maior parte da população mundial é urbanizada, um volume cada vez maior de resíduo sólido misto é produzido. A maioria dos quais é eliminada em lixões e aterros sanitários. A necessidade de coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos mistos não era reconhecida até recentemente.

Mesmo em países ricos, o descarte incorreto de resíduos eletrônicos pode contaminar a água potável com substâncias químicas perigosas. Frequentemente, esses resíduos são misturados com o lixo sólido comum em países desenvolvidos como Austrália, Estados Unidos, Reino Unido e Canadá (Kiddee et al., 2014). Esta prática dificulta a separação de fontes pontuais de substâncias tóxicas. Além disso, a presença de metais e metaloides nas águas subterrâneas próximas a aterros na Austrália eleva os níveis de chumbo, alcançando valores quase quatro vezes maiores do que o limite estabelecido pelas diretrizes australianas para água potável (Kiddee et al., 2014).

Os resíduos eletrônicos em aterros e lixões estão prejudicando a agricultura. No Irã, a província do Azerbaijão Ocidental é uma área importante para a produção

de trigo, essencial para os residentes locais, com uma produção anual de 100.000 toneladas de trigo (Rezapour et al., 2022). Pesquisadores avaliaram um aterro nesta província, localizado a cerca de 20 km de Miandoab, que recebe diversos tipos de resíduos sólidos, incluindo resíduos domésticos, industriais, comerciais, hospitalares e de geração de energia (Abdulredha et al., 2020).

Antes da colheita do trigo, pesquisadores visitaram cada local impactado pelo chorume dos aterros. Em cada um desses locais, eles coletaram 50 grãos de trigo para análise. O propósito dessas análises era identificar os elementos presentes nos grãos e verificar a possibilidade de contaminação nas áreas agrícolas adjacentes. Eles descobriram que a concentração de chumbo nos grãos de trigo excedia os limites globais estabelecidos para segurança ambiental e alimentar (Rezapour et al., 2022).

Historicamente, o trigo sempre foi o alimento principal dos iranianos (Rezapour et al., 2022). Durante o Ramadã, há uma exigência religiosa de adotar uma dieta de água e trigo. Portanto, a contaminação do trigo pode impactar significativamente a maioria dos muçulmanos. Os humanos não têm mecanismos biológicos para processar substâncias não biodegradáveis, e a ingestão de metais e metaloides pode ser prejudicial à saúde em qualquer idade.

Em síntese, não devemos negligenciar o monitoramento ambiental devido à decomposição do lixo eletrônico, especialmente porque o aumento na fabricação e uso de dispositivos eletrônicos, motivado pelo desejo de acompanhar as atualizações tecnológicas, está exacerbando o problema. Além disso, é comum que esses dispositivos sejam descartados assim que expirar a garantia.

Após depositarem resíduos no aterro, o local é preenchido com nitrogênio e oxigênio nas mesmas proporções do ar ambiente. As partes orgânicas e putrescíveis se decompõem e as bactérias aeróbicas rapidamente transformam o oxigênio contido em dióxido de carbono CO_2 . O gás nos resíduos passa de um estado aeróbico para um anaeróbico, e as bactérias anaeróbicas começam a proliferar e produzir gás metano CH_4 .

O metano CH_4 presente nos aterros é inflamável, tornando os resíduos suscetíveis

à combustão espontânea. Além de asfixiante, o CH_4 pode causar explosões. Este gás é inodoro e queima sem produzir chama visível. Por ser mais leve que o ar, ao entrar em um edifício, formam verdadeiras "piscinas invertidas" dentro das estruturas.

Em um caso ocorrido na África do Sul, metano CH_4 vazou de um depósito de lixo eletrônico e escorreu por uma trincheira mal preenchida até o porão de um prédio próximo, onde se acumulou. Uma faísca elétrica, causada ao acender a luz do porão, desencadeou uma explosão que destruiu o edifício (Vallero e Blight, 2019).

No Brasil, um mesmo aterro controlado enfrentou incêndios por três anos consecutivos. Somente em 2020, o aterro esteve em chamas por quase 20 dias. Foi recomendada a suspensão do depósito de qualquer resíduo no local pelos próximos 30 dias. Os riscos ao meio ambiente e à saúde da população foram bem significativos. A recomendação inclui também a construção de uma cerca ao redor do aterro para prevenir acessos não autorizados. Relatórios de especialistas apontam para a presença de resíduos perigosos e não biodegradáveis no aterro, justificando a necessidade de medidas urgentes. A recorrência dos incêndios pode ser decorrente da decomposição de lixo eletrônico, evidenciando a urgente necessidade de soluções (of the State of Acre, 2018).

O descarte inadequado de lixo eletrônico pode ter consequências extremamente graves em países emergentes e subdesenvolvidos. Aterros recebem cerca de 40% do lixo mundial e atendem cerca de 3 a 4 bilhões de pessoas. África, América Latina e Ásia possuem os maiores números de lixões e aterros não planejados do mundo. Esses locais afetam a saúde de aproximadamente 64 milhões de pessoas e o meio ambiente (Vaccari et al., 2019a). Cerca de dois bilhões de pessoas não têm acesso à coleta de resíduos, e três bilhões não possuem disposição adequada de resíduos. A má gestão de resíduos provoca doenças, que resultam em cerca de nove milhões de mortes anualmente (Vaccari et al., 2019a).

Lixões a céu aberto e descontrolados causaram destruições significativas em países emergentes, incluindo danos à saúde pública e ambiental, bem como diversos desabamentos (Jayaweera et al., 2019). No Sri Lanka, existem mais de 260 depósitos



Figura 3.1: Colapso de aterro sanitário no Sri Lanka. Entre as causas prováveis, há a decomposição do lixo eletrônico.

de lixo de tamanhos variados à beira de desastres irreversíveis e irrecuperáveis. O lixão de Meethotamulla, em Colombo, desabou em 2017, afetando 418 famílias, causando a morte de 32 pessoas e a destruição de 27 casas, como mostrado na Figura 3.1. Entre as prováveis causas do desastre estava a decomposição do lixo eletrônico.

Os países emergentes e subdesenvolvidos enfrentam dois desafios com relação ao lixo eletrônico. O primeiro, de natureza desfavorável, relaciona-se às infraestruturas antigas para a gestão de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE). Muitos depósitos ainda não seguem os padrões estabelecidos pela Sociedade Americana de Engenheiros Civis (ASCE) desde 1959, resultando em áreas de descarte não conformes com buracos abertos não regulamentados, desprovidos de proteção ambiental. O segundo desafio diz respeito à mentalidade dos cidadãos desses países. Eles desejam usar dispositivos eletrônicos e acompanhar a tecnologia, assim como os cidadãos de Nova York, cuja cidade discute o controle de resíduos há mais de meio século.

Convencer um cidadão de uma nação emergente ou subdesenvolvida sobre os 5 Rs (repensar, recusar, reduzir, reutilizar e reciclar) é difícil. Incentivá-los a vislumbrar um futuro sustentável é indiscutivelmente desafiador. Essa missão requer um profundo conhecimento das realidades locais e a habilidade de explicar o valor real e intrínseco desses princípios. Também é crucial abordar necessidades específicas e nuances culturais. Isso promoverá uma mudança de mentalidade e a adoção de práticas sustentáveis de maneira profunda na comunidade.

Capítulo 4

Os perigos da reciclagem informal

O meio ambiente é tão importante quanto a economia criativa nas Cidades Inteligentes. Deve-se descartar produtos antigos de maneira que não prejudique o ambiente. O descarte incorreto de eletrônicos em aterros ou lixões pode prejudicar as futuras gerações. Conscientizar a sociedade e os catadores de materiais recicláveis sobre os gases nocivos liberados ao queimar dispositivos eletrônicos é de extrema importância, pois esses gases prejudicam a saúde humana e degradam o meio ambiente. O objetivo do projeto é aumentar a renda reciclando dispositivos eletrônicos de uma maneira que seja benéfica para o ambiente.

Os centros de reciclagem informais, apesar de suas boas intenções, podem ser tão prejudiciais quanto aterros ou lixões. As Figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 mostram isso; o método de extração de metais preciosos é frequentemente inadequado nesses centros e as pessoas costumam queimar dispositivos elétricos e eletrônicos para separá-los e obter materiais valiosos como ouro e cobre. Isso inclui cabos que conduzem eletricidade e placas de circuito impresso. As outras partes do dispositivo eletrônico derretem porque os metais preciosos têm pontos de fusão elevados. Ao final do processo, os metais valiosos permanecem em estado sólido. A queima de um único dispositivo eletrônico libera várias centenas de gases nocivos que podem afetar sua saúde (Gangwar et al., 2019).

Deve-se também observar que a queima de dispositivos eletrônicos em centros de reciclagem informais pode causar incêndios e/ou explosões por conta do processo

de combustão, que libera gases quando expostos ao calor. Os equipamentos utilizados nos processos de fusão incluem aros de pneus e equipamentos especializados denominados "fornos" de fusão. No centro de reciclagem, os trabalhadores utilizam esses dispositivos especializados para derreter componentes eletrônicos, uma prática que, se mal conduzida, pode resultar em desastres de proporções catastróficas. Além disso, centros de reciclagem que contam com mão de obra de baixa renda enfrentam desafios significativos para realizar um processo de reciclagem eficiente e seguro.

A reciclagem informal de produtos eletrônicos, muitas vezes, é realizada em condições precárias e sem a aplicação de práticas ambientalmente sustentáveis. Há a emissão de substâncias tóxicas devido à queima de componentes eletrônicos, como pentes de memória, para extrair metais preciosos, como o ouro, libera substâncias tóxicas, incluindo compostos orgânicos voláteis e metais pesados, no ar. Essas emissões podem contribuir para a poluição atmosférica e representar riscos significativos para a saúde respiratória das pessoas envolvidas e das comunidades circunvizinhas.

Os recicladores informais estão expostos a Metais Pesados, somado a isso, a manipulação inadequada de produtos eletrônicos durante o processo de reciclagem informal pode resultar na exposição a metais pesados, como mercúrio, chumbo e cádmio. A exposição prolongada a esses metais pode causar danos ao sistema nervoso, problemas renais, danos ao fígado e outros efeitos adversos à saúde. Outro grande risco é a contaminação do solo e da água, pois os resíduos gerados durante a reciclagem, incluindo a queima de componentes, podem contaminar o solo e a água circundante. Isso ocorre quando os poluentes são despejados inadequadamente ou quando há infiltração de substâncias tóxicas no solo, afetando a qualidade da água subterrânea.

A falta de proteção que os trabalhadores envolvidos na reciclagem informal estão submetidos, especialmente aqueles que realizam processos de queima sem proteção adequada, os deixam expostos a fumaças tóxicas. Essa exposição pode levar a problemas respiratórios, como irritação pulmonar e asma, além de possíveis problemas



Figura 4.1: a) Recicladores queimam partes de monitores ao ar livre em Gana.

dermatológicos. A contaminação resultante da reciclagem não afeta apenas os trabalhadores diretamente envolvidos, mas também as comunidades ao redor. A inalação de poluentes atmosféricos e a ingestão de água ou alimentos contaminados podem causar impactos significativos na saúde da população local.

Embora a reciclagem informal busque recuperar materiais valiosos, o processo muitas vezes é ineficiente e resulta em perda significativa de recursos. Além disso, a extração não controlada de metais preciosos pode levar à perda irreversível desses recursos. Para mitigar esses riscos, é essencial promover práticas de reciclagem seguras e sustentáveis, regulamentar adequadamente a gestão de resíduos eletrônicos e incentivar a implementação de sistemas formais de reciclagem. A conscientização sobre os perigos associados à reciclagem informal é crucial para desenvolver abordagens mais seguras e sustentáveis na gestão de resíduos eletrônicos.



Figura 4.2: b) Combustão de placa de circuito eletrônico para recuperação de metais utilizados na peça em Taizhou, China.



Figura 4.3: c) Após a combustão, separação manual dos fios de cobre de um circuito eletrônico em Nova Delhi, Índia.



Figura 4.4: d) Os resíduos provenientes dos processos de recuperação de metais contaminam lagos e rios. Na imagem, efluente do processo de dissolução do cobre em circuitos eletrônicos deságua em um rio em Taizhou. O processo utiliza ácido sulfúrico. Imagens retiradas do Laboratório Federal Suíço de Ciência e Tecnologia de Materiais (Empa).

Capítulo 5

Políticas internacionais e nacionais sobre REEE

Em todo o mundo, as pessoas enfrentam o desafio dos resíduos eletrônicos de diferentes maneiras. A União Europeia implementou legislação supranacional rigorosa para a gestão de resíduos eletrônicos, enquanto os Estados Unidos adotam uma abordagem mais fragmentada, baseando-se em iniciativas estaduais e voluntárias. Nos EUA, cerca de 20% dos resíduos eletrônicos são reciclados, e o restante frequentemente acaba em aterros, onde substâncias perigosas podem contaminar o ambiente (Kiddee et al., 2014). Além disso, uma parte significativa do lixo eletrônico americano é exportada para países em desenvolvimento, onde a reciclagem é feita informalmente, expondo os trabalhadores a condições insalubres e causando danos ambientais (Biedenkopf e Meckling, 2020).

A política federal de lixo eletrônico nos EUA é marcada por regulamentações insuficientes. A legislação nacional proíbe apenas parcialmente o descarte de certos eletrônicos em aterros e depende excessivamente de programas e normas voluntárias para preencher as lacunas (Biedenkopf e Meckling, 2020). Por exemplo, a lei da Califórnia introduziu uma taxa de recuperação antecipada que os consumidores pagam ao comprar dispositivos eletrônicos, representando um esforço subnacional para lidar com a gestão de resíduos eletrônicos, mas com um alcance limitado (Biedenkopf

e Meckling, 2020).

Nos Estados Unidos, a política de resíduos eletrônicos é fragmentada e ineficiente, com apenas 20% do lixo eletrônico sendo reciclado e a maior parte terminando em aterros onde pode contaminar o meio ambiente como foi dito anteriormente. A exportação substancial de lixo eletrônico para países em desenvolvimento complica ainda mais o cenário, expondo trabalhadores a condições adversas e causando grandes danos ambientais. Essa realidade destaca a necessidade urgente de uma abordagem mais unificada e abrangente para a gestão de resíduos eletrônicos nos EUA, incluindo regras federais mais rigorosas, incentivos para produtos facilmente recicláveis e aumento da conscientização pública, para assim aumentar as taxas de reciclagem e reduzir os impactos negativos do descarte de eletrônicos.

5.1 Políticas Brasileiras sobre REEE

O Brasil progrediu significativamente na gestão de resíduos eletrônicos com a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305) e o Decreto 10.240, que introduziu um sistema de logística reversa. Esse sistema abrange produtos elétricos e eletrônicos e seus componentes, obrigando fabricantes, importadores, distribuidores e varejistas a coletar e reciclar esses produtos ao fim de sua vida útil. O sistema tem como meta garantir a disposição ambientalmente adequada de 100% dos produtos coletados (do Brasil, 2010; do Brasil, 2020).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecida pela Lei número 12.305/2010, regula a gestão de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) no Brasil. A PNRS define princípios, objetivos e instrumentos para a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. Um elemento crucial da PNRS é a exigência do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), que deve ser elaborado por fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes. O PGRS detalha ações para o manejo adequado dos resíduos, incluindo estratégias de logística reversa para garantir a coleta, tratamento e reciclagem dos REEE de forma ambientalmente segura. A implementação efetiva do PGRS é vital

para minimizar impactos ambientais e proteger a saúde pública (do Brasil, 2010).

A logística reversa, conforme descrita na PNRS, exige a participação de toda a cadeia produtiva e a cooperação entre setor público e privado para alcançar a destinação correta dos REEE.

Até 2020, a meta nacional estabelecida era coletar e reciclar 1% dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) descartados, conforme deveria ser reportado ao Ministério do Meio Ambiente (do Brasil, 2020). Contudo, ainda não é claro se essa meta foi efetivamente alcançada. Em face dessa incerteza, o Ministério do Meio Ambiente foi questionado através da Lei de Acesso à Informação. Em resposta, o governo brasileiro sinalizou que o relatório poderá ser disponibilizado para a sociedade em uma data futura, mas não confirmou se o objetivo de 1% de coleta e reciclagem de REEE foi cumprido. Essa indefinição aumenta a dificuldade, em nível nacional, da implementação de metamodelos de Cidades Inteligentes. Para estabelecer metas futuras é essencial ter uma compreensão precisa dos indicadores atuais do problema. É necessário evitar atrasos, subnotificações, ocultações ou omissões de informações.

A segurança da informação na disposição de dispositivos eletrônicos é uma preocupação crescente. Existe uma necessidade cada vez maior de garantir a proteção dos dados pessoais antes do descarte. Nesse contexto, é crucial para o usuário comum esterilizar logicamente ou destruir fisicamente os dados. A esterilização lógica refere-se à remoção segura de informações usando *software* especializado que sobrescreve os dados e impede sua recuperação. A destruição física envolve destruir fisicamente o dispositivo de armazenamento, garantindo que os dados não possam ser recuperados fisicamente. Tais medidas são essenciais para prevenir o acesso não autorizado a informações sensíveis após o descarte. Além disso, sugere-se o uso de tecnologias compatíveis para a construção e desconstrução de dispositivos eletrônicos, o que pode reduzir o impacto ambiental e auxiliar na reciclagem (Coalition, 2020; Font et al., 2015).

Os órgãos municipais devem exigir e controlar a Logística Reversa dos dispo-

sitivos eletrônicos defasados (do Brasil, 2010). O histórico da Logística Reversa de aparelhos eletrônicos devem ser remetidos ao órgão municipal conforme oitavo parágrafo do artigo 33 da Lei 12.305 (do Brasil, 2010). Não é obrigação dos órgãos municipais a implementação da logística reversa do REEE. Seu papel é de fiscalização, embora ele possa assumir a execução do serviço de forma voluntária. A responsabilidade da logística reversa do REEE é compartilhada entre comerciante, distribuidor, importador e fabricante.

Quanto ao comerciantes, eles devem manter o órgão municipal atualizado com o histórico da Logística Reversa de aparelhos eletrônicos. Tendo em vista o artigo 33 da caput, inciso VI da Lei nº 12.305, o decreto nº 10.240 complementa a implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. Isso posto, os comerciantes são obrigados a cumprir a Logística reversa, possivelmente, por meio de entidades gestoras.

Para atender a essas exigências, os comerciantes têm a faculdade de adquirir aparelhos eletrônicos obsoletos por meio de diferentes modalidades, incluindo compra, aquisição ou devolução efetuada pelos clientes. Outra alternativa viável é a aquisição de dispositivos desatualizados por intermédio de cooperativas ou centros de reciclagem.

Os distribuidores têm as mesmas obrigações dos comerciantes. Por ser um sistema em cadeia, os distribuidores podem comprar os aparelhos eletrônicos obsoletos dos comerciantes. Também cabe aos distribuidores o custeio de espaços físicos para os pontos de consolidação a serem utilizados no sistema de logística reversa, observados os requisitos do manual operacional básico. Esta normativa está no parágrafo III do Art. 35 o decreto nº 10.240.

Os distribuidores compartilham as mesmas responsabilidades dos comerciantes nesse contexto. Dada a natureza encadeada do sistema, os distribuidores têm a capacidade de adquirir os aparelhos eletrônicos obsoletos provenientes dos comerciantes. Além disso, é incumbência dos distribuidores arcar com os custos associados à disponibilização de espaços físicos para os pontos de consolidação utilizados no

sistema de logística reversa, respeitando as diretrizes brasileiras estabelecidas. Essa regulamentação encontra-se detalhada no parágrafo III do Artigo 35 do Decreto nº 10.240

Os importadores partilham as mesmas responsabilidades que os comerciantes nesta estrutura. Em virtude da natureza encadeada do sistema, os distribuidores têm a competência de adquirir dispositivos eletrônicos obsoletos provenientes tanto de outros distribuidores quanto de comerciantes.

Os fabricantes partilham as mesmas responsabilidades que os comerciantes nesta estrutura. Em virtude da natureza encadeada do sistema, os fabricantes têm a competência de adquirir dispositivos eletrônicos obsoletos provenientes de importadores, distribuidores e comerciantes. Esse processo integrado evidencia a importância dos fabricantes como agentes chave na gestão de produtos eletrônicos em final de vida útil. A fabricante do aparelho eletrônico deve dar destinação final ambientalmente adequada, preferencialmente para reciclagem, a 100% dos produtos eletroeletrônicos que forem recebidos pelo sistema.

Apesar da Lei de número 12.305/2010 não atribuir explicitamente a responsabilidade direta à população, o papel dos cidadãos é fundamental para o sucesso da política e da logística reversa. A conscientização e a participação ativa da sociedade são essenciais para garantir a coleta seletiva e a correta destinação dos resíduos eletrônicos. A adesão e o engajamento da população ajudam a fomentar uma cultura de sustentabilidade e a pressionar as autoridades e empresas a cumprirem suas obrigações legais. Sem a colaboração cidadã, os mecanismos de logística reversa e gestão sustentável de REEE ficam comprometidos, dificultando a eficácia das políticas ambientais.

Capítulo 6

Metodologia

Os agentes envolvidos, incluindo fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de dispositivos eletrônicos, são frequentemente considerados negligentes em relação à Política Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil e ao decreto sobre a logística reversa de resíduos eletrônicos. Essa negligência em aderir às regulamentações, destaca um grande desafio e impede a adoção de práticas sustentáveis e responsáveis no ciclo de vida desses produtos, comprometendo os objetivos de uma gestão ambientalmente apropriada dos resíduos sólidos no país.

Adicionalmente, as prefeituras brasileiras não realizam uma fiscalização adequada dos agentes, que deveriam implementar a Política Nacional de Logística Reversa de Resíduos Eletrônicos. Esta falta de supervisão eficaz é uma lacuna que compromete a eficácia do sistema e resulta em desafios significativos para a gestão adequada e sustentável dos resíduos eletrônicos. A ausência de uma fiscalização rigorosa, por parte das autoridades locais, torna-se um obstáculo para o cumprimento das normas estabelecidas, dificultando assim a realização dos objetivos das legislações relevantes para a proteção do meio ambiente e a promoção da economia sustentável.

6.1 Metodologia de consulta aos órgãos públicos municipais

A Metodologia utilizada por esta pesquisa se encontra decomposta em 4 Fases: Coleta de Dados; Análise; Documentação e comunicação; Metamodelo de Cidades Inteligentes. Cada fase detalha a condução desta pesquisa. A Figura 6.1 apresenta o passo a passo executado nesta pesquisa: A seguir serão descritas em detalhes as fases e suas respectivas ações.

6.2 Fase: Coleta de Dados

Esta fase da metodologia é referente a coleta de dados para o desenvolvimento do presente trabalho. Aqui são listadas as ações relacionadas às solicitações de dados aos órgãos públicos. Esta ação é responsável por direcionar as solicitações relacionadas à fiscalização da logística reversa de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) pelas prefeituras. Para tanto, foram formalizadas requisições fundamentadas na Lei de Acesso à Informação (LAI) [7]. Os resultados, apresentando as respostas dos órgãos públicos, estão disponíveis para consulta na Seção 7. Essa abordagem visa fornecer transparência e acesso às informações relevantes, contribuindo para uma compreensão mais abrangente do cenário brasileiro da implementação da logística reversa de REEE.

Como critério, foram investigadas as prefeituras brasileiras com uma população superior a 200 mil habitantes. As solicitações foram enviadas através dos canais de Serviço de Informação ao Cidadão (SIC) dos portais ou, quando disponíveis, por meio dos Portais de Transparência. Grande parte das prefeituras não possuem portal da transparências. Nesses casos, o pedido de informações, baseado na Lei de Acesso à Informação (LAI), foi encaminhado aos e-mails institucionais das respectivas prefeituras. A Tabela 6.1 exibe o pedido padrão de informação às prefeituras.

Os agentes da logística da política nacional de resíduos sólidos também foram sabatinados. Fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes foram argui-

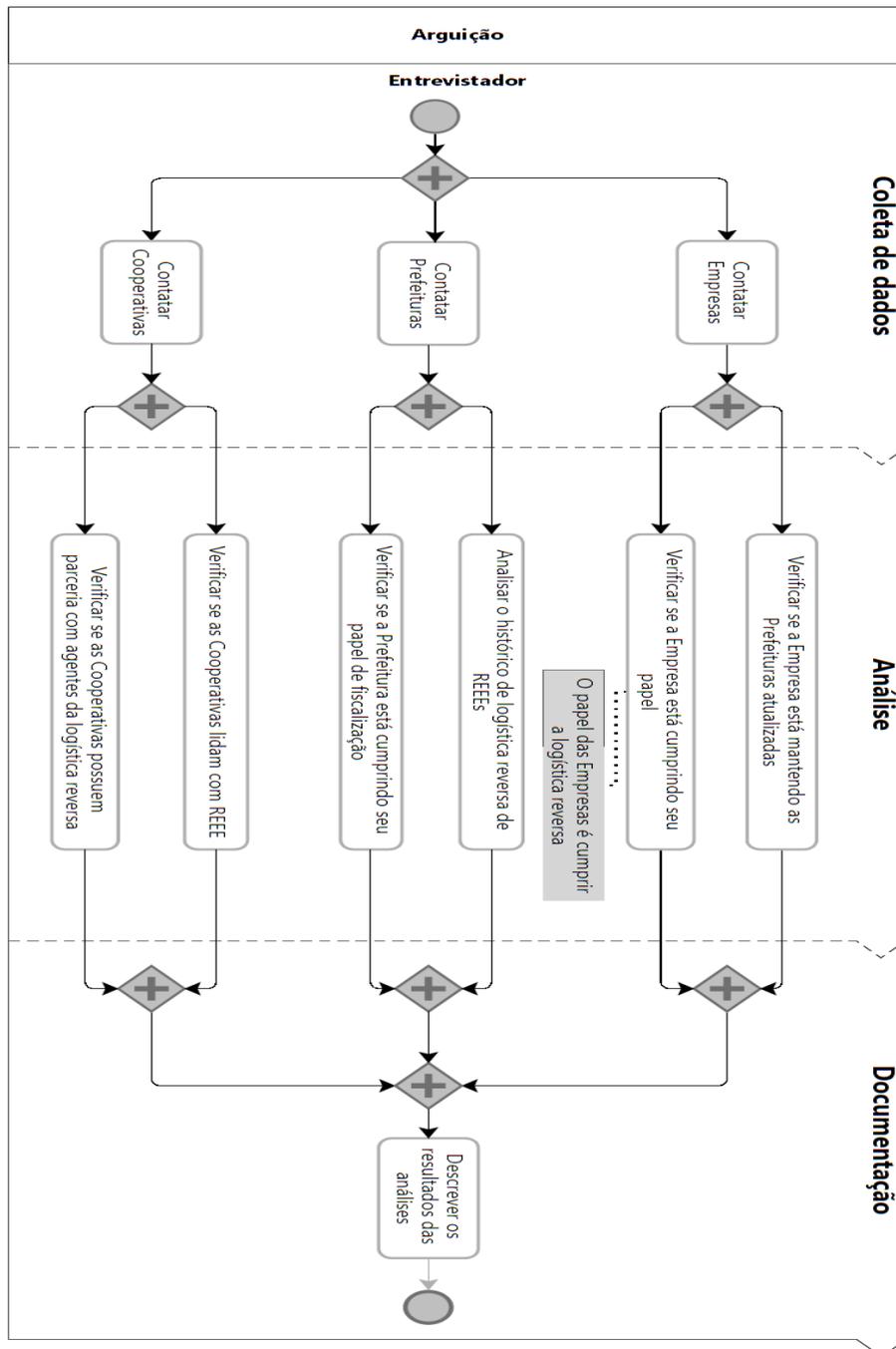


Figura 6.1: Metodologia de coleta e fonte de dados utilizada. (Fonte: o autor)

dos quanto às suas responsabilidades no cumprimento da logística reversa. Suas devidas responsabilidades estão descritas no capítulo 6. A sabatina seguiu a ordem de (1) portal de atendimento ao consumidor, (2) e-mail e (3) redes sociais.

Tabela 6.1: Arguição padrão do metamodelo autoral

O presente contato visa averiguar o cumprimento da Logística Reversa, especificamente, dos aparelhos eletrônicos. Diante de tal fato, o presente contato solicita o histórico da Logística Reversa de aparelhos eletrônicos comercializados pela empresa Norte de acordo com o artigo 33 da Lei 12.305 e com o decreto nº 10.240 (do Brasil, 2020). Isso posto, os agentes econômicos e sociais, a exemplo da empresa Norte, têm a obrigação de participar da logística reversa dos aparelhos eletrônicos comercializados após eles se tornarem defasados. Por esse motivo, o presente contato solicita o histórico da compra, aquisição ou devolução dos aparelhos eletrônicos obsoletos através das possíveis alternativas:

- Registro da compra e/ou aquisição da sucata eletrônica de alguma cooperativa/centro de reciclagem;
- Registro da compra e/ou aquisição da sucata eletrônica de algum comerciante;
- Devolução da sucata eletrônica a alguma fabricante;
- Devolução da sucata eletrônica a algum importador;
- Custeio de espaço físico visando a consolidação do sistema de logística reversa.

Por Registro, o presente contato denota:

- Dia da compra, aquisição ou devolução da sucata eletrônica.
- Quantidade de unidades contidas na sucata.
- Em caso de compra, valor pago pela sucata eletrônica.
- CNPJ do vendedor ou receptor da sucata. No caso do centro de reciclagem, substitui-se por CPF do responsável.

Tendo em vista o artigo 33 da caput, inciso VI da Lei nº 12.305, o decreto nº 10.240 complementa a implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. Isso posto, as distribuidoras são obrigadas a cumprir a Logística reversa, possivelmente, por meio de entidades gestoras. O presente contato, portanto, solicita saber:

- Contratação de entidade gestora visando operacionalizar o sistema de logística reversa.

Com exceção dos consumidores, todos os participantes dos sistemas de Logística Reversa manterão atualizadas e disponíveis ao órgão municipal competente e a outras autoridades informações completas sobre a realização das ações sob sua responsabilidade. Em síntese, o presente contato solicita, caso possível:

- Histórico da Logística Reversa de aparelhos eletrônicos remetido ao órgão municipal conforme oitavo parágrafo da Lei 12.305. Nesses termos, o presente contato estabelece um prazo de 10 (dez) dias úteis para a sua resposta. Caso haja necessidade, a empresa Norte pode solicitar uma extensão do prazo. O presente remete-se à disposição para maiores esclarecimentos.

6.3 Fase: Análise

A iniciativa inclui a análise de dados provenientes das solicitações enviadas aos órgãos municipais. Esta análise será abrangente e contemplará aspectos qualitativos e quantitativos. Além disso, realizaremos uma análise detalhada dos diversos agentes envolvidos na política de logística reversa de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE), incluindo fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes. O objetivo desse processo é fornecer um entendimento profundo sobre as práticas, obrigações e desafios enfrentados por esses agentes no contexto da gestão sustentável de resíduos eletrônicos.

6.4 Fase: Documentação e Comunicação

Esta etapa tem como propósito consolidar todas as respostas obtidas dos órgãos públicos, assim como os resultados provenientes dos agentes envolvidos na logística reversa de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) no contexto brasileiro. Ao reunir essas informações, busca-se sintetizar de forma abrangente o panorama atual, relacionado à implementação da logística reversa no país, considerando tanto a perspectiva dos entes públicos, quanto a atuação dos diversos agentes privados. Essa consolidação de dados é essencial para o desenvolvimento de uma análise completa e embasada, proporcionando *insights* valiosos sobre os desafios, eficácias e áreas de melhoria no cenário da gestão de resíduos eletrônicos.

Capítulo 7

Resultados

Os comerciantes, distribuidores, importadores e fabricantes brasileiros devem participar da logística reversa. As prefeituras supervisionam a logística reversa e também podem optar por participar. Da mesma forma, as cooperativas podem se envolver na logística reversa, mas isso não é obrigatório (do Brasil, 2010).

A seguir estão os resultados da pesquisa por região brasileira. Cooperativas e distribuidores não foram separados por região, pois operam em todo o país.

Caso alguém queira continuar nosso trabalho, basta fazer um *fork* do nosso projeto no site do GitHub (Lobo, 2024). O mesmo método pode ser usado por empresas eletrônicas que desejam se explicar sobre o resultado da arguição.

- **Comerciantes:**

Uma análise da participação dos 296 comerciantes, com base nas informações fornecidas, revela o seguinte:

- **Norte:** 0% responderam.
- **Sul:** 0,59% responderam. Dentre aqueles que responderam, não houve indicação de parcerias com prefeituras ou órgãos públicos, cooperativas ou iniciativas sustentáveis.
- **Nordeste:** 15,61% responderam. Dos que responderam, 19,87% têm parceria com uma cooperativa, 0,38% não possuem iniciativas sustentáveis,

59,87% recusaram participar da pesquisa e 19,87% pediram prorrogação do prazo.

- **Centro-Oeste:** 5,40% responderam. Entre os que responderam, 0% têm parceria com a cooperativa, 87,51% carecem de uma iniciativa sustentável, 12,49% realizam trocas com fornecedores.
- **Sudeste:** 0% responderam.

É notável que houve baixa participação das regiões Norte e Sudeste, o que pode indicar falta de interesse ou engajamento com o assunto da pesquisa.

No Nordeste e Centro-Oeste, a maioria não respondeu. No entanto, algumas respostas mostram preocupações específicas. No Nordeste, essas incluem a recusa em participar e pedidos de prorrogação de prazo. No Centro-Oeste, houve uma discussão relativa sobre a falta de iniciativas sustentáveis e outros problemas.

Em relação aos comerciantes, há um forte indício de falta de iniciativas sustentáveis. Nas regiões com respostas, poucos comerciantes relatam ter tais iniciativas ou parcerias. Isso sugere uma oportunidade para aumentar o engajamento em sustentabilidade.

• **Cooperativas:**

Ao analisar as respostas das 163 cooperativas participantes, verificou-se que aproximadamente apenas 4,91% das cooperativas responderam à tentativa de contato, enquanto cerca de 95,09% não responderam. Isso indica que a maioria das cooperativas não retornou a tentativa de contato, refletindo um baixo nível de engajamento ou resposta às solicitações feitas.

Uma análise das respostas fornecidas pelas cooperativas que responderam revelou o seguinte:

- 62,5% das cooperativas indicaram que apenas aceitam sucata eletrônica, mas não a processam.

- 25,0% das cooperativas afirmaram que aceitam e processam resíduos eletrônicos.
- 12,5% das cooperativas relataram que não aceitam sucata eletrônica.

Os resultados mostram a diversidade de abordagens das cooperativas em relação à sucata eletrônica. A maioria aceita os materiais sem processá-los, uma menor proporção de pessoas aceita e trata a sucata eletrônica, enquanto uma pequena porcentagem não a aceita.

- **Distribuidores:**

A análise das respostas dos 100 distribuidores que foram arguidos, com base nas informações fornecidas, revela o seguinte:

- Total e Porcentagem de Distribuidores que Não Responderam: 99 distribuidores, correspondendo a 99% do total.
- Total e Porcentagem de Distribuidores que Responderam: 1 distribuidor, correspondendo a 1% do total.

De acordo com as respostas dos distribuidores, apenas um respondeu. Eles disseram: "Recebemos seu e-mail, mas não sabemos do que se trata." Nota-se também que a maioria dos distribuidores não retornou a tentativa de contato, o que pode indicar falta de interesse ou engajamento com o tema da pesquisa.

- **Fabricantes:**

A análise qualitativa da participação dos 398 fabricantes arguidos, revela informações importantes sobre a participação e o tipo de engajamento dos fabricantes em diferentes regiões. Aqui estão os destaques da análise por região:

- **Norte:** 0% dos fabricantes responderam.
- **Nordeste:** 11,76% dos fabricantes responderam. Desses, 50% indicaram que possuem uma iniciativa sustentável, e 50% responderam que estavam totalmente desinformados sobre o assunto.

- **Sul:** 32,93% dos fabricantes responderam. Desses, 28% recusaram responder, 44% mostraram interesse mas não enviaram os dados a tempo, 16% responderam completamente fora do assunto, e 4% alegaram não produzir resíduos. 8% afirmaram cumprir com a logística reversa, mas não forneceram provas.
- **Sudeste:** 23,47% dos fabricantes responderam. Dentre esses, 1,75% indicaram parceria com uma prefeitura ou órgão público, 8,77% com uma cooperativa e 14,04% possuem uma iniciativa sustentável. 3,51% recusaram responder, 43,86% mostraram interesse mas não enviaram os dados a tempo, 24,56% responderam fora do assunto e 3,51% disseram que não produzem resíduos.

Esta análise regional mostra diferenças significativas no nível de resposta e no tipo de engajamento dos fabricantes nas diferentes regiões do Brasil. O Nordeste e o Sudeste mostram maior diversidade nas respostas, enquanto o Norte exibe uma falta total de engajamento. O Sul apresenta uma mistura de recusas, interesse sem ação concreta e algumas alegações de práticas sustentáveis.

- **Importadores:**

A análise qualitativa da participação dos 214 importadores nas diferentes regiões mostra os seguintes resultados:

- **Norte:** 1,15% responderam; Desses, 100% afirmaram praticar logística reversa.
- **Nordeste:** 1,55% responderam; desses, 86,54% afirmaram praticar logística reversa e 13,46% disseram que não importam dispositivos eletrônicos.
- **Centro-Oeste:** 1,01% responderam; desses, 100% afirmaram praticar logística reversa.
- **Sudeste:** 2,16% responderam. Desses, 42,11% afirmaram praticar logística reversa, 0,58% disseram que não. 34,50% afirmaram que não importam

eletrônicos e 22,81% disseram não ter responsabilidade sobre os dispositivos.

- **Sul:** 1,04% responderam. Desses, 88,24% afirmaram usar logística reversa. 5,88% disseram que não importam artefatos eletrônicos e 5,88% afirmaram não ser responsáveis pelos artefatos.

Esses resultados mostram variações significativas entre as regiões em termos das respostas recebidas dos importadores, refletindo diferenças nas práticas de logística reversa e percepções de responsabilidade sobre os artefatos eletrônicos importados.

- **Prefeituras:**

A análise inicial da participação das 89 Prefeituras nas solicitações, agrupadas por região, mostra que:

- **Norte:** 28,57% das Prefeituras responderam e 71,43% não responderam.
- **Nordeste:** 7,69% das Prefeituras responderam e 92,31% não responderam.
- **Centro-Oeste:** 16,67% das Prefeituras responderam e 83,33% não responderam.
- **Sudeste:** 42,86% das Prefeituras responderam e 57,14% não responderam.
- **Sul:** 42,86% das Prefeituras não responderam e 57,14% responderam.

Análise detalhada dos tipos de resposta (para as Prefeituras que responderam):

- **Norte:** 50% responderam na "Primeira instância" e 100% realizam logística reversa.
- **Nordeste:** 50% responderam na "Segunda instância" e 50% realizam logística reversa.

- **Centro-Oeste:** 100% responderam na "Primeira instância" e realizam logística reversa.
- **Sudeste:** 71,43% responderam na "Primeira instância", 19,05% na "Segunda instância", 9,52% na "Terceira instância", e 95,24% realizam logística reversa.
- **Sul:** 50% responderam na "Primeira instância", 16,67% na "Segunda instância", 33,33% na "Terceira instância", e 83,33% realizam logística reversa.

O envolvimento das Prefeituras com as solicitações varia bastante, não apenas em se elas respondem, mas também em quando escolhem se engajar. Algumas municipalidades respondem imediatamente, enquanto outras requerem que o processo avance para instâncias superiores.

As regiões que responderam destacam a logística reversa, mostrando um comprometimento com a reciclagem ou gestão de resíduos. Isso é especialmente notável no Centro-Oeste, Norte e Sul, onde 100% das Prefeituras que responderam afirmaram realizar logística reversa.

A maneira como as Prefeituras respondem a tais solicitações pode indicar suas prioridades, bem como suas capacidades operacionais e de recursos. Regiões com taxas de resposta mais altas podem estar mais comprometidas com a transparência e governança aberta, ou simplesmente possuem melhores sistemas para lidar com solicitações de informações.

Esta análise revela percepções importantes, mostrando como regiões e cidades no Brasil respondem às solicitações. Há diferenças notáveis em transparência, processos administrativos e compromissos ambientais.

Tabela 7.1: Classificação de algumas respostas dos agentes sobre logística reversa.

Categoria	Região Brasileira	Nome	Faz Logística?	Observações
Comerciantes	Centro-Oeste	CiaToy	Sim	- Equipamentos eletrônicos: troca com fornecedores - Lâmpadas, Baterias e materiais elétricos: descarte em locais específicos
Comerciantes	Nordeste	Suporte Hospitalar	Não	- Sem tempo para a logística reversa
Comerciantes	Nordeste	Reluz Iluminação	Interessado/Sem dados	- Solicitação de prorrogação de prazo
Comerciantes	Nordeste	Show de Luz	Não	- Reorganização interna, não contribuirão com a pesquisa
Cooperativas	Sudeste	Coopermiti	Sim	- Aceita e processa sucata eletrônica por meio de parceiros
Cooperativas	Sul	Reciclagem de eletrônicos Chapecó	Sim	- Aceita e processa sucata eletrônica por meio de parceiros
Cooperativas	Nordeste	Associação de catadores força de vida	Não	- Não aceita sucata eletrônica
Cooperativas	Sul	Zeitiz	Parcialmente	- Aceita sucata eletrônica, mas não a processa
Distribuidores	Sul	Pauta	Não	- Disseram não saber sobre o que se tratava o contato
Fabricantes	Nordeste	Moura	Sim	- Estrutura de logística reversa para baterias, reutilização 100%
Fabricantes	Sudeste	3M	Sim	- Disponibiliza informações sobre sustentabilidade e logística reversa online
Fabricantes	Sudeste	Advantech	Não	- Sem interesse em logística reversa
Fabricantes	Sudeste	Black & Decker	Interessado/Sem dados	- Encaminharam o pedido para o setor responsável, mas não houve respostas
Importadores	Sul	Cristofoli Equipamentos de Biossegurança Ltda.	Sim	- Cumpre com a logística reversa mesmo antes da Lei 12.305
Importadores	Nordeste	Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura	Não	- Produtos não são para comércio. Se declaram fora da logística reversa.
Importadores	Sul	Brazit	Interessado/Sem dados	- Pergunta como podem ajudar, mas sem retorno futuro
Importadores	Sudeste	Ingram Micro Brasil	Interessado/Sem dados	- Disseram que responderão quando possível, mas não houve contato
Prefeituras	Sul	Colombo	Não	- Trabalham em conjunto com o grupo R-20 para implementar a logística reversa, mas ainda não aplicaram
Prefeituras	Sudeste	São Carlos	Sim	- Coleta de eletrônicos através de sistemas de logística reversa, com dados sobre toneladas coletadas desde 2017

Capítulo 8

Proposta de Metamodelo de Cidades Inteligentes

A pesquisa identificou algumas falhas no tratamento de resíduos no Brasil. Esta seção visa apresentar um metamodelo para cidades inteligentes, focado na logística e engenharia reversa de sucata eletrônica no Brasil. Este desenvolvimento é motivado pela negligência. Os órgãos municipais falharam em supervisionar a logística reversa de REEE, o que destaca falhas na conformidade da estrutura municipal com a política brasileira de resíduos sólidos.

A Figura 8.1 ilustra os papéis de cada agente no processo de aplicação da Gestão Integrada dos REEE. Esses papéis representam Organizações Nacionais, que podem investigar, monitorar e lidar com a Política Nacional sobre logística reversa e tratamento de REEE. As conexões entre conceitos, com o auxílio de raciocinadores, possibilitam a dedução de resultados. Isso proporciona uma compreensão mais profunda da gestão de resíduos eletrônicos nos metamodelos de cidades inteligentes brasileiras.

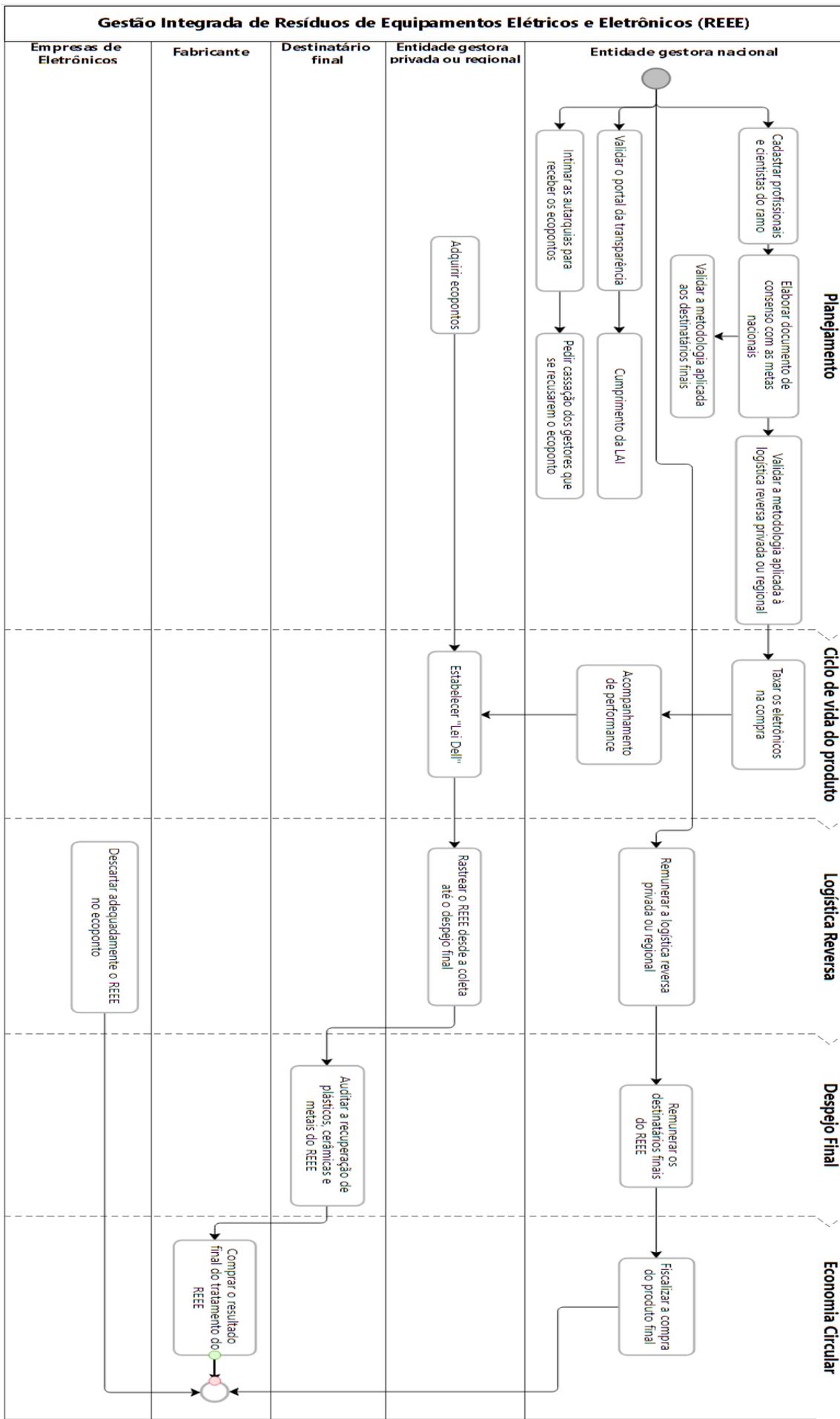


Figura 8.1: Gestão Integrada de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE)
(Fonte: autor)

8.1 Taxação de eletrônicos no momento da compra

Dentro do Metamodelo de Cidades Inteligentes, propõe-se a criação de uma entidade gestora pública no contexto brasileiro. Essa entidade, por sua vez, seria financiada através de uma taxa aplicada sobre dispositivos eletrônicos, no momento de sua aquisição junto aos fabricantes. Essa abordagem encontra inspiração na política nacional de resíduos eletrônicos do Japão, onde o custo pelo tratamento dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) é incorporado no momento da compra, ao invés de ser aplicado no momento do descarte.

A opção pela taxa exclusiva do fabricante se justifica pela ausência de acumulação de impostos no consumidor final. Caso a tributação fosse aplicada nos demais agentes da logística reversa compartilhada, como importadores, distribuidores e comerciantes, haveria o risco de sobrecarga fiscal para o consumidor no momento da aquisição do dispositivo. Essa abordagem visa simplificar o processo de tributação.

Cada fabricante de eletrônicos deveria obrigatoriamente estar vinculada a uma entidade gestora, no momento da obtenção de seu alvará de funcionamento. Seja a entidade gestora pública brasileira, seja alguma entidade gestora privada. Os resultados, discutidos na seção anterior, sugerem que uma parcela considerável das fabricantes, não possui associação com entidades gestoras de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE).

8.2 Acompanhamento de Performance

Destaca-se a importância de que as entidades gestoras privadas, forneçam informações financeiras e operacionais à entidade gestora pública brasileira. Nesse contexto, a entidade gestora pública brasileira assume também a responsabilidade de desempenhar o papel de acompanhamento de *performance*. Essa decisão decorre da constatação de que os grupos de acompanhamento de desempenho não estão de-

sempenhando adequadamente sua função fiscalizadora.

No Brasil, a meta nacional seria a coleta e reciclagem de 1% dos REEE descartados em 2020. O cumprimento da referida meta nacional deveria estar contido em um relatório disponibilizado ao Ministério Brasileiro do Meio Ambiente (REPÚBLICA, 2020). Os grupos de acompanhamento de *performance* deveriam dar subsídios e informações para o referido relatório. Os grupos de acompanhamento de *performance* deveriam receber informações das entidades gestoras privadas. Voluntariamente, os órgãos municipais também poderiam prover informações aos grupos de acompanhamento de *performance*.

Até a presente data, não se sabe se a meta de 1% foi alcançada. Diante da situação, houve uma consulta ao Ministério Brasileiro do Meio Ambiente com o uso da Lei Brasileira de Acesso à Informação. Como resposta, o governo brasileiro informou que em data futura o relatório poderá ser disponibilizado à sociedade, no entanto, não foi esclarecida se a meta de 1% de coleta e reciclagem dos REEE foi alcançada ¹.

No nosso metamodelo de Cidades Inteligentes, a responsabilidade da entidade gestora pública brasileira seria a recepção do cadastro de profissionais e cientistas especializados na área de eletrônica sustentável e mineração urbana. Uma vez concluído o cadastro, caberia à entidade gestora pública brasileira, organizar um evento em conjunto com as autoridades selecionadas.

O propósito principal deste evento seria a elaboração de um documento de consenso, contendo as normas e diretrizes que os destinatários finais dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEEs) devem seguir. Esse documento consolidaria as diretrizes a serem observadas pelos profissionais e cientistas envolvidos nesse campo, promovendo uma abordagem unificada e alinhada com as metas de sustentabilidade.

Na inspeção dos destinatários finais, a seleção dos especialistas inspetores seria feita de maneira aleatória e automática, visando evitar qualquer forma de perse-

¹Pedido de acesso de informação ao Ministério do Meio Ambiente: número de protocolo 02303.005448/2021-73

guição ou favorecimento a um destinatário final específico de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE). Adicionalmente, seriam automaticamente vedados quaisquer laços familiares, relações matrimoniais ou vínculos empregatícios entre os inspetores especialistas e os responsáveis pelo destino final dos REEE. Por laço familiar, denota-se parente em linha reta ou colateral, por consanguinidade ou por adoção, até o segundo grau.

A inspeção realizada pelos especialistas teria como objetivo verificar se os materiais e métodos adotados pelo destinatário final dos REEE são compatíveis com a complexidade envolvida na reciclagem de plásticos, cerâmicas e metais dos dispositivos eletrônicos.

Caso o destinatário final dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) seja desaprovado pelos inspetores especialistas, há a possibilidade de solicitar uma nova inspeção. Nesse cenário, a entidade gestora pública brasileira selecionará aleatoriamente um novo conjunto de inspetores especialistas. Se, novamente, o resultado for de reprovação, o destinatário final dos REEE estará sujeito a um Termo de Ajuste e Conduta (TAC) com um prazo fixo de 100 dias corridos. Após o término desse prazo, uma nova inspeção é conduzida. Em caso de nova reprovação, será necessário encerrar as atividades do destinatário final dos REEE. Essa abordagem busca promover a responsabilidade na gestão de resíduos eletrônicos.

Ao invés de se basear em resultados e iniciativas isoladas, a implementação de um acompanhamento de desempenho pela entidade gestora pública brasileira permitiria uma visão sistêmica e abrangente da situação do tratamento dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEEs) no Brasil.

A entidade gestora nacional também tem a obrigação de fiscalizar se os fabricantes de eletrônicos estão adquirindo os materiais resultantes da mineração urbana, que inclui metais, cerâmicas e plásticos do REEE. Devido a um possível lobby das empresas de mineração tradicional, pode ocorrer a recusa por parte dos fabricantes de eletrônicos em comprar os produtos oriundos da mineração urbana. O conceito de mineração urbana se baseia na ideia de que as cidades, com seu vasto acúmulo

de bens de consumo descartados, podem ser consideradas verdadeiras "minas urbanas" de recursos.

8.3 Portal da Transparência

De acordo com a Lei Brasileiro de Acesso à Informação, uma autarquia pública brasileira não pode ocultar, subnotificar ou forjar informação. A LAI estabelece que o processo de registro e resposta às solicitações de informação inicia com o atendente do órgão competente, que encaminha a solicitação para o setor apropriado, gerando um número de protocolo para acompanhamento pelo cidadão. O órgão público tem 20 dias, podendo prorrogar por mais 10, para responder. Se a resposta não atender à solicitação, o cidadão pode recorrer em primeira instância, sendo respondido em até 5 dias. Em caso de insatisfação, um recurso de segunda instância pode ser enviado, com resposta em 5 dias. Persistindo a insatisfação, um recurso de terceira instância pode ser direcionado ao Ministério Público Federal ou Estadual, que tomará as medidas necessárias para garantir uma resposta adequada, inclusive iniciando um processo administrativo contra o agente público, podendo levar à exoneração por improbidade administrativa.

Porém é notável que os portais das prefeituras apresentam incongruências em relação à Lei de Acesso à Informação (LAI) brasileira. A ausência de mecanismos que permitam ao cidadão recorrer em casos de informação negada pelos órgãos municipais destaca-se como uma lacuna evidente. Além disso, é preocupante observar que uma considerável parcela desses portais não atribui números de protocolo aos pedidos de informação, demonstrando uma falta de aderência aos procedimentos estabelecidos pela LAI. Essas questões comprometem a transparência e a eficácia do acesso à informação por parte da população.

Grande parte das prefeituras enfrenta problemas de comunicação, uma vez que grande parte dos telefones não está disponível para receber ligações, dificultando o contato direto com os órgãos municipais. Além disso, a situação se agrava, uma vez que muitos e-mails encontram-se com sua capacidade de armazenamento esgotada,

o que impede o recebimento e envio de mensagens eletrônicas. Essas dificuldades comprometem significativamente a acessibilidade e a eficácia dos meios de comunicação disponíveis para os cidadãos. Tais fatos comprometem significativamente o cumprimento da LAI em relação à coleta e tratamento do REEE no Brasil.

Conforme evidenciado pelos resultados obtidos, as prefeituras carecem das condições operacionais e técnicas mínimas necessárias para assumir a responsabilidade pelo cumprimento eficaz da política brasileira de resíduos eletrônicos. Essa constatação ressalta a necessidade imperativa de transferência de responsabilidade para uma entidade a nível de nação.

Existe uma urgente necessidade de transferir a responsabilidade para uma entidade nacional em detrimento das prefeituras. Adicionalmente, destaca-se a ascensão do movimento político de extrema direita, que frequentemente nega a importância da agenda ambiental. No contexto de um país inteiro, é mais comum encontrar líderes que tenham uma visão mais ampla, equilibrada e racional do que líderes com posições extremas que podem ser mais comuns em regiões específicas ou locais.

O movimento de extrema direita muitas vezes rejeita impactos ambientais evidentes, como o aquecimento global e a degradação da natureza causada pela intervenção humana. Mesmo diante de evidências nítidas, como o derretimento das calotas polares e as transmissões em tempo real da temperatura média global, alguns membros desse movimento persistem em negar a realidade atual. Essa postura destoa da crescente consciência ambiental e exige uma abordagem mais alinhada com os desafios ambientais contemporâneos.

A entidade gestora pública brasileira deve providenciar um portal da transparência que esteja plenamente alinhado com os princípios estabelecidos na Lei de Acesso à Informação Brasileira (LAI). Esse portal, além de refletir transparência e acessibilidade, deve garantir que a população tenha acesso fácil e eficaz às informações governamentais. A conformidade rigorosa com a LAI é essencial para promover a *accountability* e fortalecer a relação entre o poder público e os cidadãos, assegurando um ambiente em que a transparência, a operacionalidade e a prestação

de contas sejam priorizadas. Esse compromisso é fundamental para a construção de uma administração pública eficiente e confiável.

8.4 Lei Dell

No Artigo 53 do Decreto Brasileiro que regula a coleta e tratamento de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE), é estabelecido que os grupos de acompanhamento de desempenho devem registrar a porcentagem de REEE reciclados com base em seu peso em toneladas. Embora essa seja uma medida bem intencionada, sua aplicação pode ser facilmente burlável. A utilização de uma balança propositadamente descalibrada, por exemplo, poderia distorcer os resultados alcançados.

Por outro lado, o presente metamodelo de Cidades Inteligentes encontra inspiração na "Lei Dell", um princípio que orienta que qualquer resíduo eletrônico coletado pela Dell deve ser meticulosamente rastreado e documentado, desde a sua coleta até a disposição final, assegurando assim um processo auditável de reciclagem.

Seria responsabilidade da entidade gestora pública brasileira, implementar a instalação de um ecoponto (tambores específicos), em cada autarquia pública do governo nacional, abrangendo locais como escolas, universidades e unidades hospitalares. Cada ecoponto deveria ser equipado com tecnologia GPS, para possibilitar a geolocalização, garantindo assim o rastreamento eficiente da coleta desde a origem até o tratamento final dos resíduos.

De forma voluntária, órgãos públicos estaduais e municipais, assim como comerciantes, importadores e distribuidores de eletrônicos poderiam custear a aquisição de ecopontos junto à entidade gestora pública brasileira.

8.5 Penalidades

A recusa de um gestor de uma autarquia pública brasileira em receber um ecoponto, passa a ser considerada como um ato passível de cassação por improbidade

administrativa. Tal medida visa garantir a efetividade e responsabilidade na gestão pública, reforçando a importância do engajamento dos gestores na implementação de práticas sustentáveis, como a instalação de ecopontos, que desempenham um papel crucial na promoção da coleta seletiva e no manejo apropriado dos resíduos. O comprometimento dos gestores com iniciativas ambientais é fundamental para assegurar um desenvolvimento sustentável e uma administração pública responsável em relação às questões ambientais.

A vandalização do ecoponto não necessita de uma descrição específica de penalidade, uma vez que já existem leis cíveis e criminais que abordam a depredação do patrimônio público brasileiro. Essas leis oferecem um arcabouço legal sólido para tratar de atos de vandalismo, incluindo a destruição ou danificação de infraestruturas destinadas ao bem comum, como os ecopontos.

Uma penalidade, em forma de multa, é aplicada aos comerciantes, distribuidores e importadores que fizerem o descarte inadequado dos REEEs. Se todo o processo é auto-sustentável e taxado no momento da compra do eletrônico, o descarte inadequado dos REEEs por esses agentes seria uma atitude anti-civilizatória. Em caso de reincidência, pode-se aplicar o encerramento das referidas empresas.

Capítulo 9

Considerações Finais

Nesse estudo, foi explorada a importância de integrar modelos de cidades inteligentes para a gestão sustentável de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE). A crescente quantidade de REEE representa um desafio significativo para o meio ambiente e a saúde pública devido à presença de substâncias tóxicas, que podem levar a problemas de saúde e poluição ambiental, quando não são descartados de forma adequada.

A pesquisa visou desenvolver um quadro completo para o tratamento sustentável dos REEE, concentrando-se em cidades inteligentes e estratégias inovadoras de gestão de resíduos. Nossa abordagem multifacetada combinou análise de políticas, engajamento de partes interessadas e inovação tecnológica, com o objetivo de propor uma solução escalável e adaptável para os municípios.

Pesquisadores desenvolveram vários metamodelos para Cidades Inteligentes, com o objetivo de abordar diferentes indicadores socioeconômicos. A literatura acadêmica cria metamodelos para resolver problemas em diversas áreas, tanto em países desenvolvidos quanto em nações emergentes e subdesenvolvidas (AFONSO, 2017). Indicadores intrínsecos à garantia dos direitos humanos foram analisados, visando que tanto a sociedade quanto os gestores tenham uma ideia real do desenvolvimento de suas cidades.

Os metamodelos para Cidades Inteligentes devem propor estratégias de prevenção e remediação para os problemas abertos da sociedade, considerando também

os indicadores socioeconômicos das cidades. Nossas medidas focam nos centros de reciclagem informais, que desempenham um papel socioespacial crucial nos países emergentes. Esses centros estão ligados a comunidades de baixa renda, frequentemente mais suscetíveis à falta de direitos humanos. A aplicação do nosso metamodelo permitirá que indicadores inteligentes ajudem a mitigar, prevenir e remediar a poluição ambiental, causada pelo descarte inadequado de dispositivos eletrônicos em aterros sanitários e lixões. O modelo tem como objetivo mostrar como a ciência pode servir aos direitos humanos.

Esta proposta visa desempenhar um papel importante na verificação do cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (do Brasil, 2010)(do Brasil, 2020). O aumento da fabricação e do consumo de dispositivos eletrônicos motiva as pessoas, devido a um fenômeno na sociedade contemporânea chamado "acompanhar a tecnologia", além do surgimento da Quarta Revolução Industrial, especificamente a Internet das Coisas. O descarte inadequado de resíduos eletrônicos pode acelerar a degradação da qualidade de vida da sociedade.

Este projeto estabelece processos para a remanufatura de resíduos eletrônicos. A proposta também visa implementar a engenharia reversa biometalúrgica em Pernambuco, em vez da engenharia reversa convencional. O processo biometalúrgico consiste em usar micro-organismos para recuperar materiais de resíduos eletrônicos. A comunidade científica acredita que a biometalúrgica é muito promissora entre os processos metalúrgicos, devido a vários fatores, um deles sendo os riscos mínimos à segurança ocupacional. O metamodelo criado, permite que as cidades sejam um "locus privilegiado" para encontrar formas de reconciliar pessoas e natureza.

9.1 Limitações do estudo

Durante a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso, que se propôs a investigar a logística reversa dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (RE-EEs), enfrentamos diversas limitações e dificuldades que impactaram o andamento da pesquisa e a coleta de dados. As principais limitações encontradas foram:

- **Falta de Respostas dos Agentes da Logística Reversa:** A maior parte dos agentes responsáveis pela logística reversa, incluindo fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, não respondeu aos nossos contatos. Tentamos estabelecer comunicação por diversos meios, como e-mail e telefone, mas obtivemos um retorno mínimo ou inexistente. Essa falta de cooperação dificultou significativamente a obtenção de dados relevantes e detalhados sobre as práticas de logística reversa e o cumprimento das obrigações legais por parte desses agentes.
- **Deficiências nos Mecanismos de Transparência e Acesso à Informação:** Os sites das prefeituras, em sua grande maioria, não possuem mecanismos adequados para garantir o cumprimento da Lei de Acesso à Informação (Lei nº 12.527/2011). A falta de ferramentas intuitivas e funcionais nos portais de transparência impede que cidadãos e pesquisadores obtenham informações essenciais sobre a gestão de REEEs e a fiscalização das políticas de logística reversa.
- **Dificuldades de Comunicação com as Prefeituras:** Tivemos grande dificuldade em estabelecer comunicação direta com as prefeituras. As ligações telefônicas muitas vezes não foram atendidas, e-mails não foram respondidos, e, em muitos casos, as caixas de e-mail estavam lotadas ou inativas. A ausência de canais de comunicação eficientes e responsivos compromete a possibilidade de obter informações precisas e atualizadas diretamente das autoridades municipais.

As dificuldades encontradas ao longo desta pesquisa revelam uma série de desafios estruturais e operacionais que comprometem a efetividade da logística reversa de REEEs no Brasil. A falta de respostas dos agentes envolvidos, a ausência de fiscalização municipal, e as deficiências nos mecanismos de acesso à informação destacam a necessidade urgente de melhorias significativas nesses processos. Essas barreiras evidenciam a importância de um engajamento mais ativo dos agentes responsáveis e das autoridades públicas para assegurar a adequada gestão dos resíduos eletrônicos

e a proteção do meio ambiente.

9.2 Encaminhamentos

Diante dos resultados apresentados, há evidências quanto ao não cumprimento das obrigações de logística reversa pelos agentes responsáveis; fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes. Adicionalmente, há a falta de fiscalização efetiva por parte das prefeituras. Diante disso, propõe-se uma série de ações futuras para amplificar o impacto desta pesquisa e fomentar mudanças significativas.

- Encaminhamento ao Ministério Público: O primeiro passo será enviar este TCC ao Ministério Público. O objetivo é que os promotores tomem ciência das irregularidades identificadas e possam iniciar investigações ou procedimentos para garantir que os responsáveis cumpram suas obrigações legais. A denúncia fundamentada no TCC pode servir de base para a abertura de inquéritos civis ou outras ações judiciais pertinentes.
- Comunicação às Prefeituras: Será enviada uma cópia do TCC às prefeituras envolvidas, destacando a necessidade urgente de uma fiscalização mais rigorosa e a implementação de políticas públicas eficazes para a gestão dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEEs). Espera-se que, com essas informações, as prefeituras possam desenvolver e aplicar estratégias mais eficientes para a logística reversa.
- Contato com Diretórios de Partidos Políticos: Para sensibilizar os representantes políticos e fomentar a criação de legislação mais robusta e adequada, este TCC será também encaminhado aos diretórios dos principais partidos políticos. A intenção é estimular o debate sobre a importância da logística reversa e a criação de debates que garantam sua efetividade, além de promover o acompanhamento e a fiscalização dessas políticas.

- **Envolvimento de Órgãos da Sociedade Organizada:** Organizações da sociedade civil, como a Ordem dos Advogados do Brasil (OAB), também receberão este TCC. A OAB, por sua relevância e capacidade de mobilização, pode atuar como um importante parceiro na divulgação dos resultados desta pesquisa e na promoção de ações que busquem resolver os problemas identificados. Outras entidades e ONGs ligadas ao meio ambiente e à gestão de resíduos também serão informadas, com o intuito de criar uma rede de apoio e pressão para mudanças efetivas.
- **Sensibilização da Sociedade:** Por fim, os resultados deste TCC serão amplamente divulgados para a sociedade em geral, utilizando meios de comunicação diversos como redes sociais, *blogs* especializados, e apresentações em eventos e conferências. A conscientização da população é fundamental para a formação de uma opinião pública informada e engajada, que pode cobrar ações mais efetivas de seus representantes e colaborar na fiscalização e na prática correta da logística reversa.

A implementação das ações propostas visa transformar os resultados deste TCC em instrumentos de mudança concreta. Ao envolver diferentes esferas da sociedade, desde órgãos governamentais até entidades civis, esperamos contribuir para a melhoria do sistema de logística reversa de REEEs no Brasil, garantindo um futuro mais sustentável e responsável.

Referências

- ABDI (2013). *Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial - Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos – Análise de Viabilidade Técnica e Econômica*. Editora Inventta, Brasil.
- Abdulredha, M., Kot, P., Al Khaddar, R., Jordan, D., e Abdulridha, A. (2020). Investigating municipal solid waste management system performance during the arba'een event in the city of kerbala, iraq. *Environment, Development and Sustainability*, 22:1431–1454.
- AFONSO, R. A. (2017). Smartcluster: a metamodel of indicators for smart and human cities.
- Akram, R., Natasha, Fahad, S., Hashmi, M. Z., Wahid, A., Adnan, M., Mubeen, M., Khan, N., Rehmani, M. I. A., Awais, M., et al. (2019). Trends of electronic waste pollution and its impact on the global environment and ecosystem. *Environmental Science and Pollution Research*, 26:16923–16938.
- Awogbemi, O., Kallon, D. V. V., e Bello, K. A. (2022). Resource recycling with the aim of achieving zero-waste manufacturing. *Sustainability*, 14(8):4503.
- Biedenkopf, K. e Meckling, J. (2020). E-waste policies in the united states and the eu: A comparative analysis. *Journal of Environmental Policy Planning*, 22(5):648–661.
- Brasil (2011). Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011 (lei em português). Regulamenta o acesso a informações previsto no inciso XXXIII do art. 5º, no inciso II do § 3º do art. 37 e no § 2º do art. 216 da Constituição Federal; altera a Lei Nº 8.112, de 11 de dezembro de 1990; revoga a Lei Nº 11.111, de 5 de maio de 2005, e dispositivos da Lei Nº 8.159, de 8 de janeiro de 1991; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12527.htm. Acesso em: 03/11/2024.
- Cisco Systems, I. (2011). Internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything.

Coalition, E. T. (2020). Why reuse is better than recycling.

Computer Aid International (2020). Why reuse is better than recycling. Acesso em 2020.

de Oliveira, A. P., da Silva, C. V. J., Ribeiro, F. D. L. M., Batista, F. H., e Cavalcante, M. W. S. (2023). Descarte consciente do lixo eletrônico. *Revista Encontros Científicos UniVS— ISSN: 2595-959X—*, 5(2).

do Brasil, R. F. (2010). Política nacional de resíduos sólidos. Lei N° 12.305.

do Brasil, R. F. (2020). Decreto sobre o sistema de logística reversa para produtos eletrônicos. Decreto N° 10.240.

dos Santos, M. P., Aldaya, I., Cardozo-Filho, L., Penchel, R. A., Espinosa, D. C. R., e de Oliveira, J. A. (2023). *Electronic Waste Appreciation—Strategies Targeting the Circular Economy*, páginas 105–131. Springer International Publishing, Cham.

Font, F. et al. (2015). Developing a sustainable electronics recycling system. *Journal of Cleaner Production*, 105:74–83.

Gangwar, C., Choudhari, R., Chauhan, A., Kumar, A., Singh, A., e Tripathi, A. (2019). Assessment of air pollution caused by illegal e-waste burning to evaluate the human health risk. *Environment international*, 125:191–199.

Jayaweera, M., Gunawardana, B., Gunawardana, M., Karunawardena, A., Dias, V., Premasiri, S., Dissanayake, J., Manatunge, J., Wijeratne, N., Karunarathne, D., et al. (2019). Management of municipal solid waste open dumps immediately after the collapse: An integrated approach from meethotamulla open dump, sri lanka. *Waste Management*, 95:227–240.

Kaya, M. (2016). Recovery of metals from electronic waste by physical and chemical recycling processes. *International Journal of Chemical and Molecular Engineering*, 10(2):259–270.

Khan, J., Kumar, A., Giri, A., Pal, D. B., Tripathi, A., e Giri, D. D. (2021). Impact of electronic waste pollutants on underground water. *Groundwater Geochemistry: Pollution and Remediation Methods*, páginas 265–281.

Kiddee, P., Naidu, R., Wong, M. H., Hearn, L., e Muller, J. F. (2014). Field investigation of the quality of fresh and aged leachates from selected landfills receiving e-waste in an arid climate. *Waste management*, 34(11):2292–2304.

- Letcher, T. e Vallero, D. A. (2019). *Waste: A handbook for management*. Academic Press.
- Lin, S., Ali, M. U., Zheng, C., Cai, Z., e Wong, M. H. (2022). Toxic chemicals from uncontrolled e-waste recycling: Exposure, body burden, health impact. *Journal of Hazardous Materials*, 426:127792.
- Lobo, V. F. R. (2024). Github sheets. Accessed: 2024-05-29.
- Menad, N.-E. (2016). Physical separation processes in waste electrical and electronic equipment recycling. In *WEEE Recycling*, páginas 53–74. Elsevier.
- of Civil Engineers, A. S. (1959). *Sanitary Landfill Manual of Practice*. ASCE, New York.
- of the State of Acre, P. P. O. (2018). Implementation of landfill closure measures in the state of acre.
- Ohajinwa, C. M., van Bodegom, P. M., Vijver, M. G., e Peijnenburg, W. J. (2018). Impact of informal electronic waste recycling on metal concentrations in soils and dusts. *Environmental research*, 164:385–394.
- Rezapour, S., Siavash Moghaddam, S., Jalil, H., e Sayyed, R. (2022). An analysis of bioaccumulation, phytotranslocation, and health risk potential of soil cadmium released from waste leachate on a calcareous–semiarid transect. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(7):5957–5968.
- Sahajwalla, V. e Gaikwad, V. (2018). The present and future of e-waste plastics recycling. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13:102–107.
- Shakil, S., Arooj, A., Fatima, S., e Sadeq, Y. (2023). Geochemical distribution and environmental risk assessment of trace metals in groundwater released from e-waste management activities in lahore, pakistan. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(6):3699–3714.
- Shittu, O. S., Williams, I. D., e Shaw, P. J. (2021). Global e-waste management: Can weee make a difference? a review of e-waste trends, legislation, contemporary issues and future challenges. *Waste Management*, 120:549–563.
- Vaccari, M., Tudor, T., e Vinti, G. (2019a). Characteristics of leachate from landfills and dumpsites in asia, africa and latin america: an overview. *Waste Management*, 95:416–431.

Vaccari, M., Vinti, G., Cesaro, A., Belgiorno, V., Salhofer, S., Dias, M. I., e Jandric, A. (2019b). Weee treatment in developing countries: Environmental pollution and health consequences—an overview. *International journal of environmental research and public health*, 16(9):1595.

Vallero, D. e Blight, G. (2019). *The Municipal Landfill*.