

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE
DO NORTE

EVANTUY DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA DIDÁTICA PARA A GESTÃO
SUSTENTÁVEL DE RESÍDUO DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS**

NATAL

2024

EVANTUY DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS DIDÁTICAS PARA A GESTÃO
SUSTENTÁVEL DE RESÍDUO DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais (PPgUSRN) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, na Linha de Sustentabilidade e Gestão dos Recursos Naturais, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Dr. Leandro Silva Costa.

NATAL

2024

Oliveira, Evantuy de.
O48d Desenvolvimento de ferramenta didática para a gestão sustentável de resíduo de equipamentos eletroeletrônicos / Evantuy de Oliveira. – 2024.
148 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2024.
Orientador(a): Dr. Leandro Silva Costa.

1. Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos – Sustentabilidade. 2. Gestão responsável - Obsolescência. 3. Direito ao reparo. I. Título.

CDU: 502:37

EVANTUY DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS DIDÁTICAS PARA A GESTÃO
SUSTENTÁVEL DE RESÍDUO DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais (PPgUSRN) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, na Linha de Sustentabilidade e Gestão dos Recursos Naturais, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Trabalho de Dissertação aprovado em 24 / 10 / 2024 pela seguinte Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **LEANDRO SILVA COSTA**
Data: 10/12/2024 09:05:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Leandro Silva Costa, Dr. – Orientador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Documento assinado digitalmente
 **REGIA LUCIA LOPES**
Data: 04/12/2024 18:36:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Régia Lúcia Lopes, Dra.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Documento assinado digitalmente
 **PABLO DE CASTRO SANTOS**
Data: 06/12/2024 18:01:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Pablo de Castro Santos, Dr.

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Dedico este trabalho à minha mãe, Adenilde Inácio, cujo amor, apoio e sabedoria foram fundamentais para a realização deste sonho.

Sua força e dedicação sempre me inspiraram a seguir em frente, mesmo nos momentos mais desafiadores.

A você, minha eterna gratidão.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Leandro Silva Costa, pela motivação, parceria, ensino, disponibilidade e excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Régia Lúcia Lopes e Pablo de Castro Santos pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais, que agregaram de forma humana diversos novos conhecimentos, como a escrita de diversos tipos de publicações, reciclagem, compostagem, arborização, mineração sustentável, planejamento urbano sustentável, entre outros.

Aos colegas da turma do curso, pela motivação, sugestões e, principalmente, pelas parcerias nos trabalhos e publicações.

[...]O que acontece com a Terra acontece com todos os filhos da Terra. Isso nós sabemos: a Terra não pertence ao homem, o homem pertence à Terra. Todas as coisas estão conectadas como o sangue que nos une a todos. O homem não teceu a teia da vida, ele é apenas um fio dela. O que quer que ele faça com a teia, ele faz a si mesmo (Seattle, 1854, tradução nossa ¹).

¹ No original: [...]What befalls the earth befalls all the sons of the earth. This we know: the earth does not belong to man, man belongs to the earth. All things are connected like the blood that unites us all. Man did not weave the web of life, he is merely a strand in it. Whatever he does to the web, he does to himself.

RESUMO

A crescente produção de equipamentos eletroeletrônicos, que se tornam obsoletos rapidamente, gera resíduos perigosos que necessitam de uma gestão adequada e de uma desaceleração na sua produção. O tema desta dissertação é o desenvolvimento de ferramentas didáticas para a gestão sustentável de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE). O objetivo principal deste trabalho é promover a gestão sustentável dos REEE através do desenvolvimento de ferramentas didáticas que sensibilizem e capacitem indivíduos nos princípios da economia circular. Para alcançar este objetivo, foram definidos três objetivos secundários: revisão sistemática, caracterização dos equipamentos e desenvolvimento de um manual. A metodologia adotada é de caráter descritivo, com a criação de um manual de natureza aplicada e qualitativa. O procedimento técnico incluiu pesquisa bibliográfica e o uso de métodos descritivos e experimentais na construção dos manuais, além da coleta experimental de medidas elétricas e de imagens realizadas no laboratório de manutenção de computadores do IFRN campus Canguaretama. Os resultados indicam que a obsolescência é um fator impulsionador da geração de REEE. O movimento pelo direito ao reparo se mostrou um aliado importante na redução da produção desses resíduos, e o manual de reparo e conservação desenvolvido contribuiu significativamente para essa redução. Conclui-se que ferramentas didáticas para a sensibilização ambiental e o aprendizado de técnicas de conservação e reparação podem combater a obsolescência e reduzir a produção de resíduos. Espera-se que este trabalho tenha um impacto positivo tanto social quanto ambiental, promovendo economia financeira ao prolongar a vida útil dos equipamentos e reduzindo a necessidade de extração de matéria-prima, preservando os ecossistemas.

Palavras-chave: Direito ao Reparo; Sustentabilidade; Obsolescência; Reparo; Redução.

ABSTRACT

The increasing production of electronic equipment, which quickly becomes obsolete, generates hazardous waste that requires proper management and a slowdown in its production. This dissertation focuses on the development of educational tools for the sustainable management of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). The main objective of this work is to promote the sustainable management of WEEE through the development of educational tools that raise awareness and train individuals in the principles of the circular economy. To achieve this goal, three secondary objectives were defined: systematic review, equipment characterization, and manual development. The methodology adopted is descriptive, involving the creation of an applied and qualitative manual. The technical procedure included bibliographic research and the use of descriptive and experimental methods in the construction of the manuals, as well as the experimental collection of electrical measurements and images conducted in the computer maintenance laboratory at IFRN Canguaretama campus. The results indicate that obsolescence is a driving factor in the generation of WEEE. The right-to-repair movement has proven to be an important ally in reducing the production of this waste, and the developed repair and conservation manual significantly contributes to this reduction. It is concluded that educational tools for environmental awareness and the learning of conservation and repair techniques can combat obsolescence and reduce waste production. This work is expected to have a positive social and environmental impact, promoting financial savings by extending the lifespan of equipment and reducing the need for raw material extraction, thus preserving ecosystems.

Keywords: Right to Repair; Sustainability; Obsolescence; Repair; Reduction..

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|--------------|--|----|
| Quadro 1 | – Danos à saúde e potencial de poluição ambiental dos REEE..... | 19 |
| Quadro 2 | – Síntese dos tipos de obsolescência..... | 22 |
| Quadro 3 | – Técnica utilizada para sistematizar as revisões 1..... | 27 |
| Quadro 4 | – Técnica utilizada para sistematizar as revisões 2..... | 28 |
| Quadro 5 | – Classificação dos REEE pela Diretiva Europeia 2012/19/EU..... | 29 |
| Figura 1 | – Principais ferramentas utilizadas | 30 |
| Figura 2 | – Multímetros utilizados nos testes..... | 30 |
| Quadro 6 | – Temas mais relevantes e ocorrências..... | 33 |
| Fluxograma 1 | – Investigação sobre os fatores impulsionador da produção de REEE..... | 35 |
| Quadro 7 | – Reivindicações do movimento pelo direito ao reparo..... | 38 |
| Quadro 8 | – Atribuições aos protagonistas do movimento pelo direito ao reparo..... | 39 |
| Quadro 9 | – Semelhanças usada na categorização e descrição de EEE..... | 39 |
| Quadro 10 | – Classificação dos REEE utilizada no manual didático..... | 41 |
| Figura 3 | – Capa do primeiro e do segundo manual..... | 42 |
| Figura 4 | – Imagem com as simbologias utilizadas para alertar dos riscos..... | 43 |
| Figura 5 | – Trecho do manual com as ferramentas e equipamentos para o reparo..... | 44 |
| Figura 6 | – Trecho do manual com a introdução a categoria e instruções de reparo.... | 45 |
| Quadro 11 | – Relevância dos 3 R ‘S da sustentabilidade apresentados no manual..... | 46 |
| Quadro 12 | – Manuais e links de acesso..... | 46 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|------|--|
| ABDI | Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| CE | Comunidade Europeia |
| CRT | Tubo de Raios Catódicos |
| EEE | Equipamento Eletroeletrônico |
| IFBA | Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia |
| IFRN | Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte |
| LCD | Display de Cristal Líquido |
| NBR | Norma Brasileira |
| ODS | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PVC | Policloreto de vinil |
| PBDF | Polibrominato Dibenzo Furanos |
| PBDD | Polibrominato Dibenzo Dioxinas |
| PNRS | Política Nacional de Resíduos Sólidos |
| REEE | Resíduo de Equipamento Eletroeletrônico |
| UE | União Europeia |
| WEEE | <i>Waste of Electrical and Electronic Equipment</i> |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 1.1 | JUSTIFICATIVA..... | 14 |
| 1.2 | OBJETIVOS..... | 16 |
| 1.2.1 | Objetivos específicos..... | 16 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 18 |
| 2.1 | REEE: CONCEITOS BÁSICOS, GESTÃO E REGULAMENTAÇÃO..... | 18 |
| 2.2 | A OBSOLESCÊNCIA E O DIREITO AO REPARO..... | 21 |
| 2.3 | EDUCAÇÃO PROFISSIONALIZANTE, ODS E SENSIBILIZAÇÃO AMBIENTAL..... | 23 |
| 3 | METODOLOGIA | 26 |
| 3.1 | CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA | 26 |
| 3.2 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS..... | 26 |
| 3.2.1 | Revisão sistemática..... | 26 |
| 3.2.2 | Caracterização dos principais equipamentos..... | 28 |
| 3.2.3 | Desenvolvimento do manual didático..... | 31 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 32 |
| 4.1 | REVISÃO SISTEMÁTICA..... | 32 |
| 4.1.1 | Fatores impulsionantes da produção de REEE..... | 34 |
| 4.1.2 | Origem da obsolescência..... | 34 |
| 4.1.3 | Impactos econômicos, sociais e ambientais..... | 35 |
| 4.1.4 | Movimento mundial pelo Direito ao Reparo..... | 36 |
| 4.2 | CARACTERIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS..... | 38 |
| 4.3 | CONSTRUÇÃO DO MANUAL DIDÁTICO..... | 40 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 47 |
| | REFERÊNCIAS | 49 |
| | APÊNDICE A – ARTIGO PUBLICADO EM ANAIS DE EVENTO: 6º ConReSol..... | 56 |
| | APÊNDICE B – CAPÍTULO DE LIVRO (no prelo) APRESENTADO NO 11º EPERSOL..... | 68 |
| | APÊNDICE C – CAPÍTULO DE LIVRO: PPGUSRN/IFRN (no prelo) | 81 |
| | APÊNDICE D – CAPÍTULO DE LIVRO: PPGUSRN/IFRN (no prelo) | 96 |

| | |
|--|------------|
| APÊNDICE E – ARTIGO PUBLICADO EM ANAIS DE EVENTO: I | |
| CIECT..... | 111 |
| APÊNDICE F – ARTIGO PUBLICADO EM ANAIS DE EVENTO: I | |
| CIECT..... | 123 |
| APÊNDICE G – ARTIGO PUBLICADO EM ANAIS DE EVENTO: I | |
| CIECT..... | 135 |

1 INTRODUÇÃO

Os equipamentos eletroeletrônicos estão evoluindo cada vez mais rápido, com uma vida útil cada vez menor quando comparamos aos equipamentos mais antigos. Essa acelerada obsolescência vem resultando no aumento significativo da produção de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), atingindo 62 milhões de toneladas em 2022, conforme apresentado pelo Monitor Global de Lixo Eletrônico da Organização das Nações Unidas (WEEE Monitor). Desse montante apenas 22,3% foram formalmente documentados, coletados e reciclados (ONU, 2024).

O Brasil é o quinto maior produtor de REEE mundial, com uma produção anual aproximada de 2,4 milhões de toneladas (ONU, 2024), sendo mais de 95% descartado de forma indevida, como locais de despejo de lixo sólido convencionais, lixões e aterros a céu aberto (Rocha; Ceretta; Carvalho, 2020).

Os REEE possuem longo tempo de decomposição e a presença de elementos tóxicos e metais pesados, como mercúrio, cádmio e chumbo (Matarazzo et al., 2019), representando um desafio premente e crescente. A gestão adequada de REEE é uma questão de importância primordial, pois o descarte inadequado desses materiais acarreta impactos ambientais substanciais, incluindo a contaminação do solo, contaminação da água, bioacumulação e problemas de saúde devido às substâncias tóxicas e metais pesados contidos na composição desses resíduos (Bezerra et al., 2017). Adicionalmente, as dificuldades de reparação implantadas nos equipamentos eletroeletrônicos (EEE), aliadas à falta de conhecimento, contribuem para o desinteresse em repará-los, acarretando um descarte prematuro e contribuindo para a produção precoce de REEE (Hernandez; Miranda; Goñi, 2020).

Nesse contexto, tornou-se evidente a necessidade do desenvolvimento de ferramentas que possam contribuir para a gestão sustentável de REEE, especialmente materiais didáticos voltados à sensibilização da população sobre essa questão ambiental. A disseminação do conhecimento acerca dos riscos associados aos REEE, bem como de seu potencial econômico e de reutilização, pode despertar o interesse por essa categoria de resíduos e contribuir para sua gestão sustentável (Vieira; Oliveira; Azevedo, 2019).

Além disso, o reparo de equipamentos eletroeletrônicos, seja em âmbito pessoal, empresarial ou institucional, desempenha um papel vital na extensão da vida útil desses equipamentos. Essa prática não só reduz o consumismo, mas também diminui a produção de REEE, contribuindo para a sustentabilidade ambiental. Contudo, este setor enfrenta desafios contínuos relacionados ao descarte apropriado dos REEE (Silva; Pimenta; Campos, 2013).

Portanto, a questão do manejo responsável de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos tornou-se central, com impactos em uma variedade de áreas profissionais.

Dessa maneira, surge a questão de pesquisa fundamental deste projeto: "Como contribuir de maneira eficaz para a capacitação vocacional e profissional voltada à gestão responsável de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos?" Antecipa-se que o uso de ferramentas didáticas desempenha um papel importante na sensibilização da população em relação à gestão adequada de REEE, no fortalecimento dos princípios da economia circular por meio da promoção de práticas da redução do consumo, da reutilização através do reparo e da reciclagem desses materiais, resultando na redução substancial dos impactos ambientais associados à produção e ao descarte inadequado de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos.

1. 1 JUSTIFICATIVA

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) classifica os resíduos sólidos em diversos tipos quanto à sua origem e quanto à sua periculosidade, onde os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) são classificados como resíduos perigosos devido à sua composição, que pode conter elementos inflamáveis, corrosivos, tóxicos, carcinogênicos, teratogênicos e/ou mutagênicos (Brasil, 2010; Matarazzo et al., 2019; Richter et al., 2022). Esse significativo risco à saúde pública e à qualidade ambiental, enfatizam a importância de direcionar uma atenção especial para o consumo consciente, reutilização, descarte adequado e reciclagem dos REEE.

A produção dos equipamentos eletroeletrônicos é impulsionada pelo consumo e descarte cada vez mais breve desses equipamentos, resultando em uma crescente produção de REEE. A mudança rápida de design, o uso de componentes frágeis, a necessidade constante de atualização de softwares, a falta de componentes para manutenção e até mesmo construções que impossibilitam a manutenção são características da obsolescência programada, que reduz deliberadamente a vida útil dos equipamentos eletroeletrônicos. Essa prática aumenta a necessidade de extração de matéria-prima para a produção de novos EEE, acelerando a geração de REEE (Mascarenhas; Públio, 2020; Jesus; Silva Neto; Alves, 2022; Oliveira; Costa, 2024, no prelo).

A legalidade da implantação da obsolescência na produção dos equipamentos eletroeletrônicos pode ser analisada à luz do direito ambiental, com relação direta com a Declaração Universal sobre Bioética e Direitos Humanos da UNESCO. Essa implantação vai de encontro ao princípio do desenvolvimento sustentável, não fazendo um aproveitamento

racional e ecologicamente sustentável dos recursos naturais, acelerando o esgotamento desses recursos para as gerações futuras, e não age preventivamente, podendo causar desastres irremediáveis ao meio ambiente (Unesco, 2005; Zanatta, 2013; Oliveira; Costa, 2024, no prelo).

Uma iniciativa que tem se destacado como alternativa para a redução da produção de REEE, especialmente aquela impulsionada pela obsolescência programada, é o movimento mundial pelo direito ao reparo. Este movimento defende o direito dos consumidores de reparar seus equipamentos eletroeletrônicos, facilitando e incentivando a reutilização através do prolongamento da vida útil (Mascarenhas; Públio, 2020).

Sob o ponto de vista pessoal, a minha experiência profissional como técnico de manutenção de equipamentos eletroeletrônicos e professor de manutenção de computadores revelaram a constante dificuldade em encontrar peças de reposição e locais adequados para o descarte correto desses equipamentos no final de sua vida útil, quando não são mais passíveis de manutenção.

A dificuldade de reparar e de descartar os equipamentos defeituosos ou obsoletos também é compartilhada por outros profissionais, consumidores em geral e em outras instituições, como apresentado por Lordelo e Santos (2020, p. 368) no IFBA. Geralmente os setores de manutenção recebem esses equipamentos, ocasionando uma acumulação significativa de eletroeletrônicos, especialmente na área de informática.

O acesso a essa diversidade de equipamentos eletroeletrônicos me levou a praticar o reparo, a recuperação de componentes e o reaproveitamento desses materiais na minha rotina acadêmica, transmitindo esse conhecimento nas atividades práticas de cursos técnicos, em projetos de extensão e de pesquisa. A reutilização de equipamentos eletroeletrônicos ou parte deles para o ensino é uma alternativa que contribui para a redução da produção de REEE e para a sensibilização ambiental (Lopes et al., 2017; Oliveira et al, 2024a, no prelo; Oliveira et al, 2024b, no prelo).

Essa experiência prática reforça a importância do conhecimento técnico para reparar e reutilizar os equipamentos eletroeletrônicos, uma vez que a falta desse conhecimento é claramente identificada como um dos principais obstáculos para o reparo e a recuperação de valor através reciclagem especializada de REEE (Xavier et al., 2020).

Portanto, é categórico abordar essa lacuna de conhecimento para reduzir os impactos ambientais ocasionados pelo descarte prematuro e inadequado de equipamentos eletroeletrônicos, a fim de promover a sensibilização ambiental e fomentar a adoção de medidas sustentáveis.

Essa problemática justificou o desenvolvimento de ferramentas educacionais para capacitar os indivíduos interessados na gestão adequada dos REEE. Esse projeto de pesquisa contribuiu para a capacitação vocacional e profissional nesse campo, sensibilizando a população sobre a importância de preservar, reparar e descartar adequadamente seus equipamentos eletroeletrônicos. Além disso, fortalece a economia circular por meio de práticas de redução, reutilização e reciclagem desses materiais (Celinski et al., 2013; Medeiros et al., 2019).

As ferramentas didáticas produzidas contemplam o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 4, proporcionando educação acessível e de qualidade. Essa ferramenta também contribui para o ODS 12, divulgando informações sobre o consumo sustentável e propondo o manejo ambientalmente saudável dos REEE, com foco na sensibilização ambiental para minimizar a produção e os impactos dos REEE ao meio ambiente. Ao contribuir com o descarte correto dos REEE, também são contemplados o ODS 6 e o ODS 15, prevenindo a contaminação dos ecossistemas aquáticos e terrestres (ONU, 2022).

Assim, ao abordar essas questões, o projeto fornece soluções eficazes para promover a gestão sustentável dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, capacitando os indivíduos interessados nos princípios da economia circular, promovendo a redução do consumo, a reutilização através do reparo e a reciclagem de REEE, contribuindo também para a sensibilização em prol do meio ambiente.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral do projeto é promover a gestão sustentável de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) por meio do desenvolvimento de ferramentas didáticas para sensibilizar e capacitar indivíduos interessados em sustentabilidade e nos princípios da economia circular.

1.2.1 Objetivos específicos:

- a) revisão sistemática sobre a temática de gestão de REEE, destacando os aspectos relacionados à gestão sustentável de equipamentos eletroeletrônicos, técnicas de conservação, reparo e destinação adequada dos REEE;

- b) caracterização dos principais equipamentos eletroeletrônicos descartados no laboratório de manutenção de computadores do IFRN - Campus Canguaretama, e presentes no nosso cotidiano;
- c) desenvolvimento de ferramentas educacionais com abordagem didática e autoral dos temas relacionados à gestão sustentável de REEE, contemplando os princípios da economia circular;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REEE: CONCEITOS BÁSICOS, GESTÃO E REGULAMENTAÇÃO

Os resíduos sólidos são todos os materiais descartados em estado sólido, resultante de atividades humanas em sociedade. Muitas vezes erroneamente chamados de lixo, esses resíduos, na maioria dos casos, podem ser tratados e recuperados, ou seja, são recicláveis. A reciclagem é todo o processo de transformação dos resíduos sólidos em insumos ou novos produtos. Após esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação, seja por complexidade construtiva, contaminação do resíduo, falta de tecnologia ou viabilidade econômica, os resíduos são categorizados como rejeitos (Brasil, 2010).

A ABNT NBR 16156 (2013) define Equipamentos Eletroeletrônicos (EEE) como todos os aparelhos que necessitam de energia para funcionar, seja conectado diretamente à tomada ou utilizando pilhas ou baterias. Isso inclui também seus acessórios, como cabos e carregadores. Quando esses aparelhos não são mais úteis, eles se tornam Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE).

A lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), firmando definições, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações sobre os Resíduos Sólidos, e se aplica a todos os geradores e gestores, direto ou indireto, de resíduos sólidos. Em seu artigo 13, a lei nº 12.305 classifica os resíduos perigosos como sendo os que possuem, entre outras características, o risco de ser inflamáveis, corrosivos, tóxicos, carcinogênicos, teratogênicos e/ou mutagênicos. Essas características são comuns aos REEE, e que, pelo artigo 33 desta mesma lei, os resíduos assim classificados são obrigados a fazer parte de um sistema de logística reversa, isto é, retornar ao fabricante, importador ou distribuidor, independente do serviço público de limpeza (Brasil, 2010).

Ademais, o Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020 estabelece as normas para a estruturação, implementação e operacionalização do sistema de logística reversa obrigatória para os produtos eletroeletrônicos e seus componentes (Brasil, 2020).

Essa necessidade de regulamentação, gestão e descarte específico dos REEE é devido, especialmente, a sua composição conter elementos tóxicos e metais pesados e que podem contaminar os ecossistemas se descartadas incorretamente (Houessionon et al., 2021). Na Europa, os REEE são regulamentados pela Directiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 4 de julho de 2012, que destaca ser imprescindível o tratamento específico para os

REEE, além de priorizar a reutilização dos REEE e seus componentes, valorizar a reciclagem e incentivar a integração de material reciclado em equipamentos novos (União Europeia, 2012).

A toxicidade dos REEE, se manipulada incorretamente, também pode causar graves problemas de saúde, por exemplo, os gases provenientes da queima das carcaças plásticas do EEE e da isolação dos fios condutores (Policloreto de vinil ou PVC) podem causar problemas reprodutivo, imunológico e hormonal. Existem também os danos causados pelos metais pesados, um exemplo bem comum é o chumbo encontrado em placas eletrônicas dos mais diversos EEE (Picanço, 2017), com potencial de causar danos ao sistema nervoso periférico, sistema sanguíneo e renais, além de afetar o desenvolvimento cerebral de crianças. Existem ainda outros poluentes nos REEE como o mercúrio, arsênio, berílio e cádmio (Quadro 1), em menor proporção, mas que também oferecem riscos graves à saúde humana, animal e ambiental (Annamalai, 2015; Pereira, 2018; Santos; Deconte, 2022; Richter et al., 2022).

Quadro 1. Danos à saúde e potencial de poluição ambiental dos REEE

(continua)

| Elemento químico | Equipamento que possui | Seus riscos para: | |
|------------------|--|---|--|
| | | Humanos | Natureza |
| Arsênio (As) | Placa de circuito, circuitos integrados e transistores | Pode se distribuir no fígado, baço, rins e pulmões, e causar sintomas, como vômitos e diarreia, em caso de ingestão, náuseas, vertigem e quando inalados, dispneia. A exposição prolongada pode ocasionar câncer pulmonar ou de pele. | Contamina fontes de água subterrânea e superficial. É tóxico e bioacumulativo para plantas e animais, causando problemas de crescimento, reprodução e morte em espécies mais sensíveis. |
| Berílio (Be) | Componentes de Celulares e Computadores | Metal pesado acumulativo, cancerígeno para o pulmão. Causa doenças crônicas de berílio ou beriliose; e doenças de pele, semelhante a verrugas. | A disposição no solo pode acarretar a acumulação do metal nas folhas e raízes das plantas com consequente fitotoxicidade. |
| Bário (Ba) | Placa de circuito, componentes eletrônicos e TV CRT | A exposição de curto prazo causa fraqueza muscular, danos ao coração, fígado e baço. | Contamina fontes de água subterrânea e superficial. É bioacumulativo e tóxico para organismos aquáticos, causando problemas de crescimento e reprodutivo. Afeta o solo para plantas e agricultura. |

| | | | |
|---|---|--|---|
| Cádmio (Cd) | Baterias, TV CRT, Placa de circuito e cartuchos de impressoras | Com efeitos tóxicos irreversíveis na saúde humana, acumula-se nos rins e no fígado; causa danos neurais e teratogênicos. | A disposição no solo pode acarretar a acumulação do metal nas folhas e raízes das plantas com consequente fitotoxicidade. |
| Chumbo (Pb) | Placa de circuito, TV CRT, baterias, Celulares e Computadores | Causar anemia, sendo cancerígeno para o sistema nervoso central e periférico. Causa danos aos sistemas sanguíneos e danos renais; e afeta o desenvolvimento cerebral das crianças. | A disposição no solo pode acarretar a acumulação do metal nas folhas e raízes das plantas com consequente fitotoxicidade. |
| Cromo (Cr) | Placa de circuito, componentes de aço inoxidável, conectores e terminais | Se descartado incorretamente pode se transformar no Cr-Hexavalente, que é carcinogênico para os pulmões. Pode causar danos à pele, aos rins, ao fígado e até mutações genéticas. | O Cromo Hexavalente pode tornar as fontes de águas tóxicas, causando problemas de crescimento, reprodução e morte aos organismos aquáticos. Afeta a saúde das plantas, prejudica o solo e é bioacumulativo. |
| Dioxinas e furanos de cloreto de polivinila (PVC) | Resultante da queima de carcaças plásticas e isolamento de fios | Causa problemas reprodutivos e de desenvolvimento; danos ao sistema imunológico; interferência nos hormônios reguladores; pode causar câncer. | São bioacumuladores na cadeia alimentar, principalmente em tecidos gordurosos. Podem permanecer no solo, água e ar por longos períodos. |
| Lítio (Li) | Pilhas e baterias de Íons de lítio | Causa náuseas, vômitos, diarreia, arritmias cardíacas, tremores e insuficiência renal. Exposição prolongada pode causar danos aos rins e tireoide. | As baterias possuem outros elementos químicos tóxicos que podem contaminar o solo e lençóis freáticos. Risco de incêndio, liberando gases tóxicos |
| Mercúrio (Hg) | TV de tubo, monitores CRT e LCD, pilhas e baterias, lâmpadas e computador | Causa distúrbios respiratórios e cutâneos, perturbações motoras e sensitivas. Ataca o sistema nervoso causando tremores e demência, além de alterações genéticas. Ataca a medula óssea e os rins, podendo causar câncer. | Causa poluição das águas e dos solos, acumulando nos tecidos dos peixes, sendo passado e acumulado em outros seres vivos que os ingerirem. |
| Níquel (Ni) | Baterias, Placas de circuitos e | Causa problemas respiratórios, irritação gastrointestinal, dermatite de | Pode acumular-se nas diversas formas de vida, desde hortaliças, micro- |

| | | | |
|-----------------------------------|--|---|---|
| | componentes eletrônicos | contato, podem causar sintomas como apatia, diarreia, febre, insônia e náuseas. Pode causar câncer, problemas reprodutivos e má formação fetal | organismos no solo, nos animais marinhos e até em aves. |
| Retardante de chama (PBDF e PBDD) | Placas de circuitos, carcaças plásticas, isolamento de cabos e componentes eletrônicos | Causa interrupção nas funções do sistema endócrino; afetam os desenvolvimentos neurológicos; causam problemas reprodutivos e congênitos; aumentam os riscos de câncer | São bioacumulativos; causam problemas reprodutivos e de crescimento aos organismos aquáticos; contaminante ao solo e fontes de água |

Fonte: Adaptado de Annamalai (2015) e Richter et al. (2022).

2.2 A OBSOLESCÊNCIA E O DIREITO AO REPARO

A crescente acumulação de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) está diretamente ligada à rápida evolução tecnológica e à consequente obsolescência desses dispositivos. A obsolescência pode ter várias origens, como a negligência na manutenção preventiva, a relutância em realizar manutenção corretiva devido aos altos custos, a escassez de mão de obra especializada, ou dificuldades na obtenção de componentes para reparos. Além disso, a obsolescência pode ser impulsionada pela incompatibilidade com outros equipamentos ou por mudanças no design (Assumpção, 2017).

É importante frisar que a obsolescência pode ser categorizada em três subgrupos distintos (Quadro 2). Primeiramente, a **Obsolescência Funcional** está relacionada à inovação tecnológica, na qual o lançamento de produtos com novas funcionalidades torna os dispositivos mais antigos obsoletos. A **Obsolescência Perceptiva** está ligada ao consumismo, em que os consumidores sentem a necessidade de adquirir constantemente novos produtos, mesmo que seus dispositivos atuais atendam plenamente às necessidades funcionais. Por último, a **Obsolescência Programada** está associada à exploração industrial e comercial, na qual fabricantes reduzem proposadamente a vida útil de seus produtos por meio de componentes de baixa qualidade, design frágil ou dificuldade de manutenção, o que resulta no descarte precoce dos equipamentos e na necessidade de adquirir novos dispositivos em um menor espaço de tempo, desconsiderando os impactos ambientais envolvidos (Packard 1965; Rossini; Naspolini, 2017; Jesus; Silva Neto; Alves, 2022; Grubba; Locatelli, 2023).

Quadro 2. Síntese dos tipos de obsolescência

| Obsolescência | Situação | Foco |
|----------------------|---|-----------------------|
| Funcional | O lançamento de um produto com novas funcionalidades torna o antigo equipamento obsoleto; | Inovação tecnológica |
| Perceptiva | O status de acompanhar a moda faz com que o antigo produto seja trocado por um recém-lançado; | Consumismo |
| Programada | O uso de componentes de baixa durabilidade reduz a vida útil do produto. | Exploração Industrial |

Fonte: Oliveira, Costa e Lopes, (2024, no prelo).

Dentro deste contexto de necessidade de reduzir a obsolescência de produtos eletroeletrônicos, surgiu o movimento pelo **Direito ao Reparo** (ou "*Right to Repair*"), originado nos Estados Unidos em 2013 e liderado pela *Repair Association*. Esse movimento tem como objetivo fundamental garantir aos consumidores o direito de reparar seus próprios dispositivos. Ele luta pela implementação de leis que exijam dos fabricantes o fornecimento de informações técnicas sobre o funcionamento e manutenção de seus equipamentos, bem como a disponibilização de componentes de reposição de qualidade e a preços justos. Em essência, o movimento "Direito ao Reparo" visa possibilitar que os consumidores realizem a manutenção de seus dispositivos, preservando a garantia legal e a preços acessíveis, contribuindo, assim, para a mitigação dos efeitos da obsolescência programada (Mascarenhas; Públio, 2020).

Uma forma essencial de prolongar a vida útil dos equipamentos eletroeletrônicos é a conservação, o uso responsável, o reparo e a reutilização de suas partes e componentes em outros contextos.

Reparar é uma forma de reutilização, que é o pilar central da economia circular. Essa prática reduz a necessidade de novos equipamentos, diminuindo a demanda por matéria-prima para fabricação. Além disso, evita a emissão de gases de efeito estufa, resultantes do uso intensivo de energia nas fábricas, e adia a necessidade de reciclagem (Marikyan; Papagiannidis, 2024). Contudo, o reparo depende da desmontagem não destrutiva dos equipamentos, permitindo sua utilização em processos de reparação, remanufatura e na composição de novos dispositivos (Medeiros et al., 2019).

A redução nos lucros com a manutenção, a redução do conhecimento técnico e a escassez de cursos profissionalizantes estão refletindo na redução da quantidade de oficinas de

reparação, onde deveria estar aumentando (Van Der Velden, 2021). Seguindo no mesmo sentido, a escassez de empresas e profissionais capacitados para a desmontagem e reaproveitamento dos REEE, particularmente em pequenas cidades, frequentemente leva ao descarte inadequado desses dispositivos em aterros sanitários (Obana et al., 2018).

Nesse contexto, torna-se evidente a relevância de ferramentas didáticas voltadas para a capacitação vocacional e profissional neste campo. Manuais didáticos se destacam como estratégia valiosa para promover a gestão adequada dos REEE e qualificar indivíduos interessados em trabalhar com esses resíduos (Celinski et al., 2013). Além de cumprir esse papel, essas ferramentas contribuem para a promoção da educação ambiental em todos os níveis de ensino, ajudando a formar cidadãos conscientes da importância da sustentabilidade e da preservação do meio ambiente (Damasceno, 2016).

2.3 EDUCAÇÃO PROFISSIONALIZANTE, ODS E SENSIBILIZAÇÃO AMBIENTAL

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) tem uma longa tradição com a educação profissionalizante e tecnológica, fundada em 1909 como Escola de Aprendizes Artífices, desempenha um papel importante na educação de qualidade e inclusão social. A autonomia administrativa e pedagógica adquirida em 2008 foi acompanhada da expansão para o interior do estado do Rio Grande do Norte, sendo a cidade de Canguaretama, localizada no litoral sul potiguar, contemplada com um campus em 2013.

Na estrutura física do IFRN - Campus Canguaretama destaca-se o potencial do laboratório de manutenção de computadores para o ensino da gestão dos REEE. Este laboratório é utilizado para aulas práticas e pesquisas na área de manutenção de computadores e manutenção eletroeletrônica, sendo que, o ensino da manutenção, tem um papel importante na redução da produção de resíduos, pois prolonga a vida útil dos equipamentos (Silva; Pimenta; Campos, 2013).

Os equipamentos que compõem o laboratório de manutenção são, no geral, provenientes de doações, sejam de particulares, de outros setores do campus ou até mesmo de outros órgãos públicos, nesse caso através de editais de desfazimento. Os editais de desfazimento são chamamentos públicos, das mais diversas esferas da administração pública, com o objetivo de doar os seus patrimônios obsoletos, entre eles, equipamentos eletroeletrônicos (Brasil, 1990; Lopes; Oliveira, 2017). A reutilização de equipamentos eletroeletrônicos obsoletos para a atividade de ensino técnico prolonga a sua vida útil e minimiza os impactos provocados pelo

REEE (Lopes et al., 2017), e se apresenta como uma forma econômica e sustentável de equipar o laboratório.

Cada um dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU) possui subitens que guiam os esforços através de propostas e metas para alcançar o objetivo principal. As ferramentas didáticas e os artigos produzidos na pesquisa contribuem principalmente para o ODS 12, que diz respeito ao consumo e produção sustentável.

É possível influenciar o consumo sustentável por meio do processo de sensibilização ambiental, que objetiva tornar as pessoas mais conscientes e sensíveis às questões ambientais. Um caminho para essa sensibilização é a divulgação de informações sobre as causas dos problemas ambientais, consequências e possíveis soluções, incentivando os consumidores na adoção de comportamentos mais sustentáveis (Pereira et al., 2014).

As instruções para a gestão ambientalmente saudável dos REEE ao longo de seu ciclo de vida por meio de ferramentas educacionais fortalecem a meta 12.4, que estipula a redução da liberação de compostos químicos no ar, água e solo, minimizando seus impactos adversos sobre a saúde humana e o meio ambiente.

As ferramentas educacionais produzidas instruem para a redução da geração de REEE através de conhecimentos técnicos que promovem o reparo, o reuso e a reciclagem dos equipamentos eletroeletrônicos. Essa abordagem contribui com o item 12.5, que vislumbra uma redução substancial da quantidade de resíduos gerados.

A sensibilização através da disseminação de informações sobre os impactos provocados pelo descarte inadequado de REEE na natureza também é abordado no manual didático, contribuindo com o item 12.8, que trata da conscientização sobre a importância do desenvolvimento sustentável.

As ferramentas didáticas que foram produzidas estão compartilhadas gratuitamente para contribuir com a educação acessível e de qualidade, contemplando o ODS 4. O material produzido fortalece a meta 4.3 ao proporcionar educação técnica e com potencial profissionalizante a homens e mulheres. Também contribui com a meta 4.4 ao proporcionar habilidades técnicas aos jovens e adultos e potencializar as chances com empregos decentes e incentivar o empreendedorismo. Os conhecimentos técnicos das ferramentas didáticas proporcionam habilidades necessárias para promover o desenvolvimento sustentável, contribuindo com a meta 4.7.

O descarte inadequado de REEE contamina as fontes de águas superficiais e subterrâneas, contamina o solo e o ar, principalmente quando incinerados (Annamalai, 2015;

Houessionon et al., 2021; Richter et al., 2022). As ferramentas didáticas produzidas também contemplam o manejo e o descarte correto dos REEE, contribuindo para minimizar os impactos nos mais diversos ecossistemas. Esta contribuição contempla o subitem 6.6 do ODS 6, reforçando a proteção dos ecossistemas relacionados à água, que inclui as montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos. Prevenir a contaminação dos ecossistemas aquáticos e terrestres contribui na preservação das vidas marinha e terrestre, promovendo o ODS 14 e o ODS 15, respectivamente (ONU, 2022). Nenhuma ODS menciona o combate à obsolescência, nem inclui as reivindicações do movimento pelo direito ao reparo como coadjuvante no desenvolvimento sustentável.

A Economia Circular pode ser definida como um sistema regenerativo que visa minimizar o desperdício de recursos e energia, além de reduzir a produção de resíduos. As estratégias para alcançar esses objetivos incluem projetos mais eficientes, manutenção adequada, reparo, reutilização, remanufatura, reforma e reciclagem de longa duração (Van Der Velden, 2021). Todos esses fatores são formas de reutilização e contribuem para a redução de resíduos, da necessidade de extração de matéria-prima e da emissão de gases. Esses princípios podem ser resumidos pelos 3 R's da sustentabilidade, nessa ordem de prioridade: 1ª Redução, 2ª Reutilização e 3ª Reciclagem. A reciclagem de longa duração refere-se a materiais projetados para durar mais tempo, sem deixar de ser recicláveis.

Para alcançar o desenvolvimento sustentável, é essencial que a indústria adote produções mais limpas, design verde, ecodesign, ecoeficiência, design sustentável e economia circular. Para implementar a economia circular, a indústria deve garantir uma vida útil mais longa aos seus produtos, valorizando os recursos utilizados e reduzindo a necessidade de novos recursos (Hernandez; Miranda; Goñi, 2020; Bradley; Persson, 2022).

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa propicia uma maior proximidade com o tema dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), explicitando e aprimorando o conceito da gestão responsável desses tipos de resíduo, sendo assim, o objetivo metodológico é de caráter descritivo (Gil, 2010).

Com o desenvolvimento de ferramentas didáticas para serem utilizadas na capacitar e sensibilizar indivíduos interessados nos princípios da economia circular, essa pesquisa se classifica como de natureza aplicada e qualitativa (Zanella, 2013).

No que diz respeito aos procedimentos técnicos abordados para a coleta de dados, a presente investigação adotou a pesquisa bibliográfica para explorar o que já existia sobre REEE. Para construir o manual didático com informações e instruções de como reduzir seus impactos causados ao meio ambiente, fez-se uso de dois métodos: O Método Descritivo, para descrever características de cada categoria, layout interno e áreas de risco dos EEE; e O Método Experimental, para testar as hipóteses dos defeitos e dos valores esperados, bem como para coletar os valores medidos e imagens desses testes (Costa, 2024). Os experimentos foram realizados com o uso de diversos equipamentos de teste, incluindo multímetros para a medição das grandezas elétricas, e uma câmera de smartphone para a captura de imagens.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para alcançar o desenvolvimento da ferramenta didática para promover a gestão sustentável de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos, através da capacitação vocacional e profissional, a seguinte sequência metodológica foi aplicada:

3.2.1 Revisão sistemática

Como uma característica comum em estudos exploratórios, a pesquisa bibliográfica em artigos científicos publicados em periódicos, principalmente do tipo revista, se apresenta como uma alternativa viável, pois permitiu à análise das diversas posições acerca da gestão dos REEE, proporcionando descobertas mais amplas e em menor espaço de tempo, quando comparados a pesquisa direta (Gil, 2010).

A revisão sistemática foi desenvolvida a partir da busca e análise aprofundada em livros, artigos científicos e dissertações, em bases de dados como o Portal de Periódicos da CAPES, o portal brasileiro de acesso aberto à informação científica OASISBR, a biblioteca digital de acesso livre SciELO, a biblioteca eletrônica de artigos publicados no Congresso Brasileiro de Resíduos Sólidos (EPERSOL) e a ferramenta de busca especializada em literatura acadêmica mundial, o Google Acadêmico.

Esse estudo exploratório aprofundou-se nos aspectos relacionados à gestão sustentável de equipamentos eletroeletrônicos, fatores que influenciam na vida útil dos EEE, relação com o aquecimento global, movimentos globais a favor da gestão sustentável, técnicas de conservação, técnicas básicas de reparo, processos de desmontagem não destrutivos dos EEE e locais para o descarte adequado dos REEE.

Cada tema foi pesquisado em diversas fontes, priorizando aquelas que apresentaram a maior quantidade de bibliografias com potencial de relevância para o tema, ou seja, capazes de explicar os fenômenos explorados. Para refinar as buscas, foram utilizados filtros específicos conforme o local da pesquisa. Considerando que se trata de um tema com pesquisas recentes e, por vezes, pouco exploradas, também foram aproveitados artigos citados que mostraram relevância nas questões investigadas, utilizando a técnica de amostragem em cadeia.

Os Quadros 3 e 4 apresentam a técnica utilizada para sistematizar a pesquisa sobre a obsolescência em equipamentos eletroeletrônicos, impactos da obsolescência nas mudanças climáticas e direito ao reparo.

Quadro 3 - Técnica utilizada para sistematizar as revisões 1

(continua)

| Termo pesquisado | obsolescência em equipamentos eletroeletrônicos | |
|-------------------------|--|------------------|
| Fontes | CAPES | Google Acadêmico |
| Data da pesquisa | 17/03/23 | 21/03/23 |
| String | (obsolescência E eletrônicos) OU (obsolescência E eletroeletrônicos) OU (obsolescência E equipamentos) | |
| Espaço temporal | A qualquer momento | |
| Ocorrência | 34 | 2.400 |

| | | |
|--------------------------------|---|--|
| Critérios de inclusão 1 | Artigos que abordassem a obsolescência em EEE; Artigos relevantes citados por esses autores. | 20 primeiros artigos de mais citados; Artigos relevantes citados por esses autores. |
| Critérios de inclusão 2 | Acesso aberto; Revisado por pares. | Acesso aberto; Revisado por pares. |
| Critérios de exclusão | Escrito em espanhol | |
| Resultado | 3 | 7 |

Fonte: Elaboração própria em 2024

Quadro 4 - Técnica utilizada para sistematizar as revisões 2

(continua)

| | | | |
|--------------------------------|--|-----------|---|
| Termo pesquisado | Obsolescência, REEE e mudanças climáticas | | Direito ao reparo |
| Fontes | EPERSOL | SciELO | CAPES |
| Data da pesquisa | Julho de 2023 | | 30/03/23 |
| String | resíduos AND (eletrônicos OR eletroeletrônicos) | | "Direito ao reparo" OR "Right to Repair" |
| Espaço temporal | 2014-2022 | 2019-2023 | A qualquer momento |
| Ocorrência | 38 | 12 | 31 |
| Critérios de inclusão 1 | Artigos que abordassem mudanças climáticas EEE ou REEE; Todos e Artigos relevantes citados por esses autores. | | Artigos que abordassem o direito ao reparo em EEE; Todos e Artigos relevantes citados por esses autores. |
| Critérios de inclusão 2 | Acesso aberto e revisado por pares | | Acesso aberto e revisado por pares |

| Crêterios de exclusão | Escrito em línguas diferentes de português e inglês | | Escrito em línguas diferentes de português e inglês |
|------------------------------|---|----|---|
| | 14 | 11 | 14 |
| Resultado | 14 | 11 | 14 |

Fonte: Elabora o própria em 2024

3.2.2 Caracteriza o dos principais equipamentos

Existe uma diversidade de equipamentos eletroeletrônicos e a caracteriza o visa descrever as características, funcionalidades e algumas especifica es técnicas relevantes   gestão segura e ambientalmente correta. Essa caracteriza o   útil para diferenciar os equipamentos, agrupar os principais defeitos, auxiliar nos reparos e identificar os materiais constituintes para uma correta destina o   reciclagem (Kohl; Gomes, 2017; Pereira, 2018).

O laboratório de manuten o de computadores do IFRN-Canguaretama possui diversos equipamentos eletroeletrônicos que são utilizados nas aulas de manuten o de computadores e manuten o eletrônica. Esses equipamentos são oriundos de editais de desfazimento (Lopes; Oliveira, 2017) e doa es diversas de funcionários e alunos.

O espaço do laboratório e esses equipamentos, entre outros de uso pessoal, foram utilizados na parte prática da pesquisa, fornecendo informa es específicas sobre as características da categoria, sequência de abertura, layout interno, áreas de risco, principais componentes, testes de defeitos, assim como as respectivas imagens desses procedimentos.

Na elabora o do manual foi utilizada uma categoriza o adaptada a partir da Diretiva Europeia 2012/19/UE (Quadro 5), pois essa categoriza o contempla melhor equipamentos com composi o e resíduos semelhantes. As categorias 8, 9 e 10 não foram contempladas no manual, pois são equipamentos que oferecem mais riscos no seu manuseio e exigem conhecimento técnico especializado.

Quadro 5. Classifica o dos REEE pela Diretiva Europeia 2012/19/UE.

(continua)

| Categoria | |
|------------------|--|
| 1 | Grandes Eletrodomésticos |
| 2 | Pequenos Eletrodomésticos |
| 3 | Equipamentos de Informática e Telecomunica es |
| 4 | Aparelhos Eletrônicos de Consumo e Painéis Fotovoltaicos |

| | |
|----|--|
| 5 | Equipamentos de iluminação |
| 6 | Ferramentas Elétricas e Eletrônicas |
| 7 | Brinquedos, Equipamentos Esportivos e de Lazer |
| 8 | Aparelhos médicos |
| 9 | Instrumentos de monitoramento e controle |
| 10 | Máquinas automáticas de distribuição |

Fonte: Adaptado da Diretiva Europeia 2012/19/UE (WEEE- Waste Electrical and Electronics Equipments)

As desmontagens e testes foram feitos no laboratório de manutenção de computadores do IFRN-Canguaretama. As principais ferramentas utilizadas nas desmontagens e montagem estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - Principais ferramentas utilizadas



Fonte: Elaboração própria em 2024

Com o intuito de demonstrar o uso de modelos e marcas de multímetros diferentes, foram utilizados três multímetros digitais apresentados na Figura 2, a esquerda um Mastech modelo MS 3226T, ao centro um Uni-T modelo UT89XD, e a direita um AMPROBE modelo 34XR-A. Os testes realizados foram, medidas de tensão contínua, continuidade de fio ou de componente, e resistência de componentes, que são medições comuns aos três modelos e na maioria dos multímetros.

Figura 2 - Multímetros utilizados nos testes



Fonte: Elaboração própria em 2024

As imagens foram capturadas fazendo o uso de smartphones. O principal equipamento utilizado foi um Samsung Galaxy M30 com câmera de 13 MegaPixel, também proveniente de doação por ter sido mergulhado acidentalmente em um rio, passou por reparos e teve sua vida útil prolongada.

3.2.3 Desenvolvimento do manual didático

A educação de qualidade e acessível é um dos objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU (ODS 4) e tem um papel fundamental para sensibilizar quanto a necessidade de cuidar do meio ambiente (Damasceno, 2016).

Os manuais produzidos são obras originais, caracterizando-se como ferramentas didáticas que reúnem informações, instruções e imagens sobre a gestão sustentável dos REEE. As imagens utilizadas nos manuais são de autoria própria e foram coletadas durante o objetivo específico anterior, a caracterização dos equipamentos.

Com o propósito de democratizar o acesso à informação, os manuais foram escritos em uma linguagem acessível, com instruções detalhadas e simplificadas, estando disponível gratuitamente para consulta por qualquer pessoa.

O primeiro manual, o **Manual de desmontagem de Resíduos e Equipamentos EletroEletrônicos para reciclagem/reutilização**, foi fruto do projeto de extensão **REEciclar: Educação ambiental e tecnológica no descarte correto de Resíduos Eletroeletrônicos (REE)**, desenvolvido em conjunto com os alunos Paulo César Dias Rufino e Thallyson Kauã dos Santos Vidal, do curso de Integrado de Informática do IFRN-Canguaretama.

Este manual oferece informações simples e direta de como prolongar a vida útil de alguns eletroeletrônicos comuns no nosso dia a dia, quais as ferramentas necessárias para

desmontagem, como proceder com a desmontagem, e localização dos pontos de coleta de REEE em Natal-RN. As técnicas de desmontagem apresentadas neste manual são mais simples, pois o manual é voltado para a reciclagem ou reutilização dos REEE.

O segundo manual, o **Manual de Conservação e Reparo de Equipamentos Eletroeletrônicos: Praticando nosso Direito ao Reparo**, possui informações que objetivam esclarecer e sensibilizar os leitores quanto à problemática dos REEE, da necessidade de mudanças e como cada um pode contribuir para minimizar os impactos negativos desse tipo de resíduo através da conservação e do reparo de EEE, que é o foco central. Este manual também apresenta a relevância da adoção de atitudes e hábitos sustentáveis, destacando procedimentos que priorizam a Redução, a Reutilização, e a Reciclagem.

O diferencial deste segundo manual é a disponibilização de instruções mais detalhadas e mais aprofundadas tecnicamente com o intuito de, além da gestão sustentável dos REEE, contribuir com o movimento pelo Direito ao Reparo através do empoderamento dos consumidores de EEE.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA

Uma pesquisa preliminar a procura de artigos que apresentassem técnicas e propostas para a Gestão Sustentável dos Equipamentos Eletroeletrônicos retornou poucos artigos relevantes, a maioria voltada para o que fazer com os REEE depois que este já foi produzido, com sugestões direcionadas principalmente para empresas e gestores, cabendo aos consumidores apenas o papel de descartar nos pontos de coleta. Um resumo do resultado das pesquisas mais relevantes é apresentado no Quadro 6:

Quadro 6. Temas mais relevantes e ocorrências.

| Tema | Quantidade de artigos por fonte de pesquisa | | | | |
|-------------------------------------|---|---------|------------------|---------|--------|
| | CAPES | EPERSOL | Google Acadêmico | OASISBR | SciELO |
| Reuso e Reciclagem | - | - | - | 12 | - |
| Obsolescência e Mudanças Climáticas | - | 14 | - | - | 11 |
| Direito ao Reparo | 14 | - | - | - | - |
| Obsolescência EEE | 3 | - | 7 | - | - |

Fonte: Autoria própria.

As propostas de melhoria na logística reversa, novas tecnologias para reciclagem, estudos de caso de campanhas de coleta e de reuso dos REEE, são relevantes para a sensibilização quanto ao descarte correto dos REEE, porém, pouco interfere no crescimento da produção desse resíduo.

A reciclagem é promovida como a solução para a gestão sustentável dos resíduos sólidos e justificam a baixa taxa de reciclagem dos REEE como dificuldade técnica ou limitações da tecnologia atual (Layrargue, 2002). Essa justificativa alivia a culpa dos consumidores e sustenta as práticas de descartabilidade e obsolescência.

Apesar das semelhanças entre os EEE, categorias diferentes de equipamentos e até mesmo dentro da mesma categoria podemos encontrar materiais e elementos químicos diferentes, com diferentes formas de integração ao equipamento. A título de exemplo, o teclado

de um computador está na mesma categoria que uma impressora, possuindo composições e apresentando riscos bem distintos, onde um processo de reciclagem de um não se aplicará ao outro, sendo essa a principal barreira para a reciclagem e para a reintegração desses materiais à cadeia de produção (Picanço, 2017).

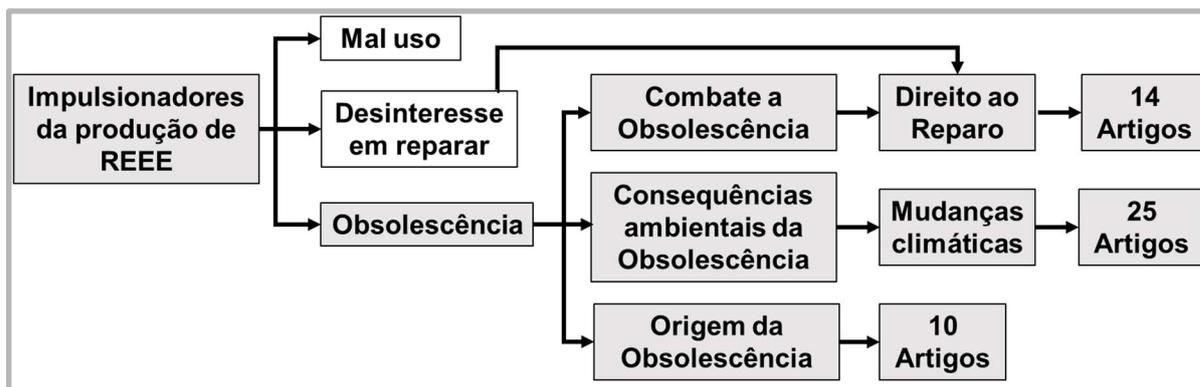
O aumento da produção de novos equipamentos está diretamente associado ao crescimento da geração de REEE, bem como de uma maior demanda por matéria-prima e energia para atender essa necessidade. No entanto, os processos existentes de reciclagem de REEE são caros e complexos, não acompanhando o ritmo de produção crescente (Giese, 2022). Em contrapartida, o reparo consome menos recursos, tempo e energia para reintegrar o produto ao ciclo de vida (Hernandez; Miranda; Goñi, 2020; Van Der Velden, 2021; Bradley; Persson, 2022). Para minimizar esse desequilíbrio, além de ajustes na legislação, pesquisa de novas tecnologias de reciclagem, e campanhas de coleta, é necessário também trabalhar na desaceleração da produção de REEE.

O processo de desaceleração da produção de REEE deve combater os fatores que potencializam sua produção. Os resultados da pesquisa apontaram a redução na vida útil dos equipamentos eletroeletrônicos como o principal fator (Santos; Guarnieri; Cerqueira Streit, 2021; Jesus; Silva Neto; Alves, 2022).

A redução na vida útil dos EEE causa impactos à saúde e ao meio ambiente, além de prejuízos econômicos aos consumidores. Alertá-los sobre esses prejuízos se mostrou uma forma eficaz de motivá-los a contribuir para a redução da produção de REEE e para a gestão sustentável desses resíduos.

Foi realizada também uma investigação sobre os fatores impulsionantes da produção de REEE e formas de combatê-los (Fluxograma 1), com o intuito de sintetizar conhecimentos que possam fornecer condições aos consumidores interessados em reverter o crescimento da produção de REEE. Através de uma ferramenta didática, que além de promover a gestão sustentável desses resíduos, também forneça informações sobre como preservar os equipamentos e sensibilizar para o consumo consciente e sustentável.

Fluxograma 1: Investigação sobre os fatores impulsionador da produção de REEE



Fonte: Autoria própria.

4.1.1 Fatores impulsionantes da produção de REEE

Foram encontrados três fatores apontados como responsáveis pela redução da vida útil dos EEE: **o mau uso**, relacionado ao desapego emocional e econômico com o equipamento, ou o uso para finalidades ou condições para as quais o equipamento não foi feito (Hernandez; Miranda; Goñi, 2020); **o desinteresse em reparar**, relacionado à falta de conhecimento, falta de peças de reposição, restrições de garantia, falta de incentivo econômico, desapego emocional e econômico, e à falta de características de reparabilidade dos equipamentos (Fishlock; Thompson; Grewal, 2023; Parajuly et al., 2024); e o fator mais relevante, inclusive responsável pelas causas do desinteresse, a **obsolescência programada**, que pode ser simplificada como a redução proposital da vida útil dos equipamentos (Zanatta, 2013), além da criação de barreiras intencionais para a reparação (Mascarenhas; Públio, 2020).

Esta descoberta guiou a pesquisa a investigar a origem da obsolescência; seus impactos econômicos, sociais e ambientais, além dos já conhecidos sobre os REEE; e como combater a implantação da obsolescência nos EEE.

4.1.2 Origem da obsolescência

As técnicas de produção em massa do pós-revolução industrial, somado a crise econômica de 1929 causaram uma baixa no consumo e um excedente de produção, levando Bernard London (1932) a propor o fim da depressão através da obsolescência programada (Conceição; Conceição; Araújo, 2014; Rocha; Souza, 2017).

A partir de 1945 o marketing começou a atuar com a obsolescência perceptiva, convencendo os consumidores de que seus equipamentos eletroeletrônicos estão socialmente

defasados, mesmo que em perfeito estado de funcionamento, e que devem ser trocados para demonstrar seu poder de compra, exibindo assim seu status social (Conceição; Conceição; Araújo, 2014).

A popularização dos computadores de uso pessoal, a partir dos anos 1980, deu início à produção de diversos outros equipamentos que necessitam de software para funcionar, como laptops, smartphones, smart TVs, etc, trazendo a possibilidade de implantação da obsolescência através de alguma rotina na programação ou na atualização do sistema operacional (Martarello, 2018; Santos, 2018; Amorim, 2019).

4.1.3 Impactos econômicos, sociais e ambientais

A obsolescência programada e a obsolescência perceptiva aceleram a redução da vida útil dos EEE, potencializando a geração de REEE e que, mesmo com a gestão adequada, causa problemas econômicos, sociais e ambientais.

O prejuízo econômico causado aos consumidores está associado à necessidade de reparar ou substituir o equipamento devido a falhas cada vez mais breve, além do provável aumento de custo do novo equipamento (Santos; Guarnieri; Cerqueira Streit, 2021). Os resíduos produzidos demandam gastos para o Estado e para as empresas na logística e na reciclagem, custos que são repassados aos consumidores na forma de impostos e aumento de preço (Layrargue, 2002).

Os países de economia periférica têm seus recursos naturais e humanos explorados pelas grandes empresas. A extração de matéria prima é a primeira exploração da natureza, seguida pela poluição gerada na manufatura e pela exportação dos REEE para esses países. A mão de obra é explorada com péssimas condições de trabalho e baixos salários. Além disso, há a exploração financeira dos juros dos empréstimos para adquirir os equipamentos, que muitas vezes esses trabalhadores são induzidos a necessitar (Leonard, 2011; Rocha; Souza, 2017).

Esses impactos sociais são disfarçados pelo aumento do Produto Interno Bruto (PIB), que deixa de fora elementos fundamentais como a desigualdade de renda e os danos ao meio ambiente (Zanatta, 2013; Bradley; Persson, 2022). Na reciclagem o impacto social se apresenta na exploração dos catadores, que dividem seus lucros com a indústria (66%), com a prefeitura (11%) e com os sucateiros (10%), restando apenas 13% (Layrargue, 2002).

Os impactos ambientais vão além dos efeitos poluidores dos REEE, causando esgotamento dos recursos naturais, poluindo os ecossistemas durante a exploração, manufatura e transporte, e aumentando a emissão de gases do efeito estufa, com consequências no aumento

da temperatura do planeta e na ocorrência de catástrofes ambientais globais (Layrargue, 2002; Loureiro, 2019; Azadi et al., 2020; Giese, 2022)

4.1.4 Movimento mundial pelo Direito ao Reparo

A obsolescência programada vai além da utilização de matérias de baixa durabilidade na fabricação dos EEE, existindo todo um conjunto de barreiras impostas pelos fabricantes, que complicam o processo de manutenção para os consumidores (Mascarenhas; Públio, 2017).

Entre as barreiras implantadas na concepção dos EEE estão a dificuldade de abrir o equipamento sem destruí-lo, devido ao uso de parafusos proprietários, carcaças coladas em partes antes parafusadas e lacres que, se violados, invalidam a garantia; a inexistência de peças de reposição ou, quando existem, o alto custo dessas peças; a dependência de software proprietário e a limitação de atualizações; e a alta escala de integração dos componentes, muitas vezes com peças soldados onde antes era removíveis (Mascarenhas; Públio, 2017; Ozturkcan, 2023; Parajuly, 2024).

O movimento mundial pelo Direito ao Reparo é um conceito relativamente novo e vem ganhando adeptos, principalmente na Europa e nos Estados Unidos, com resultados concretos no combate a obsolescência programada, contribuindo diretamente com o prolongamento da vida útil dos EEE ao defender o direito dos consumidores de reparar seus equipamentos eletroeletrônicos (Mascarenhas; Públio, 2020).

O movimento é fundamentado no conceito de que, ao adquirir um equipamento, você tem o direito legal de repará-lo sozinho ou de escolher livremente quem o fará (Ozturkcan, 2023), e procura assegurar que, através da criação e aprovação de leis, os consumidores e reparadores independentes tenham pleno acesso a informações necessárias para a manutenção de seus equipamentos; encontrem peças e ferramentas para os reparos; os designs possibilite o reparo; e que não sejam punidos por não ter feito o reparo na autorizada (Mascarenhas; Públio, 2020; Ozturkcan, 2023). Como detalhado no Quadro 7.

Quadro 7. Reivindicações do movimento pelo direito ao reparo.

| Tema | Pautas reivindicadas | | |
|------------------------------------|--|--|--|
| Acesso à Informações | Disponibilização de: | | |
| | Manuais de funcionamento | Manuais de reparo | Especificações técnicas |
| Disponibilidade de Peças | Disponibilização a custo acessível de: | | |
| | Peças de reposição | Acesso a componentes essenciais | |
| Facilidade de Reparo | Reparabilidade no design | Disponibilização das ferramentas necessárias ao reparo | |
| Divulgação de informações na venda | Etiquetagem com o índice de reparabilidade | Indicação da vida útil dos produtos | Informações sobre a atualização de software; |
| Garantia de Não Retaliação | Proteção contra a retaliação por parte do fabricante | Liberdade para escolher a assistência técnica | Liberdade para reparar seu equipamento |

Fonte: Autoria própria.

A integração dessas pautas promove um ambiente onde os consumidores podem exercer seu direito ao reparo e contribuem para a longevidade dos equipamentos eletroeletrônicos, com reflexo na redução da produção de resíduos, ao mesmo tempo que fortalecem o compromisso com a justiça social e a responsabilidade ambiental.

Para efetivar essas reivindicações é necessária uma mudança nas dinâmicas das relações entre os atores envolvidos, passando por uma reconfiguração na maneira como Estado, fabricantes, consumidores e profissionais autônomos interagem e colaboram (Quadro 8). Necessitando de um compromisso regulatório robusto para equilibrar os direitos e responsabilidades de todos os envolvidos, o que inclui o estabelecimento de padrões rigorosos para a qualidade dos reparos, garantia de disponibilidade de peças de reposição e ferramentas de qualidade e o fornecimento de formação necessária aos técnicos de reparo (Soares, 2022).

Quadro 8. Atribuições aos protagonistas do movimento pelo direito ao reparo

| Protagonista | Atribuições | | | |
|---------------------|---|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Estado | Legislação para o reparo | Fiscalização da conformidade | Incentivo à reparabilidade | Multas por não conformidade |
| Fabricantes | Designe para reparabilidade | Disponibilidade a preço justo de: | Manuais de reparo | |
| | | | Esquemas eletrônicos | |
| | | | Componentes de reposição | |
| | | | Ferramentas para teste e reparação | |
| Autônomos | Possibilidade de reparar sem causar prejuízo à garantia do fabricante | | Suporte e consultoria | Educação e treinamento |
| Consumidores | Valorização dos seus equipamentos | Interesse em reparar | Conhecimento técnico | Consciência ambiental |

Fonte: Autoria própria.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS

Os equipamentos eletroeletrônicos possuem semelhanças que podem ser úteis na categorização para a organização da logística, do reparo e da reciclagem (Quadro 9). Uma diversidade de categorização de EEE e de REEE já está documentada, contemplando algumas dessas semelhanças citadas. No Brasil temos o Decreto Nº 12.240 e a NBR 16156 da ABNT. Na União Europeia a categorização é feita pela Diretiva nº 19 de 2012 (Kohl; Gomes, 2017).

Quadro 9. Semelhanças usada na categorização e descrição de EEE

(continua)

| Especificação | Descrição |
|-------------------------|--|
| Funcionalidade | Indica para que serve o equipamento, como aquecimento, entretenimento, comunicação, etc. |
| Tamanho | Está relacionado com as dimensões físicas do equipamento. |
| Composição principal | Indica se o equipamento é composto predominantemente por metal, plástico, se possui motor, se possui placa eletrônica, etc |
| Riscos ambientais | Indica se o equipamento possui em sua composição metais pesados, elementos químicos tóxicos ou radioativos |
| Riscos no manuseio | Indica o risco de cortes, incêndio, explosão, choque e riscos de contaminação pelos itens dos Riscos Ambientais |
| Técnicas de conservação | Indicam grupos de cuidados, como instalação, limpeza, preservação, etc. |
| Defeitos | Indica os defeitos mais comuns na categoria |
| Testes | Indica os testes possíveis e comuns à categoria |
| Reparos | Indica os reparos possíveis e comuns à categoria |

| | |
|----------|--|
| Descarte | Indica grupos de resíduos, com base na composição, dimensões, riscos ambientais, reciclabilidade, valor econômico do resíduo, etc. |
|----------|--|

Fonte: Autoria própria.

O Decreto Nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020, que estabelece normas para a implementação de sistemas de logística reversa obrigatória de produtos eletrônicos de uso doméstico e de seus componentes, não possui uma categorização bem específica, definindo apenas como equipamentos eletroeletrônicos de uso doméstico.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, em sua NBR 16156, categoriza os REEE como: eletrodomésticos; eletroeletrônicos; Informática e telecomunicações; equipamentos de iluminação; fios e cabos; pilhas e baterias (ABNT, 2013). Essa categorização possui uma melhor divisão, mas por se tratar de documentos pagos, prefere-se documentos com maior acessibilidade.

A ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial) divide os REEE em grupos com base na sua finalidade, vida útil, porte e composição, sendo 4 linhas: **Verde** para os equipamentos de informática e telecomunicação; **Marrom** para os equipamentos de consumo; **Branca** para os grandes eletrodomésticos; e **Azul** para os pequenos eletrodomésticos e ferramentas elétricas (Oliveira; Lopes, 2024). Embora essa categorização facilite o processo de descarte e reciclagem, ela agrupa equipamentos que não são tão semelhantes, não atendendo à necessidade específica de categorização do manual.

A Diretiva nº 19 de 2012 da Comunidade Europeia (CE) possui mais categorias, que levam em conta: o tamanho do equipamento; a predominância de componentes elétrico ou eletrônicos; a potencialidade de contaminação; e sua finalidade como eletrodoméstico, equipamento de comunicação, brinquedo, ferramenta, sensores, etc. (União Europeia, 2012). A classificação pela diretiva europeia é a mais utilizada nas literaturas por ser a mais abrangente, eficaz e acessível (Pereira, 2018).

A categorização da Diretiva Europeia 2012/19/UE foi utilizada na elaboração do manual didático voltado à preservação, reparo e gestão sustentável dos equipamentos eletroeletrônicos e seus resíduos (Quadro 10).

Quadro 10. Classificação dos REEE utilizada no manual didático.

| Categoria | | Exemplos |
|-----------|---|--|
| 1 | Grandes Eletrodomésticos | Inclui dispositivos maiores de uso doméstico. |
| 2 | Pequenos Eletrodomésticos | Ex.: Geladeiras, fogões, máquinas de lavar. |
| 3 | Equipamentos de Informática e Telecomunicações | Inclui dispositivos menores de uso doméstico. |
| 4 | Aparelhos Eletrônicos de Consumo e Painéis Foto Voltaicos | Ex.: Liquidificadores, secadores de cabelo, torradeiras. |
| 5 | Iluminação | Inclui dispositivos de TI e comunicação. |
| 6 | Ferramentas Elétricas e Eletrônicas | Ex.: Computadores, celulares, roteadores. |
| 7 | Brinquedos, Equipamentos Esportivos e de Lazer | Inclui dispositivos de entretenimento. |

Fonte: Adaptado da Diretiva Europeia 2012/19/UE (WEEE- Waste Electrical and Electronics Equipments)

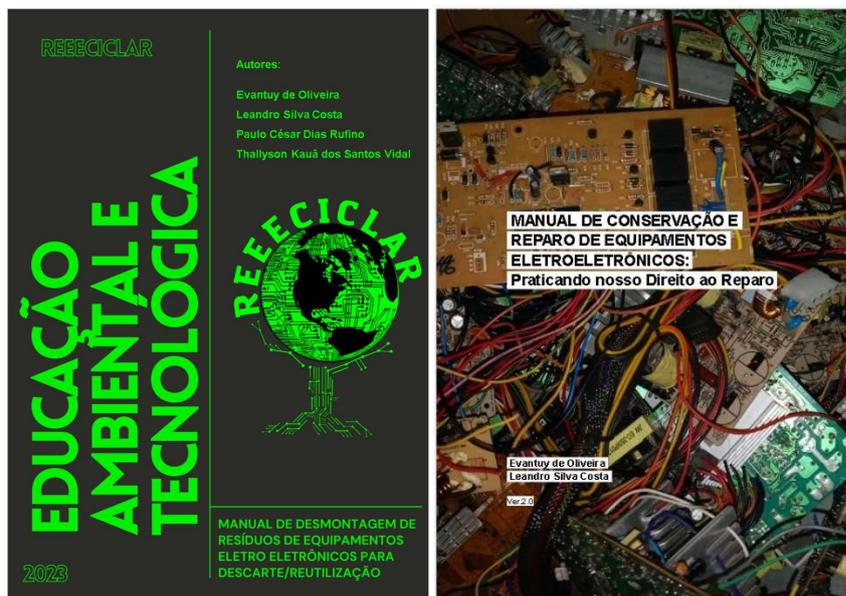
Foram escolhidos os equipamentos mais comuns do nosso dia a dia, seja em nossas residências ou em nosso local de trabalho. Tanto a pesquisa bibliográfica quanto os materiais do laboratório de manutenção foram fundamentais na definição dos equipamentos selecionados para o manual, fornecendo dados precisos e exemplos práticos, como a sequência de abertura, testes de defeitos e imagens desses procedimentos. A versão utilizada é uma adaptação que não aborda as categorias 8, 9 e 10 da Diretiva Europeia, que correspondem, respectivamente, a Equipamentos Médicos, Instrumentos de Monitoramento e Controle, e Equipamentos Automáticos de Distribuição. Essas categorias não foram contempladas por se tratar de equipamentos mais complexos, que exigem mais conhecimento técnico e que oferecem mais riscos no seu manuseio (Santos; Guarnieri; Cerqueira Streit, 2021).

4.3 CONSTRUÇÃO DO MANUAL DIDÁTICO

As atribuições aos protagonistas do movimento pelo Direito ao Reparo (Quadro 8) evidenciam a necessidade de mudança na dinâmica das relações entre produtores, consumidores e produto. Para que os consumidores possam contribuir com a redução da produção de REEE precisam de motivação, condições de reparar e capacidade de reparar. Existindo a possibilidade de um novo nicho de serviços para os fabricantes, o mercado da reparação, com a oferta de manuais, kits de ferramentas, componentes, etc. (Hernandez; Miranda; Goñi, 2020).

Os manuais produzidos (Figura 3) contribuem com o movimento pelo Direito ao Reparo e com a redução da produção de REEE, através de instruções para o prolongamento da vida útil dos EEE, sendo duas as estratégias principais: a conservação como um cuidado preventivo, e o reparo como ação reativa (Hernandez; Miranda; Goñi, 2020).

Figura 3 - Capa do primeiro e do segundo manual



Fonte: Elaboração própria em 2024

Nas técnicas de conservação foram pesquisadas e analisadas as principais técnicas de instalação, armazenamento e bom uso para os EEE selecionados, visando prolongar sua vida útil. Nas técnicas de reparo foram coletados os principais procedimentos de testes desses equipamentos (Braga, 2016), e quais os reparos podem ser feitos sem a necessidade de conhecimentos especializados.

Com base nos níveis de dificuldade podemos classificar os reparos em três tipos: o **Reparo básico**, podendo ser a montagem ou uma simples colagem de um equipamento; o **Reparo de nível médio**, que exigem certa habilidade e conhecimento para troca e montagem de partes dos equipamentos; e o **Reparo de nível avançado**, que exigem habilidades e conhecimentos técnicos de diagnóstico e manutenção corretiva. (Hernandez; Miranda; Goñi, 2020). A abrangência dos manuais ficou delimitada aos equipamentos eletroeletrônicos que possibilitam testes e reparos sem maior complexidade e com riscos controláveis.

Para o processo de desmontagem, foram investigados os principais cuidados e técnicas de desmontagem não destrutiva de equipamentos eletroeletrônicos. Essa abordagem permite recuperar o valor agregado equipamentos (Xavier et al., 2020) e possibilita a reutilização dos componentes dos REEE na reparação e refabricação de outros equipamentos (Medeiros et al., 2019).

Como a vida útil dos equipamentos eletroeletrônicos chegará inevitavelmente ao fim e os seus resíduos necessitam de uma gestão adequada, pois um descarte comum desse tipo de resíduo, isto é, junto com os resíduos sólidos residenciais, causaria a sua destruição e,

consequentemente, a mistura de componentes. A destruição dos REEE, além de potencializar o risco de contaminação, também dificulta a separação, aumentando o custo ou até inviabilizando a reciclagem (Lima et al., 2015). Essa preocupação levou a pesquisar como destinar corretamente os REEE e quais os pontos de coleta nas principais capitais do Brasil (Bubicz et al., 2017; Lopes; Oliveira, 2017).

No início de cada manual existe uma apresentação dos autores, com a motivação da criação do manual e um breve resumo. Por questões de segurança, no segundo manual que possui reparos de nível básico e médio, já alertamos nesse tópico da existência de riscos no uso de algumas ferramentas, na manipulação e nos reparos de equipamentos específicos. Também é apresentada a simbologia que será usada para alertar a existência e o tipo de risco (Figura 4), e que o alerta será acompanhado de técnicas para minimizá-los.

Figura 4 - Imagem com as simbologias utilizadas para alertar dos riscos

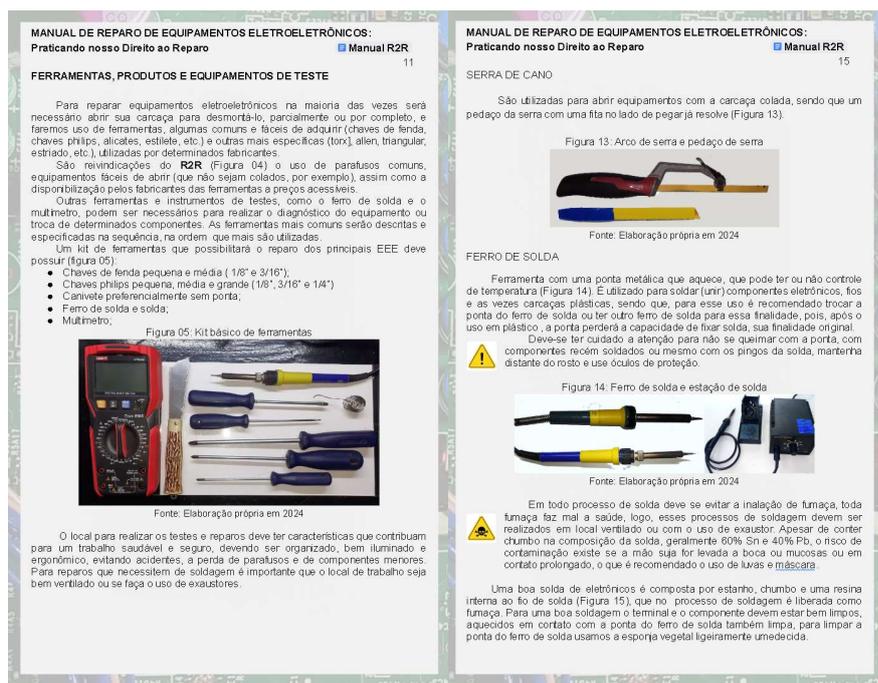
| Riscos no manuseio | Risco de contaminação | Riscos de choque |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Riscos gerais que podem ser de cortar ou perfurar os dedos no manuseio. | Riscos de contaminação por metais pesados ou outros elementos químicos. | Riscos de choque elétrico, descargas eletrostáticas ou arcs elétricos. |

Fonte: Elaboração própria em 2024

O tópico seguinte a apresentação traz informações gerais, contextualizando o assunto na tentativa de motivar o leitor à gestão sustentável e o reparo. Este tópico contém definições do que é um equipamento eletroeletrônico; o que são seus resíduos; qual o potencial de poluição ambiental e danos à saúde que desses resíduos; como a obsolescência potencializa a produção de resíduos; e como o movimento pelo direito ao reparo contribui para minimizar os efeitos da obsolescência (apenas no segundo manual).

Os manuais possuem um tópico com a apresentação das ferramentas, estando mais detalhada no segundo manual que inclui produtos químicos e equipamentos de testes que podem ser necessários para a conservação e o reparo dos EEE, destacando os possíveis riscos no manuseio e como minimizá-los (Figura 5).

Figura 5 - Trecho do manual com as ferramentas e equipamentos para o reparo



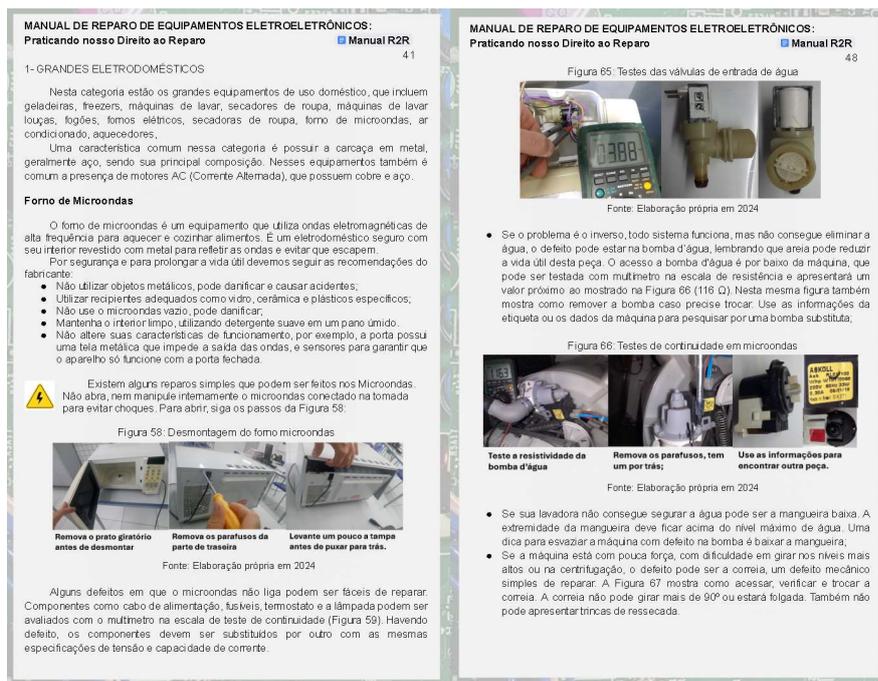
Fonte: Elaboração própria em 2024

Os dois manuais apresentam técnicas gerais de conservação e recomendações gerais para a desmontagem, porém, o segundo manual traz na sequência o seu principal diferencial, as técnicas de reparo dos defeitos mais comuns nos equipamentos.

Os reparos no segundo manual começam pelos acessórios, especificamente os controles remotos e as fontes de alimentação ou carregadores, que são acessórios comuns a diversos equipamentos. As baterias recarregáveis, também comuns em diversos EEE, são contempladas em um tópico seguinte, contendo técnicas de conservação e cuidados. Em seguida, o manual aborda o reparo dos equipamentos eletroeletrônicos, conforme a sequência do Quadro 10.

Para cada categoria de equipamento, são abordadas as características gerais, os equipamentos pertencentes ao grupo e as especificidades de composição da categoria. Em seguida, para cada equipamento, são apresentadas a sua especificação, recomendações de uso para prolongar a sua vida e os defeitos mais comuns, com imagens demonstrando como testar e reparar (Figura 6). Sempre que algum reparo oferece riscos, a simbologia de alerta é utilizada, seguida de técnicas para minimizá-los. Os reparos mais arriscados não foram contemplados no manual.

Figura 6 - Trecho do manual com a introdução a categoria e instruções de reparo



Fonte: Elaboração própria em 2024

Os manuais encerram com a localização dos principais pontos de coleta de REEE: no primeiro, específico para Natal-RN, e no segundo manual, também para outras cidades do Brasil.

No segundo manual, antes de direcionar ao descarte correto, possui um tópico que reforça a relevância dos 3 R 'S da sustentabilidade (Quadro 11), destacando como proceder com a Redução, a Reutilização, e a Reciclagem., nessa ordem de prioridade. Este segundo manual também tem como diferencial contemplar os 3 R 'S da sustentabilidade, pois:

- A reparação é a opção que demanda menos recursos, tempo e energia para reintegrar o produto ao sistema;
- O reaproveitamento pode reduzir os custos dos ciclos industriais, aumentar os lucros e diminuir os impactos ambientais; e
- A reciclagem reduz o volume de lixo, gera empregos formais e informais, e contribui para o desenvolvimento da cidadania.

Assim, a reciclagem, reutilização e redução de REEE favorecem o tripé social, ambiental e econômico (Rocha; Souza, 2017).

Quadro 11. Relevância dos 3 R 'S da sustentabilidade apresentados no manual

| Objetivo | Foco | Ações |
|------------------|------------------------------------|--|
| 1º REDUZIR | Redução do consumo | Avaliação da real necessidade de aquisição de um EEE ou de sua troca; Aquisição de EEE de qualidade para que tenham durabilidade; Aquisição de modelos que tenham reparabilidade; Preservar dos seus EEE com o uso correto e manutenção preventiva |
| | Combate à obsolescência perceptiva | Ter segurança e maturidade para não se moldar às modas e culturas vazias e consumistas; Regulação das propagandas excessivamente apelativas no quesito de incentivar o consumismo; |
| | Combate à obsolescência programada | Ações governamentais em legislações, fiscalização e incentivos; Ações das empresas voltadas a durabilidade e reparabilidade; Ações dos consumidores cobrando o governo, escolhendo empresas compromissadas com a sustentabilidade e agindo com consciência ambiental |
| 2º REUTILIZAR | Reparação | Contribui para: Reduz a produção de de resíduo; Reduz a necessidade de fabricar de novos EEE; Reduz a extração de matéria prima da natureza. |
| | Doação | Doar ou vender a preço justo os EEE que estejam funcionando |
| | Desmonte | O desmonte correto dos REEE possibilita: O comércio de partes e componentes; Utilizadas no ensino em laboratórios de escolas e cursos técnicos; Utilizadas para a criação de um novo produto; Transformada em outros equipamentos; Matéria prima para construção; Matéria prima para arte ou artesanato. |
| 3º RECICLAR | Destinação adequada | Coleta ou descarte em local adequado; Triagem e Separação manualmente ou por máquinas; Desmontagem para remover de componentes valiosos e perigosos; Processamento e separação dos plásticos e metais, incluindo metais preciosos, para serem recuperados, reutilizados ou descartados adequadamente. |

Fonte: Autoria própria.

Os manuais podem ser acessados gratuitamente respectivos links (Quadro 12):

Quadro 12: Manuais e links de acesso

| Manual | | Tópicos | Link | Capa |
|--------|--|--|---|---|
| 1 | Manual de desmontagem de Resíduos e Equipamentos Eletroeletrônicos para reciclagem/reutilização. | Preservação; Ferramentas; Desmontagem; e Descarte | https://drive.google.com/file/d/14Y2EkOrgETlOqUgKI8NDn95UW-Ibo1q/view?usp=drive_link |  |
| 2 | Manual de Conservação e Reparo de Equipamentos Eletroeletrônicos: Praticando nosso Direito ao Reparo | Motivação; Ferramentas; Conservação; Desmontagem; Reparo; 3 R 'S; | https://drive.google.com/file/d/1iLoTc2NbPafehFHutwQwfcLYUHdwBBQp/view?usp=drive_link |  |

Fonte: Autoria própria.

4.3.1 Critérios da CAPES para produtos técnicos

Os manuais produzidos são frutos do mestrado profissionalizante do Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais, na Linha de Sustentabilidade e Gestão dos Recursos Naturais, categorizado como material didático, por ser um produto de apoio/suporte com fins didáticos na mediação de processos de ensino e aprendizagem em diferentes contextos educacionais (CAPES, 2019)

Na categoria de aderência, os manuais, são destinados ao Ensino Médio, proporcionando uma contribuição para a resolução do problema socioambiental da excessiva produção de REEE e seu descarte incorreto. Contribuindo também para o desenvolvimento científico, pois são materiais para ser usado no ensino, na pesquisa e na extensão, estabelecendo uma reflexão crítica sobre a gestão dos REEE tanto no âmbito local (Canguaretama), quanto na problemática global.

Em relação ao impacto, o conhecimento contido no manual sobre a problemática REEE, junto com estratégias para reduzir sua produção e como realizar o descarte adequadamente, são materiais de sensibilização para todos os consumidores de equipamentos eletroeletrônicos e que contribui com a redução, reutilização e reciclagem, com conseqüente economia material e ambiental.

Os manuais estão disponíveis gratuitamente e podem ser usados como material didático em qualquer escola de ensino médio e cursos profissionalizantes. Sua linguagem simplificada e o uso de imagens também possibilitam a aplicação na autoaprendizagem.

Como caráter inovador os manuais trazem técnicas simples e aplicáveis de prolongar a vida dos EEE através do bom uso e do reparo. O segundo manual apresenta o conceito e reivindicações do movimento pelo Direito ao Reparo, um movimento em crescimento e que contribui para a gestão dos REEE.

Os produtos técnico-tecnológico do projeto não apresentam grande complexidade, entretanto, é uma ferramenta interdisciplinar, isto é, envolve várias disciplinas, sendo essa uma característica da área de ciências ambientais. A interdisciplinaridade também é cobrada na formação dos alunos nos currículos atuais. Para o desenvolvimento desses materiais, foram necessários conhecimentos de ciências da terra, com o estudo dos impactos da poluição tanto do ponto de vista ambiental quanto social; impactos biológicos e consequências na saúde que os REEE podem causar; engenharia elétrica, na análise e testes dos equipamentos eletroeletrônicos; e conhecimentos de didática, utilizados na preparação do material educacional.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento e uso de ferramentas didáticas para a sensibilização e gestão sustentável de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) é uma iniciativa fundamental diante da crescente produção de equipamentos eletroeletrônicos e seus resíduos tão complexos e contaminantes. Este trabalho teve como objetivo principal promover a gestão sustentável de REEE, sensibilizando e capacitando indivíduos nos princípios da economia circular.

Através da revisão sistemática, foi possível destacar os aspectos relacionados à gestão sustentável de equipamentos eletroeletrônicos, incluindo técnicas de conservação, reparo e destinação adequada dos REEE. A caracterização dos principais equipamentos eletroeletrônicos descartados no laboratório de manutenção de computadores do IFRN - Campus Canguaretama, bem como outros equipamentos presentes em nosso cotidiano, forneceu uma base sólida para o desenvolvimento das ferramentas educacionais, essenciais para a promoção da gestão sustentável.

Os resultados e discussões revelaram os fatores que impulsionam a produção de REEE, desde a origem da obsolescência e os impactos econômicos, sociais e ambientais associados. O movimento mundial pelo direito ao reparo foi destacado como uma resposta significativa a esses desafios. A construção do manual didático, com um referencial teórico robusto, abordou o problema dos REEE, o direito ao reparo, ferramentas, riscos, cuidados e reparos, os 3Rs da sustentabilidade e locais para a destinação adequada dos REEE.

Em suma, este trabalho contribuiu para a promoção da sustentabilidade ao fornecer ferramentas práticas e educacionais que incentivam a conservação, reparação e reutilização de equipamentos eletroeletrônicos. A interação entre governo, mercado e sociedade é essencial para fortalecer a economia circular e reduzir os impactos ambientais, sociais e econômicos dos REEE. A continuidade desse esforço é fundamental para alcançar um desenvolvimento verdadeiramente sustentável.

Além disso, pretendo validar o manual através de uma oficina direcionada aos alunos do IFRN-Canguaretama, seguida de um questionário já autorizado pelo Conselho de Ética (CEP). Infelizmente, essa validação não ocorreu devido a contratempos da greve. No futuro, planejo continuar atualizando o manual, adicionando o reparo de outros equipamentos.

Como proposta, sugere-se criar um ponto de coleta para REEE no IFRN de Canguaretama, o que é relevante, pois na região não há pontos de coleta de REEE. Adicionalmente, recomenda-se realizar um evento de reparo (*Repair Day*), semelhante aos que

vêm ocorrendo em outros lugares. Esses eventos vão além dos serviços de reparação, construindo relações sociais e promovendo práticas não consumistas de cidadania. Essas ações visam fortalecer ainda mais a gestão sustentável de REEE e promover a economia circular na comunidade.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, A. C. A. Obsolescência programada e proteção dos consumidores: abordagem comparada de direito luso-brasileiro. *Revista de Direito, Estado e Telecomunicações*, v. 11, n. 2, p. 153-176, 2019. Disponível em: <https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Aagd%3A13%3A2021325/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Aagd%3A140969224&crl=c> Acesso em: 16 jun. 2023.
- ANNAMALAI, J. Occupational health hazards related to informal recycling of E-waste in India: An overview. *Indian journal of occupational and environmental medicine*, v. 19, n. 1, p. 61, 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4446940/>. Acesso em: 11 out. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16156: Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos - Requisitos para atividade de manufatura reversa. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSUMPCÃO, Lia. Obsolescência programada, prática de consumo e design: uma sondagem sobre bens de consumo. 2017. Dissertação (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017.
- AZADI, M.; NORTHEY, S. A.; ALI, S. H.; EDRAKI, M. Transparency on greenhouse gas emissions from mining to enable climate change mitigation. *Nature Geoscience*, v. 13, n. 2, p. 100-104. 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41561-020-0531-3>. Acesso em: 30 jun. 2024
- BEZERRA, A.P.X.G.; ZAPONI, J.R.C.; MOTA, A.M.V.; HOLANDA, R.M. Gerenciamento dos resíduos eletroeletrônicos do centro administrativo do complexo industrial portuário governador Eraldo Gueiros – Suape. In BEZERRA, P.L.B.; AGUIAR, W.J.; EL-DEIR, S.G.; (Orgs) Resíduos sólidos: gestão em indústrias e novas tecnologias. 2a. edição Gampe/UFRPE Recife, 2017. p. 103-116.
- BRADLEY, K.; PERSSON, O. Community repair in the circular economy—fixing more than stuff. *Local Environment*, v. 27, n. 10-11, p. 1321-1337, 2022. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13549839.2022.2041580>. Acesso em: 30 jun. 2024
- BRAGA, Newton C. *Conserte Tudo - Guia prático do reparador eletrônico*. 2. ed. São Paulo: Newton C. Braga, 2016. ISBN 9788565050982.
- BRASIL. Decreto n. 99.658, 30 de outubro de 1990. Regulamenta, no âmbito da Administração Pública Federal, o reaproveitamento, a movimentação, a alienação e outras formas de desfazimento de material. Brasília, out. 1990. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=DEC&numero=99658&ano=1990&ato=9a4AzYU1EMFpWT646>. Acesso em: 10 out. 2023.
- BRASIL. Presidência da República. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm. Acesso em: 15 jun. 2023.

BRASIL. Presidência da República. Normas para a implementação de sistema de logística reversa obrigatória de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes. Decreto Nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Decreto/D10240.htm. Acesso em: 28 set. 2023.

BUBICZ, M. E.; SELITO, M. A.; GOMES, L. P.; KOHL, C. A. Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE): o que são, que riscos oferecem e como destiná-los. In: ZANTA, Viviane M. (Orgs.). *Gestão e Valorização de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos - Coletânea de Artigos*. Belo Horizonte/MG: Ed. dos Autores, 2017. p. 10-36.

CAPES. GT de Produção Técnica. Relatório de Grupo de Trabalho. Brasília: CAPES, 2019. Disponível em: http://www.capes.gov.br/images/novo_portal/documentos/DAV/avaliacao/10062019_Prdução-Técnica.pdf. Acesso em: 28 out. 2024.

CELINSKI, T. M.; CERUTTI, D. M. L.; IELO, G. P. F.; CELINSKI, V. G., CERUTTI, I. A. Gestão do lixo eletrônico: desafios e oportunidades. In: IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Salvador. 2013. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/I-015.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2023.

CONCEIÇÃO, J. T. P.; CONCEIÇÃO, M. M.; ARAÚJO, P. S. L. Obsolescência programada – tecnologia a serviço do capital. *INOVAE - Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation* (ISSN 2357-7797), v. 2, n. 1, p. 1-15, 2014. Disponível em: <https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/inovae/article/view/386/548>. Acesso em 30 ago. 2024.

COSTA, Leandro Silva. *Guia prático de escrita científica*. Rio de Janeiro: Frutificando, 2024.

DAMASCENO, Adriana Monteiro. *O descarte de lixo eletrônico (pilhas e baterias): uma atividade investigativa em educação ambiental*. Minas Gerais: Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-AFDNF7>. Acesso em: 25 set. 2023

FISHLOCK, S.; THOMPSON, M.; GREWAL, A. Sustainable Engineering Design in Education: A Pilot Study of Teaching Right-to-Repair Principles through Project-Based Learning. *Global Challenges*, v. 7, n. 10, p. 2300158, 2023. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/gch2.202300158>. Acesso em: 30 jun. 2024

GIESE, E.C.; *Biominação urbana no pós-covid-19: uma “disputa verde” por metais críticos*. In ALMEIDA, I.M.S.; SILVA, K.A.; EL-DEIR, S.G.; (Orgs) *Resíduos Sólidos: Gestão e gerenciamento*. 1a. edição Gampe/UFRPE Recife, 2022 p. 561-569

GIL, Antônio C. *Como Elaborar projetos de pesquisa*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GRUBBA, L. S.; LOCATELLI, H. Obsolescência programada: impactos no desenvolvimento sustentável e sustentado na sociedade contemporânea. *Revista de Direito*, v. 15, n. 1, p. 1-25. 2023. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8843557.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2023.

HERNANDEZ, R. J.; MIRANDA, C.; GONI, J. Empowering sustainable consumption by giving back to consumers the 'right to repair. *Sustainability* 12 (3), 850. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/3/850>. Acesso em: 15 jun. 2023.

HOUSSIONON, M. G. K.; OUENDO, E. M. D.; BOULAND, C.; TAKYI, S. A.; KEDOTE, N. M.; FAYOMI, B.; FOBIL, J. N.; BASU, N. Environmental heavy metal contamination from Electronic Waste (e-waste) recycling activities worldwide: A systematic review from 2005 to 2017. *International journal of environmental research and public health*, v. 18, n. 7, p. 3517, 2021.

IFRN. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Institucional. Lei nº 11.892/2008, de 29 de dezembro de 2008. Disponível em: <https://portal.ifrn.edu.br/institucional/>. Acesso em: 10 out. 2023.

JESUS, J.E.G.; SILVA NETO, M.A.; ALVES, N.B.P.; Gestão de resíduos eletroeletrônicos; obsolescência programada de celulares como limitante da sustentabilidade. In ALMEIDA, I.M.S.; SILVA, K.A.; EL-DEIR, S. G.; (Orgs) Resíduos sólidos: gestão e gerenciamento. 1a. edição Gampe/UFRPE Recife, 2022. p. 247- 259

KOHL, C. A.; GOMES, L. P. Caracterização Física e Potencial Taxa de Reciclagem de Resíduos de Gabinetes de Microcomputadores de Mesa. *Gestão e Valorização de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos - Coletânea de Artigos*. Belo Horizonte/MG: Ed. dos Autores, 2017. p. 82-114.

LAYRARGUES, P. P. O cinismo da reciclagem: o significado ideológico da reciclagem da lata de alumínio e suas implicações para a educação ambiental. *Educação ambiental: repensando o espaço da cidadania*. São Paulo: Cortez, v. 3, 2002. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4929516/mod_folder/content/0/LAYRARGUES%20Cinismo%20da%20reciclagem.pdf. Acesso em: 30 jun. 2024

LEONARD, A. A história das coisas: da natureza ao lixo, o que acontece com tudo que consumimos. Editora Schwarcz-Companhia das Letras, 2011.

LIMA, A. F. O.; SABIÁ, R. J.; TEIXEIRA, R. N. P.; JÚNIOR, F. A. V. S. GESTÃO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS E SEUS IMPACTOS NA POLUIÇÃO AMBIENTAL. *Latin American Journal of Business Management*, [S. l.], v. 6, n. 2, 2015. Disponível em: <https://www.lajbm.com.br/index.php/journal/article/view/256>. Acesso em: 4 set. 2024.

LONDON, B. Ending the depression through planned obsolescence. EAST FORTIETH STREET
NEW YORK, N. Y., 1932. Disponível em: <https://www.gutenberg.org/files/72003/72003-h/72003-h.htm>. Acesso em: 30 ago. 2024

LOPES, L.M.M; CABRAL, C.A.; OLIVEIRA, B.G.M.; RODRIGUES, A.L. Lixo eletrônico nos anos 2014 e 2015 em municípios do agreste e do sertão de Pernambuco. In BEZERRA, P.L.B.; AGUIAR, W.J.; EL-DEIR, S.G.; (Orgs) Resíduos sólidos: gestão em indústrias e novas tecnologias. 2a. edição Gampe/UFRPE Recife, 2017. p. 150-162.

LOPES, R. L.; OLIVEIRA, R. S. Geração de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos de Informática em Instituições Públicas de Ensino: Desafios para o Gerenciamento. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, v. 19, n. 1, p. 251-271, 2017. Disponível em: https://abes-dn.org.br/anaiseletronicos/21silubesa_download/616_tema_iii.pdf. Acesso em: 30 jun. 2024.

LORDELO, C. L.; SANTOS, I. T. Q. P. Desafios do programa de gestão integrada de resíduos eletroeletrônicos em instituição de ensino. In: SILVA, Thamirys Suelle da; MARQUES, Mirella Maria Nóbrega; EL-DEIR, Soraya Giovanetti (Orgs.). *Desmaterialização dos resíduos sólidos: estratégias para a sustentabilidade*. 1a. edição Gampe/UFRPE Recife, 2020. p. 364-376.

LOUREIRO, Saulo Machado. Mitigação das emissões dos gases de efeito estufa pela implementação de políticas públicas de resíduos sólidos e mudanças climáticas no Brasil e no Estado e na cidade do Rio de Janeiro. 2019. 259 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) -Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019

MARIKYAN, D.; PAPAGIANNIDIS, S. Exercising the “Right to Repair”: A customer’s perspective. *Journal of Business Ethics*, v. 193, n. 1, p. 35-61, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10551-023-05569-9> Acesso em: 30 jun. 2024.

MARTARELLO, Rafael de Almeida. A tecnologia com prazo de validade: reflexões acerca da obsolescência programada em serviços públicos. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Humanas e Sociais Aplicadas) – Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2018.

MASCARENHAS, Í. V.; PÚBLIO, C. A. M. O Direito ao reparo como garantia fundamental do consumidor em face à Obsolescência Programada dos produtos eletrônicos/The right to repair as a fundamental consumer guarantee in the face of the Programmed Obsolescence of electronic products. ID on line. *Revista de psicologia*, v. 14, n. 50, p. 178-194. 2020. Disponível em: <https://idonline.emnuvens.com.br/id/article/view/2416/3829>. Acesso em: 16 jun. 2023.

MATARAZZO, A.; TUCCIO, G.; TEODORO, G.; FAILLA, F.; GIUFFRIDA, V. A. Mass Balance as Green Economic and Sustainable Management in WEEE Sector. *Energy Procedia*, Athens, v. 157, p. 1377-1384, 2019.

MEDEIROS, A.M.A.; MARINHO, J.I.M.; COUTINHO, C.N.; LEITE, T.R.N. Logística reversa e economia circular dos resíduos eletroeletrônicos. In: NUNES, I.L.S.; PESSOA, L.A.; EL-DEIR, S.G. (Orgs.). *Resíduos sólidos: os desafios da gestão*. 1a ed. Recife: EDUFRPE, 2019. p. 287-296.

OBANA, F. Y.; SPEROTTO, L. K.; MARINHO, M. R.; SANTOS, R. T. Reutilização e Reciclagem de Equipamentos de Informática em uma cidade de pequeno porte. *Revista Compartilhar*, v. 3, n. 1, p. 63-69, 2018. Disponível em: <https://ojs.ifsp.edu.br/index.php/compartilhar/article/view/903/786>. Acesso em: 22 jun. 2023.

OLIVEIRA, E.; ARAUJO, Â. M. P. de; NEVES, L. R.; COSTA, L. S. REECICLAR: educação ambiental e tecnológica no descarte correto de resíduos eletroeletrônicos (REEE). In: I CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA,

2024, Natal. Anais I CIECT. Natal: Scienceduc, 2024a. DOI: 10.5281/zenodo.13748447. ISBN: 978-65-01-13209-9. Disponível em: <https://zenodo.org/records/13748447>. (no prelo)

OLIVEIRA, E.; COSTA, L. S. Origem e impactos da obsolescência: um levantamento bibliográfico. In: I CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2024, Natal. Anais I CIECT. Natal: Scienceduc, 2024. DOI: 10.5281/zenodo.13763995. ISBN: 978-65-01-13209-9. Disponível em: <https://zenodo.org/records/13763995>. (no prelo)

OLIVEIRA, E.; COSTA, L. S.; LOPES, R. L. Impacto da obsolescência dos equipamentos eletroeletrônicos na produção de resíduos e na influência nas mudanças climáticas. In: EPERSOL: Congresso Brasileiro de Resíduos Sólidos, 11. 2024. BELÉM/PA (no prelo)

OLIVEIRA, E.; VIDAL, T. K. S.; RUFINO, P. C. D.; COSTA, L. S. Manual para desmontagem de equipamentos eletrônicos visando reutilização ou descarte. In: I CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2024, Natal. Anais I CIECT. Natal: Scienceduc, 2024b. DOI: 10.5281/zenodo.13748260. ISBN: 978-65-01-13209-9. Disponível em: <https://zenodo.org/records/13748260>. (no prelo)

OLIVEIRA, R. S.; LOPES, R. L. Manual de gerenciamento para resíduos de equipamentos de informática do IFRN. 2024. Disponível em: https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/2646/MANUAL_VF_RENATA_SANTOS_OLIVEIRA.pdf?sequence=1. Acesso em: 30 jun. 2024.

ONU. Global E-waste Monitor 2024. Disponível em: https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2024/03/GEM_2024_18-03_web_page_per_page_web.pdf. Acesso em: 30 set. 2024.

ONU. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Nações Unidas Brasil, 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 21 jun. 2023.

OZTURKCAN, S. The right-to-repair movement: Sustainability and consumer rights. *Journal of Information Technology Teaching Cases*, p. 20438869231178037, 2023. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/20438869231178037>. Acesso em 30 jun. 2024

PACKARD, Vance. *Estratégia do desperdício*. Instituição Brasileira de Difusão Cultural, 1965.

PARAJULY, K.; GREEN, J.; RICHTER, J.; JOHNSON, M. ; RÜCKSCHLOSS, J.; PEETERS, J.; KUEHR, R.; FITZPATRICK, C. Product repair in a circular economy: Exploring public repair behavior from a systems perspective. *Journal of Industrial Ecology*, v. 28, n. 1, p. 74-86, 2024. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jiec.13451>. Acesso em: 30 jun. 2024

PEREIRA, C. C.; SILVA, F. K.; RICKEN, I.; MARCOMIN, F. E. Percepção e Sensibilização Ambiental como instrumentos à Educação Ambiental Perception and awareness as tools for Environmental Education. *REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, v. 30, n. 2, p. 86–106, 2014. DOI: 10.14295/remea.v30i2.3930. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/remea/article/view/3930>. Acesso em: 3 out. 2024.

PEREIRA, Raissa Silva de Carvalho. Logística reversa de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: proposta de indicadores de monitoramento para órgãos ambientais. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.

PICANÇO, A. P. Método de Tratamento de Placas de Circuito Impresso com Vista à Recuperação de Metais: Uma Revisão. In: ZANTA, Viviane M. (Orgs.). Gestão e Valorização de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos - Coletânea de Artigos. Belo Horizonte/MG: Ed. dos Autores, 2017. p. 37-60.

RICHTER, M. F.; TAVARES, D. L.; MORBACH, J.; OLIVEIRA, C. C. RESÍDUOS ELETRÔNICOS: Efeitos na saúde humana, impacto ambiental e potencial econômico. HOLOS, [S. l.], v. 5, 2022. DOI: 10.15628/holos.2022.13979. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/13979>. Acesso em 24 set. 2024

ROCHA, A. C.; CERETTA, G. F.; CARVALHO, A. P. Lixo eletrônico: um desafio para a gestão ambiental. Revista TechnoEng-ISSN 2178-3586, v. 2, 2020. Disponível em: <http://cescage.com.br/revistas/index.php/RTE/article/view/755>. Acesso em: 4 jul. 2022.

ROCHA, A.; SOUZA, F. R. OBSOLÊNCIA PROGRAMADA DE PRODUTOS ELETROELETRÔNICOS: DIMENSÃO SOCIAL, AMBIENTAL ECONÔMICA. South American Development Society Journal, v. 3, n. 07, p. 50-67, 2017. Disponível em: <https://sadsj.org/index.php/revista/article/view/60>. Acesso em: 30 jun. 2023

ROSSINI, V.; NASPOLINI, S. H. D. F. Obsolescência Programada e Meio Ambiente: A Geração de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos. In: Revista de Direito e Sustentabilidade, v. 3, Brasília, p. 51-71, 2017. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/b618/a00eda1752b552862ff1fffc17b28e69bb72.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2023.

SANTOS, Ana Cristina Carvalho. Obsolescência programada: a aplicabilidade dos artigos 18 e 32 do Código de Defesa do Consumidor na atualização de softwares para smartphones. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Direito) – Faculdade Doctum de Caratinga, Caratinga, 2018

SANTOS, R. R. S.; DECONTE, S. R. LIXO ELETRÔNICO E O MEIO AMBIENTE: A importância da reciclagem do lixo eletrônico. Faculdade Santa Rita de Cássia- UNIFASC – Itumbiara/GO, 2022. Disponível em: <https://unifasc.edu.br/wp-content/uploads/2022/04/30-LIXO-ELETRONICO-E-MEIO-AMBIENTE1.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2023

SANTOS, R. H. M.; GUARNIERI, P.; CERQUEIRA STREIT, J. A. Obsolescência programada e percebida: um levantamento sobre a percepção do ciclo de vida com usuários de aparelhos celulares. Gestão & Planejamento-G&P, v. 22, n. 1, 2021. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/rgb/article/view/5886>. Acesso em 17 jul. 2024

SEATTLE, Chefe. Carta ao Presidente dos Estados Unidos. 1854. Disponível em: [<https://www.csun.edu/~vcpsy00h/seattle.htm>]. Acesso em: 30 set. 2024.

SILVA, L. A. A.; PIMENTA, H. D.; CAMPOS, L. M. de S. Logística reversa dos resíduos eletrônicos do setor de informática: realidade, perspectivas e desafios na cidade do Natal-RN. Revista Produção Online, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 544–576, 2013. DOI: 10.14488/1676-

1901.v13i2.1133. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/1133>. Acesso em: 28 set. 2023

SOARES, Luis Cláudio Suarte. A obsolescência programada aplicada a produtos eletroeletrônicos e o direito de reparar. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Direito) – Faculdade de Inhumas (FACMAIS), Inhumas, 2022

UNESCO. Declaração Universal sobre Bioética e Direitos Humanos. Paris: UNESCO, 2005. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/declaracao_univ_bioetica_dir_hum.pdf]. Acesso em: 30 set. 2024.

UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de julho de 2012, relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE). Jornal Oficial da União Europeia, L 197, p. 38-71, 24 jul. 2012. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32012L0019>. Acesso em: 19 jul. 2023

VAN DER VELDEN, M. ‘Fixing the World One Thing at a Time’: Community repair and a sustainable circular economy. *Journal of cleaner production*, v. 304, p. 127151, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621013706>. Acesso em: 29 jun. 2024

VIEIRA, L. V. L.; OLIVEIRA, T. G.; AZEVEDO, A. O. OS 7 “RS” DENTRO DO IFS. *Anais Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT)*, v. 1, n. 1, p. 317-321. 2019.

XAVIER, L. H. S. M.; OTTONI, M. S. O.; GOMES, C. F.; ARAÚJO, R. A.; BICOV, N.; NOGUEIRA, M.; ESPINOSA, D.; TENÓRIO, J. Guia de desmontagem de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. Rio de Janeiro: CETEM, 2020.

ZANATTA, M. A obsolescência programada sob a ótica do direito ambiental brasileiro. *Ciências Jurídicas e Sociais da Faculdade de Direito da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul*, 2013. Disponível em: https://www.pucrs.br/direito/wp-content/uploads/sites/11/2018/09/marina_zanatta.pdf. Acesso em 30 set. 2023.

ZANELLA, L. C. H. Metodologia de pesquisa. 2. ed. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC, 2013.

APÊNDICE A – ARTIGO PUBLICADO EM ANAIS DE EVENTO: 6º ConReSol
CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE

MANUAL DIDÁTICO SOBRE O DESMONTE E DESCARTE DE APARELHOS
ELETRÔNICOS

DOI: (<http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.XIII-013>)

Evantuy de Oliveira (*), Leandro Silva Costa, Jordana V S Nunes, Victor M S Dias* IFRN campus Canguaretama, e-mail: evantuy@yahoo.com

RESUMO

O descarte incorreto de lixo eletrônico é um problema crescente em todo o mundo e com a rápida evolução da tecnologia, a quantidade de equipamentos eletrônicos descartados aumenta a cada ano. No entanto, muitos desses equipamentos contêm substâncias tóxicas e perigosas que podem prejudicar o meio ambiente e a saúde humana se não forem descartadas de maneira adequada. Além disso, o descarte inadequado de lixo eletrônico também pode levar à perda de recursos valiosos, como metais preciosos e materiais de construção. Portanto, é importante que as pessoas estejam conscientes dos riscos e tomem medidas para garantir que o lixo eletrônico seja descartado de maneira responsável e sustentável. Logo, baseado nesse contexto o presente projeto tem por objetivo geral a produção de material didático sobre a desmontagem de equipamentos eletroeletrônicos para facilitar e incentivar o processo de reutilização e reciclagem do resíduo eletrônico (e-lixo), evitando o descarte incorreto desses resíduos. O manual didático sobre o desmonte e descarte de aparelhos eletrônicos apresenta, através de linguagem simplificada, técnicas e ferramentas acessíveis, os riscos no manuseio dos principais equipamentos eletrônicos; técnicas seguras de manuseio e desmonte; possibilidades de reutilização; e como destinar para a reciclagem, tornando acessível o conhecimento necessário para a realização do descarte e reutilização adequados de materiais eletrônicos. Para o alcance dos resultados foram realizadas pesquisas bibliográficas e campanhas de arrecadação e conscientização sobre o descarte de lixo eletrônico, além de práticas com os equipamentos que foram devidamente coletados e desmontados nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, campus Canguaretama.

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem, Lixo eletrônico, E-lixo, Meio ambiente, Conscientização.

ABSTRACT

The improper disposal of electronic waste is a growing problem worldwide, and with the rapid evolution of technology, the amount of discarded electronic equipment

increases each year. However, many of these device contain toxic and hazardous substances that can harm the environment and human health if not disposed of properly. In addition, improper disposal of electronic waste can also lead to the loss of valuable resources such as precious metals and building materials. Therefore, it is important for people to be aware of the risks and take steps to ensure that electronic waste is disposed of responsibly and sustainably. Based on this context, the present project aims to produce educational material on the disassembly of electronic equipment to facilitate and encourage the process of reuse and recycling of electronic waste, avoiding its improper disposal. The educational manual on the disassembly and disposal of electronic devices presents, through simplified language, accessible techniques and tools, the risks in handling the main electronic equipment; safe handling and disassembly techniques, reuse possibilities, and how to properly dispose of them for recycling, making the necessary knowledge accessible for the adequate disposal and reuse of electronic materials. To achieve the results, bibliographic research and awareness-raising campaigns on electronic waste disposal were conducted, as well as practice with the equipment that were properly collected and disassembled on the premises of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio Grande do Norte, Canguaretama campus.

KEY WORDS: Recycling, Electronic waste, E-waste, Environment, Awareness.

INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico aliado a uma sociedade gradativamente mais consumista foi responsável por suscitar o engendramento acentuado da categoria de lixo desse século: o eletrônico.

Em linhas gerais, o lixo eletrônico, também conhecido como "e-lixo", é todo resíduo de natureza eletrônica, como televisores, celulares, computadores, tablets, baterias e que se encontram em estado de obsolescência.

Deve-se concordar que dentre os principais problemas que concorrem para a crise ambiental, destaca-se a deficiência na gestão de resíduos sólidos que compromete os sistemas naturais, sociais e econômicos e a saúde humana (SILVA, 2009 apud PINHEIRO et al., 2016). E o lixo eletrônico é um dos resíduos sólidos que apresentam maior periculosidade.

É comprovado que a produção de lixo eletrônico cresce 5% ao ano, na qual, cerca de três quilos de lixo eletrônico são gerados a partir da fabricação de cada quilo de computador (FERREIRA e FERREIRA, 2008 p.9). Para a infelicidade dos brasileiros conscientes, o Brasil está entre os países que mais geram resíduos, perdendo apenas para Estados Unidos, China e Índia.

De acordo com dados recentes, cerca de R\$8 bilhões são perdidos anualmente no país por ele enviar resíduos reaproveitáveis a lixões e aterros sanitários das cidades (LOPES, 2012). Isso não é péssimo apenas em termos lucrativos, pois, em conformidade com o documento da Organização das Nações Unidas (ONU), locais de

despejo de lixo sólido convencionais, lixões e aterros sanitários são destinos que já estão se aproximando de um estado de saturação.

Diante dos dados da ONU, o Brasil também foi cotado como campeão na ausência de dados e estudos sobre a situação da produção, reaproveitamento e reciclagem de eletrônicos, assim como: China, Índia, Argentina, Chile, Colômbia, Marrocos, África do Sul (MOI et al., 2012 p.5).

Quando se trata da geração de lixo eletrônico (e-lixo), o Brasil fica em sétimo lugar mundialmente, mas lidera na América Latina, produzindo 1,5 milhão de toneladas desse resíduo por ano e descartando corretamente menos de 5%. GOMES e Melo (2006) apontam que, segundo a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee), a nação brasileira produz, anualmente, por volta de 800 milhões de pilhas comuns. No país, são consumidas 5 pilhas por habitante a cada ano.

Não se pode negar que as políticas públicas e empreendimento não governamentais estão em processo de crescimento nos países emergentes, ou seja, alguns dos meios de se combater o problema do e-lixo estão se desenvolvendo.

Com referência à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída na Lei nº 12.305, no dia 2 de agosto de 2010, e normatizada pelo Decreto 7.404, cabe frisar que a própria é um importante marco no enfrentamento de problemas relacionados à geração e gestão de resíduos sólidos no Brasil. Tal alegação se sucede uma vez que ela põe o descarte de e-lixo sob responsabilidade das empresas de eletrônicos e da sociedade no geral. Falando especificamente, a PNRS institui, em seu artigo 30, uma responsabilidade compartilhada na gestão de Resíduos de Equipamentos Eletro-Eletrônicos (REEE). Foi pensando nessa lei que a Abinee criou a Green Eletron, uma organização sem fins lucrativos sustentada por uma associação de empresas privadas, tendo como objetivo gerir a logística reversa de eletroeletrônicos.

Contudo, o número de empresas que apoiam a reciclagem de eletrônicos ainda é insignificante comparado ao aumento da comercialização desses produtos. Como mostra um relatório produzido pelo IBGE em 2007, a comercialização de eletrônicos no varejo brasileiro cresceu 29,4% e irá aumentar gradativamente. Como consequência, a destinação de grande parte do lixo eletrônico ainda é muito desapontante. Sabe-se que os custos relacionados ao dever determinado por essa lei não são bem distribuídos entre o produtor dos aparelhos eletrônicos e os seus consumidores, pois nem todas as empresas apresentam projetos e programas de coleta e reciclagem satisfatórios. Além disso, a regulamentação da destinação dos resíduos não é tão extensa e rígida. Por isso, "os Órgãos Públicos Municipais, Estaduais e Federais precisam assumir seu papel, além da modificação da legislação, responsabilidades que facilitem a atuação de cada um, no seu setor e na sua possibilidade..." (GOMES e MELO, 2006 p.5).

Outra adversidade quando tratamos da realidade brasileira quanto à causa supracitada é que a maior parte das empresas de reciclagem de e-lixo se encontra nos grandes centros do país, nas regiões Sul e Sudeste. Por conseguinte, tem-se que Norte e Nordeste carecem ainda mais de infraestrutura voltada para a administração do lixo eletrônico que geram. Por sua vez, o Rio Grande do Norte (RN) recicla apenas

2% de todo o seu lixo, ou seja, o trabalho com o e-lixo no estado não é muito avançado.

Como se pode ver no relatório *The–Global–E-waste–Monitor 2020*, da ONU, a capital do RN, Natal, chegou a gerar 16.636 toneladas desse material em 2020. Isto posto, para amenizar as consequências dessa situação, o Governo do Estado lançou, com a ajuda de iniciativas privadas, a campanha RN + limpo, que se caracteriza como a maior campanha voltada para a gestão de e-lixo no RN atualmente. Neste ínterim, já se havia uma campanha em Natal, que ainda é realizada todo ano graças à empresa Urbana, tendo ocorrido a sétima versão em 2018, apoio esse que ocorre na semana do meio-ambiente (por volta de 5 de junho). Em parte, essas iniciativas são resultado da crescente busca das empresas pelo certificado de destinação correta de seus resíduos, que é emitido pela empresa Natal Reciclagem.

Fica demonstrado que todos esses ocorridos são verdadeiros avanços, porém, além de não proporcionarem mudanças em todo o RN, ainda não possuem o destaque necessário, pelo menos não para grande parte da população. Segundo um levantamento relatado pelo site "RN mais limpo", mostra-se que 95% das pessoas têm algum resíduo eletrônico em casa e somente 13% sabem onde descartar.

Dada situação eleva tanto as esperanças em mudança como as próprias condições para implantar no Brasil uma melhor gestão de materiais eletroeletrônicos. Assim, é extremamente pertinente a realização de projetos que apontem para a importância do cuidado com o e-lixo, uma vez que através deles é possível conceder mais visibilidade ao problema e finalmente tornar a preocupação com o meio-ambiente maior que o receio em tomar frente nessa causa tão importante.

É cabível dizer que o incentivo à reciclagem do e-lixo é uma ação que precisa ser colocada mais em prática, porém a própria reciclagem desse resíduo se esbarra na dificuldade que há na desmontagem dos aparelhos e equipamentos eletrônicos e separação dos elementos e peças internas que os compõem. Somado a isso, o ano de produção desses aparelhos podem dificultar ainda mais a desmontagem. É lícito afirmar que, por exemplo, Gadgets mais antigos exigem maiores esforços de trabalho e de custo para desmontar e têm poucos materiais recuperáveis em relação aos produtos mais novos. Todavia, esses esforços são compensados pelo preço a que podem ser vendidos os metais preciosos do e-lixo, encontrados principalmente em placas eletrônicas. Por conta disso, os produtos eletrônicos com maior perspectiva de recuperação são as placas eletrônicas, tendo em vista que elas possuem um alto nível de metais preciosos, que realmente são os elementos com maior valor de mercado (SCHLUEP, 2009).

Sabe-se, graças a informações da StEP (*Solving the E-waste Problem*), uma organização de combate ao problema do e-lixo criada pela Universidade das Nações Unidas (UNU), que reciclar uma tonelada de celulares velhos pode render até 3.5 kg de prata, 130 kg de cobre e 340 g de ouro.

Infelizmente, praticamente 7% do ouro do mundo já foi perdido por causa da destinação improdutiva de eletrônicos. O fato de que não é só matéria-prima que se perde nessa conduta insustentável e improdutiva piora a situação global e impede seu progresso no que diz respeito a aliar a sustentabilidade à economia. Isso porque

instituir políticas de apoio à causa aqui discorrida é exigir pessoas para trabalhar no combate ao problema, ou seja, possibilitar a abertura de emprego de mão-de-obra qualificada. "O sistema de reciclagem de um eletroeletrônico pode ser considerado uma oportunidade, desde que, haja uma visão holística do processo" (BIZZO, 2007 apud FERREIRA e FERREIRA, 2008).

No Brasil, uma iniciativa como essa impulsionaria uma série de áreas da ciência, que pouco anda no país devido à falta de sérios investimentos. Quanto à economia, seria possível gerar lucros e evitar gastos, uma vez que reutilizar matéria-prima diminuiria consideravelmente parte da necessidade da extração e refino de material bruto, como afirma a Ellen MacArthur Foundation.

Conclui-se, então, que não há o que perder com a reciclagem dos resíduos elétricos e eletrônicos. Na visão de FERREIRA e FERREIRA (2008), precisamos evoluir degradando o ambiente o mínimo possível, assumindo as responsabilidades e consequências geradas por nossos atos.

Pensando nisso, seria de tremendo valor um material didático focado em democratizar a reciclagem de lixo eletrônico, dando às pessoas acesso às informações necessárias para colocar essa tarefa em prática. Assim sendo, convém ressaltar que o alvo mais apropriado para tal campanha são as escolas, afinal, o futuro está nas mãos das novas gerações mais do que se pode imaginar.

Diante do exposto, é preciso acentuar que, assim como falam Pereira e Costa (2013, p. 1 apud DAMASCENO, 2016 p.10), "é fundamental que as escolas adotem a educação ambiental de forma que os alunos tornem-se cidadãos mais conscientes no tocante às questões ambientais". Nessa perspectiva, a educação irá permitir que o cidadão entenda sobre a forma correta de descarte, os problemas relacionados ao meio ambiente e à saúde, além de permitir que as pessoas adotem novos hábitos e busquem melhor qualidade no ambiente em que vivem (Gazzinelli et al, 2001).

A Lei Federal nº 9.795 de 1999 define, em seu artigo 1, a Educação Ambiental como "o processo por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade".

Por fim, faz-se essencial dizer que "é necessária a atuação das Instituições de Ensino, desde o Ensino Fundamental ao Superior, no sentido de despertar a discussão e os meios de solução para o problema" (GOMES e MELO, 2006 p.14 apud DAMASCENO, 2016), o que autoriza concluir que o âmbito escolar é de suma importância para que o assunto do lixo eletrônico ganhe visibilidade, tornando-se reconhecido e englobante. "A Educação Ambiental deve ser permanente, pois é com a evolução do senso crítico, o despertar da consciência consegue-se melhoria das condições de vida do planeta" (MENEZES e RESIO, 2011 p.2).

CORPO DO TEXTO

OBJETIVOS

O objetivo principal é a produção de material didático sobre a desmontagem de equipamentos eletroeletrônicos para facilitar e incentivar o processo de reutilização e reciclagem do resíduo eletrônico (e-lixo), evitando o descarte incorreto desses resíduos. O manual fará o uso de linguagem simplificada, ilustrações, técnicas e ferramentas acessíveis. Os tópicos do manual explicarão sobre os riscos e precauções no manuseio dos principais equipamentos eletrônicos; ferramentas necessárias, técnicas seguras de manuseio e desmonte de alguns equipamentos; informações sobre os principais componentes e possibilidades de reutilização; e como destinar para a reciclagem.

METODOLOGIA

Esta pesquisa é de natureza prática, apresentando conhecimentos aplicáveis para o descarte do resíduo eletrônico. A abordagem é qualitativa, pois não há como quantificar os impactos do manual. Seu objetivo é exploratório, mediante o levantamento bibliográfico e explicativo, através das instruções agregadas no manual. Quanto aos procedimentos técnicos abordados, a presente investigação explora ferramentas da pesquisa bibliográfica e documental a partir do momento que busca o levantamento e análise de materiais publicados, como artigos científicos e livros, e de fontes de dados sem tratamento analítico, tais como: tutoriais, revistas, relatórios, dentre outros.

A busca por informações foi realizada através dos bancos de dados da google scholar (<https://scholar.google.com.br>), Scielo (<https://www.scielo.br/>), Scopus (<https://www.scopus.com/>) e no Portal Brasileiro de Publicações e Dados Científicos em Acesso Aberto - OASISBR (<https://oasisbr.ibict.br/vufind/>). O período de busca ocorreu entre o período de abril de 2022 e fevereiro de 2023. Foram pesquisados os riscos dos resíduos eletrônicos, o potencial de reuso e reciclagem dos resíduos eletrônicos, as técnicas de desmontagem de equipamentos eletrônicos e, por fim, a logística para o descarte adequado dos resíduos eletrônicos.

Os dados coletados nas pesquisas foram organizados de forma a constituir a parte teórica dos tópicos do manual: precauções, ferramentas necessárias, processo de desmonte, orientações para reuso e pontos de coleta de resíduos eletrônicos.

A parte prática da construção do manual constituiu na arrecadação, desmonte e registro de alguns equipamentos eletrônicos. Os equipamentos incluídos no manual de desmonte foram provenientes de doações em campanha realizada na comunidade escolar e dos próprios autores. As práticas foram realizadas no laboratório de manutenção de computadores do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), campus Canguaretama, disponibilizando o espaço (estrutura física e local para

armazenar os equipamentos) e as ferramentas necessárias para desmontar (chaves, alicates, estação de solda etc.) e registrar os equipamentos (computador e câmera). A equipe multidisciplinar foi constituída por dois professores do ensino técnico profissionalizante (biologia e manutenção de computadores) e dois alunos do ensino médio integrado do curso de eletromecânica.

RESULTADOS

Como fruto de pesquisas diversas e do conhecimento logrado através do procedimento de desmonte dos eletrônicos arrecadados, foi possível concluir a elaboração do manual de desmonte de aparelhos eletrônicos. Baseado na pesquisa documental e bibliográfica, o material ficou limitado aos aparelhos que vem merecendo mais atenção dos pesquisadores e que são mais utilizados e descartados pela maioria dos consumidores, sendo eles notebooks e aparelhos celulares.

O documento intitulado "Manual de desmonte de aparelhos eletrônicos" é apresentado em uma forma simples e com instruções fáceis de serem seguidas, com o objetivo de orientar, de modo direto, qualquer leitor a realizar a desmontagem básica adequada dos objetos eletrônicos comumente descartados. A figura 1 apresenta a arte da capa do manual.

O conteúdo do manual (tabela 1) ficou dividido nos seguintes tópicos: Precauções, Ferramentas Necessárias e Processo de Desmonte, Orientações para Reuso e Pontos de Coleta de Resíduos Eletrônicos.

No tópico Precauções foram reunidos os principais riscos no trabalho com equipamentos eletrônicos e como preveni-los; O tópico Ferramentas necessárias possui informações das principais ferramentas e suas utilidades, e dentre essas ferramentas existem alguns utensílios não convencionais, porém fáceis de adquirir e que facilitam o desmonte (figura 2); no que se refere ao Processo de Desmonte, estes foram produzidos e organizadas em etapas, cada uma contendo uma descrição, observações e imagens (figura 3); no tópico Orientações para Reuso, o manual traz uma breve orientação a respeito de possibilidades de reutilização para alguns componentes dos aparelhos trabalhados (figura 4); Na última seção do manual é apresentada uma lista com os Pontos de Coleta de Resíduos Eletrônicos, isto é, ecopontos que são registrados oficialmente e acessíveis para a população do Rio Grande do Norte, local do estudo (figura 5).

O Manual didático sobre o desmonte e descarte de aparelhos eletrônicos constitui um recurso de fácil entendimento, gerando o conhecimento básico necessário, além de ofertar tudo isso de forma acessível e descomplicada. O documento pode ser adquirido gratuitamente a partir do link:

<https://drive.google.com/file/d/1FUWb4Me9gKZ93HjDiljb7DRbs-WBNHfu/view?usp=share_link>.



Figura 1: **Arte da capa do manual de desmonte de aparelhos eletrônicos**. Fonte: Autor do Trabalho.

Espera-se que o seu uso permita e incentive o processo de reutilização e reciclagem dos resíduos eletrônicos e, conseqüentemente, reduza o descarte incorreto desses resíduos. Além disso, a presente pesquisa servirá como base para a elaboração de um curso de formação continuada intitulado “Curso de capacitação para desmonte, classificação e reutilização de componentes eletroeletrônicos”, voltado para estudantes do ensino básico e profissionais interessados na área de reciclagem de resíduos sólidos.



Figura 2: **Parte do manual - Ferramentas para desmontar. Principais ferramentas utilizadas no desmonte de eletroeletrônicos.** Fonte: Autor do Trabalho.



Figura 3: Componentes de notebook durante o processo de desmontagem. As figuras fazem parte do manual de desmonte de eletrônicos. Fonte: Autor do Trabalho.

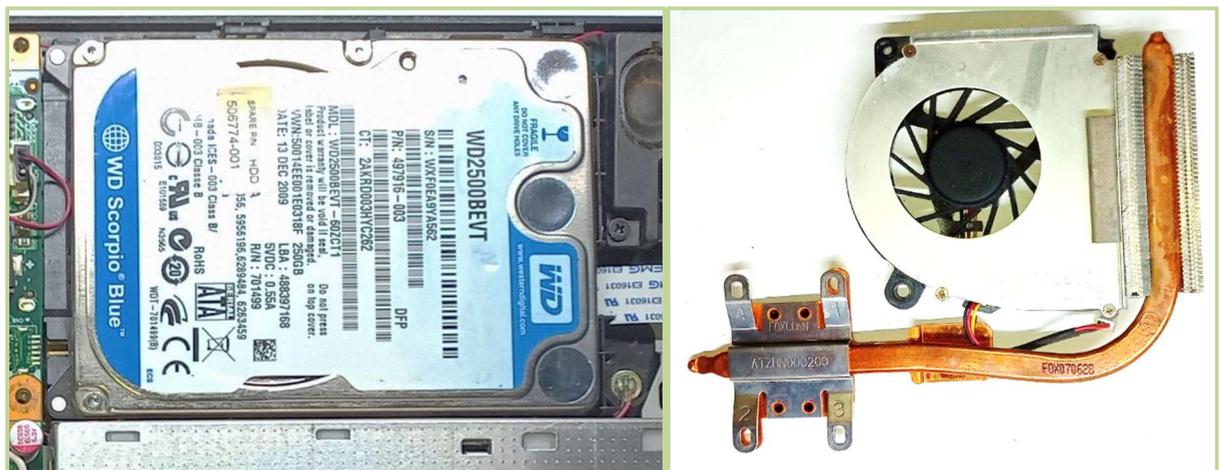


Figura 4: Componentes de notebook após o processo de desmontagem. As figuras fazem parte do manual de desmonte de eletrônicos. Fonte: Autor do Trabalho.



Figura 5: Mapa de empresas e locais do Rio Grande do Norte para descarte adequado de eletrônicos. O mapa faz parte do manual. Fonte: Autor do Trabalho.

CONCLUSÕES

O Manual didático sobre o desmonte e descarte de aparelhos eletrônicos foi pensado e desenvolvido com o propósito de facilitar o acesso às informações acerca do assunto em questão, além de proporcionar ao usuário a oportunidade de contribuir diretamente com o descarte correto de lixo eletrônico e ajudar na preservação do meio ambiente. O manual ainda está em desenvolvimento e algumas melhorias estão previstas para versões futuras. Pretende-se, por exemplo, adicionar tópicos sobre a desmontagem de outros tipos e modelos de equipamentos ainda não contemplados. Além disso, têm-se a expectativa de fornecer outras sugestões de reutilização de componentes eletroeletrônicos e incluir algumas técnicas básicas para a manutenção de alguns equipamentos eletroeletrônicos para evitar a obsolescência prematura. Ao fim, todos esses conhecimentos serão disseminados a partir do planejamento, criação e oferta de um curso de formação continuada sobre lixo eletrônico voltado para estudantes do ensino básico e população interessada, que também servirá como ferramenta de validação do manual de desmonte de aparelhos eletrônicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BIZZO, Waldir A. **Gestão de resíduos e gestão ambiental da indústria eletro-eletrônica**. Universidade Estadual de Campinas (site) 2007. Disponível em: <<https://revista.pgsskroton.com/index.php/rcext/article/download/2374/2278>>. Acesso em: 01 ago. 2010.
2. DAMASCENO, Adriana Monteiro. **O descarte de lixo eletrônico (pilhas e baterias): uma atividade investigativa em educação ambiental**. Minas Gerais: Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOSAFDNF7/1/tcc_ultima_vera_o_entregue.pdf&ved=2ahUKewjBqIDyj6_zAhVprJUCHUNHDMsQFnoECAQQBg&usg=AOvVaw3TAWwnY_fh23K8DE6nWA1I>. Acesso em: 25 de set. de 2021.
3. FERREIRA, Juliana Martins de Bessa; FERREIRA, Antônio Claudio. **A Sociedade da informação e o desafio da sucata eletrônica**. Revista de Ciências Exatas e Tecnologia, 2008. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://revista.pgsskroton.com/index.php/rcext/article/download/2374/2278&ved=2ahUKEwjSmqvTx4X6AhVlrZUCHfDtBxsQFnoECAsQAQ&usg=AOvVaw2LeQ_Nkve9H20glq5LsU_j>. Acesso em: 8 de setembro de 2022.
4. Gazzinelli, M. F., Lopes, A., Pereira, W. & Gazzinelli, A. (2001). **Educação e participação dos atores sociais no desenvolvimento de modelo de gestão do lixo em zona rural em minas gerais**. Revista Educação & Sociedade, ano XXII, 74, 225-248.
5. GOMES, Ana Carla Lavagnolli; MELO, Silvana Regina. **Pilhas e efeitos nocivos**. Arq. Mudi. Departamento de Ciências Morfofisiológicas da Universidade Estadual de Maringá, 2006. Disponível em:

- <<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ArqMudi/article/view/19981/10807>>. Acesso em: 10 de setembro de 2022.
6. LOPES, Laura. **Os números da reciclagem no Brasil**. Revista Época, 03 jan. 2012, p. 1. Disponível em: <<http://revistaepoca.globo.com/Sociedade/o-caminho-dolixo/noticia/2012/01/os-numeros-da-reciclagem-no-brasil.html>>. Acesso em: 20 out. 2013.
 7. MENEZES, Tania Tavares de Araújo; RESIO, Wanessa Maria Ambrosina. **Educação Ambiental e Gestão do lixo inorgânico na Faculdade de Tecnologia SENAC Goiás: Uma proposta ecológica**. II SEAT - Simpósio de Educação Ambiental e Transdisciplinaridade UFG/ IESA/ NUPEAT, Goiânia, maio de 2011. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/52/o/44_Gest_o_lixo_inorg_nico.pdf>. Acesso em: 12 de setembro de 2022.
 8. MOI, Paula Cristina Pedroso et al. **Lixo eletrônico: consequências e possíveis soluções**. Connectionline Revista Eletrônica da UNIVAG, Cuiabá, 2012. Disponível em: <<https://www.periodicos.univag.com.br/index.php/CONNECTIONLINE/article/view/105/390>>. Acesso em: 12 de setembro de 2022.
 9. PEREIRA, Cláudia R F .da.; COSTA, Vânia S .da. **Educação ambiental na escola: subsídios para descarte/ reutilização de resíduos eletrônicos**. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 1., 2013, Salvador. IBEAS Salvador:UFBA.
 10. PINHEIRO, S. M. G.; AGUIAR, W. J. (Orgs.). **Resíduos sólidos: práticas para uma gestão sustentável**. 1ª ed. Recife: EDUFRPE, 2016. p. 322-330.
 11. RN+LIMPO. **Bem vindo à maior campanha de Educação Ambiental para Descarte Correto de Eletroeletrônicos no Estado do Rio Grande do Norte!**. Disponível em: <<https://rnmaislimpo.com.br/>>. Acesso em: 30 de set. de 2021.
 12. SCHLUEP, Mathias; SPITZBART, Markus; BLASER, Fabian. **Guia de Desmontagem para Equipamentos de TI**. Sustainable Recycling Industries (SRI), junho de 2015. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.sustainable-recycling.org/wp-content/uploads/2020/09/2015_Schluiep_et_al_SRI_DismGuide_IT_Equipment_Portugues.pdf&ved=2ahUKEwiL2daT09b8AhXSH7kGHXO7DKsQFnoECBUQAQ&usg=AOvVaw1Zw0u1wv7A4nr-XoxMs7ig>. Acesso em: 23 de dezembro de 2022;
 13. SILVA, L. F. da. **Educação ambiental crítica: entre o ecoar e o ressoar**. 2009. 197 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
 14. SIQUEIRA, V. S.; MARQUES, D. H. F. **GESTÃO E DESCARTE DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS EM BELO HORIZONTE: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES**. Caminhos de Geografia, Uberlândia, MG, v. 13, n. 43, p. 174–187, 2012. DOI: 10.14393/RCG134316704. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16704>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2023.
 15. VARELA, Carmen Augusta; MEDEIROS, Juliana Romero de. **Lixo eletrônico de pequenos usuários: descarte e reciclagem**. Engema, 2014. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.engema.org.br/XVIENGEMA/147.pdf&ved=2ahUKEwipvPy9jq_zAhXBIbkGHXIDDhUQFnoECAQQBg&usg=AOvVaw1dBtMwa0ilDCkrA9A8OR-Y>. Acesso em: 25 de set. de 2021.

**APÊNDICE B – CAPÍTULO DE LIVRO (no prelo) APRESENTADO NO 11º EPERSOL
CONGRESSO BRASILEIRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

(Será publicado no e-book oficial do EPERSOL em 2024):

**IMPACTO DA OBSOLESCÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS
ELETROELETRÔNICOS NA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS E NA INFLUÊNCIA
NAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Evantuy de Oliveira

Mestrando

IFRN

evantuy.olivaira@escolar.ifrn.edu.br

Leandro Silva Costa

Doutor

IFRN

leandro.costa@escolar.ifrn.edu.br

Régia Lúcia Lopes

Doutora

IFRN

regia.lucia@escolar.ifrn.edu.br

RESUMO

A evolução tecnológica nos trouxe diversos benefícios, entre os quais os equipamentos eletroeletrônicos que nos auxiliam em diversas atividades diárias. Entretanto, a produção, o consumo e o descarte cada vez mais acelerado desses equipamentos, agravados pela obsolescência, vem trazendo consequências ambientais cada vez mais graves. O presente estudo tem como objetivo analisar os impactos da obsolescência no aumento da produção de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, bem como suas consequências nas mudanças climáticas. Foi realizado um estudo de caráter bibliográfico e uma análise qualitativa subjetiva a partir de dados bibliográficos relacionados ao tema, resultando em uma conexão entre a obsolescência, o agravamento das mudanças climáticas, o aumento da exploração de recursos naturais e da produção de resíduos. Ações são sugeridas com o propósito de reduzir os impactos ambientais da obsolescência, como políticas públicas e sensibilização das indústrias e dos consumidores em prol de uma produção e um consumo mais responsável e sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Design Ecoeficiente, Direito ao Reparo, Gases de Efeito Estufa.

1. INTRODUÇÃO

Os equipamentos eletroeletrônicos trazem conforto e conveniência para a vida moderna, nos auxiliando desde as atividades mais laboriosas, como a lavagem de roupas, até as mais simples, como fatiar pão. No entanto, esses equipamentos possuem em sua composição diversos recursos naturais, sendo que muitos desses recursos não são renováveis, além de serem recursos estratégicos difíceis de serem encontrados na natureza (XAVIER et al., 2021).

Além disso, a grande diversidade desses equipamentos disponíveis no mercado e sua produção em larga escala causam impactos ambientais que já se iniciam na extração dos insumos necessários à produção (GIESE, 2022 p. 562). Tomando como exemplo a produção de um computador pessoal do tipo *desktop*, são necessários aproximadamente 240 quilos de combustíveis fósseis, 22 quilos de produtos químicos e 1.500 litros de água (AQUINO et al., 2017 p. 177).

Nesse contexto, a sociedade contemporânea vem consumindo e descartando cada vez mais rápido seus equipamentos eletroeletrônicos (EEE), impulsionados pela constante inovações tecnológicas e evolução de *design*, associados a uma pressão consumista cultuada pela mídia. Como resultado desses fatores, a obsolescência nos EEE tem sido cada vez mais evidente, levando à substituição prematura de dispositivos ainda funcionais por modelos mais modernos, compactos e delicados. Essa atitude contribui com o aumento da necessidade de extração de matéria prima, além da produção de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) (ABREU; SILVA; RIBEIRO, 2021), que é um resíduo composto por elementos tóxicos e de longo tempo de decomposição, um outro problema em potencial para o meio ambiente (TORRES; EL-DEIR, 2022a, p. 426; BEZERRA et al., 2017 p. 104; MATARAZZO et al., 2019).

Além disso, têm-se a obsolescência planejada, que é aquela propositadamente implementada pelos fabricantes de EEE, que envolve de estratégias como tornar a manutenção complexa e dispendiosa, dificultando a substituição de componentes ou impedindo a abertura das carcaças que, apesar dos impactos ambientais amplamente descritos, os fabricantes de EEE estão tornando mais interessante para os consumidores adquirir novos produtos, e em consequência aumentando consideravelmente a quantidade de REEE descartados, contribuindo para um ciclo de consumo insustentável com uma maior emissão de gases de efeito estufa e poluição atmosférica (CABRAL et al., 2017, p. 128; MASCARENHAS; PÚBLIO, 2020).

Diante desse contexto exposto, o presente trabalho tem como objetivo abordar a obsolescência implantada nos equipamentos eletroeletrônicos e seu impacto no aumento da produção de resíduos sólidos. Além disso, busca-se compreender como a obsolescência interfere nas mudanças climáticas. Nesse sentido, esta pesquisa também visa apresentar sugestões que favoreçam o consumo e a produção responsável, contribuindo para a redução dos impactos da obsolescência nas mudanças climáticas e suas consequências, além de contribuir com os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) 12 e 13 da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Todos os dispositivos que necessitam de corrente elétrica ou campo magnético para o seu funcionamento, assim como aqueles que geram, armazenam, transferem ou medem essas grandezas elétricas são classificados como EEE. Esses equipamentos, no final de sua vida útil, dão origem a um resíduo sólido específico, o Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), que também pode ser denominado por lixo eletrônico, e-lixo ou sucata eletrônica, e faz referência ao equipamento eletrônico completo ou partes, componentes e acessórios desses equipamentos em sua fase de pós-consumo (LORDELO; SANTOS, 2020, p. 365). Alguns exemplos de REEE são os computadores, *mouses*, teclados, geladeiras, celulares, carregadores, fones de ouvido, placas de circuito impresso, pilhas, baterias, dentre outros.

Uma das grandes problemáticas associadas aos EEE diz respeito ao descarte inadequado desses resíduos. Aos serem descartados no lixo comum, os assim denominados REEE podem trazer prejuízos ao meio ambiente contaminando os ecossistemas devido a presença de substâncias tóxicas em sua composição, principalmente os metais pesados, como chumbo, mercúrio, cobalto, bário e manganês (AQUINO et al., 2017; HOUSSIONON et al., 2021).

Soma-se a isso o fato de que para a produção dos EEE a indústria necessita de fontes de energia e de matéria-prima que são extraídas da natureza através da extração mineral (GIESE, 2022 p. 562). No processamento e no transporte dos minerais são necessários combustível e eletricidade, que, além de outros impactos ambientais, produzem gases de efeito estufa (GARCIA; SOUZA; NEVES, 2020 p.30). Como agravante, o desgaste das minas vem resultando em um teor de minério cada vez menor, aumentando a necessidade de mais energia para produzir a mesma quantidade de matéria prima, potencializando a contribuição da mineração para as mudanças climáticas (AZADI et al., 2020).

Todos esses fatores contribuem com a potencialização do efeito estufa, que é um fenômeno natural que faz uso dos gases presentes na atmosfera, entre os quais o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e o gás carbônico (CO₂), para reter o calor na terra e manter a temperatura média da superfície terrestre adequada à vida. Apesar de um processo natural, a intensificação da emissão desses gases, especialmente devido a queima de combustíveis fósseis para produção de energia, tem aumentado rapidamente a temperatura global e refletindo diretamente nas mudanças climáticas, como o regime escasso ou excessivo de chuvas, redução da umidade do solo ou inundações (LOUREIRO, 2019).

Além disso, cada vez mais produtos eletrônicos são colocados no mercado para incentivar uma constante compra e venda. Equipamentos cada vez mais modernos, porém, estão ficando ultrapassados cada vez mais rápido, antes do tempo de vida real do aparelho, o que é conhecido como obsolescência. Esse efeito tem o objetivo de aumentar o lucro dos fabricantes, implantado artificialmente uma necessidade de aquisição de novos equipamentos eletroeletrônicos (JESUS; SILVA NETO; ALVES, 2022), aumentando desnecessariamente a geração de resíduos eletroeletrônicos, a necessidade de extração de matéria prima, a geração de gases de efeito estufa e seus efeitos nas mudanças climáticas.

Como consequência dessa necessidade implantada em estar sempre consumindo, temos a extração de recursos naturais e emissão de poluentes, além do que o planeta consegue suportar, provocando danos ambientais alarmantes e em nível mundial. Nesse sentido, fatores como o tamanho do equipamento, a quantidade e a complexidade de componentes, dentre outros, demanda mais matéria prima e energia nas etapas de manufatura de descarte, agravando significativamente o consumo de matérias-primas, emissão de CO₂, risco de contaminação aos trabalhadores, gerados pelos equipamentos eletroeletrônicos durante o ciclo de vida (SANTOS; GUARNIERI; CERQUEIRA STREIT, 2021 p.74)

Diante dessa problemática, várias conferências e acordos importantes surgiram como resultado do crescente despertar para os perigos e consequências da degradação ambiental para a humanidade, desde a década de 1960. Em 2015 a Organização das Nações Unidas (ONU) definiu 17 metas globais, denominadas Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que evidenciam a insustentabilidade dos modos de produção atuais e têm como objetivo conter os efeitos da exploração desenfreada de recursos naturais, responsável pela geração de gases de efeito estufa, mudanças climáticas, acúmulo de resíduos pós-consumo, superlotação de lixões e aterros sanitários, bem como outros problemas socioeconômicos. No entanto, é importante ressaltar que a obsolescência programada ainda não é amplamente reconhecida como um dos fatores que contribuem para a degradação ambiental (GRUBBA; LOCATELLI, 2023).

3. METODOLOGIA

O presente artigo almeja sintetizar os resultados de estudos presentes na literatura recente sobre os diversos aspectos relacionados aos resíduos eletroeletrônicos e seus efeitos ambientais. Tem como modelo teórico de investigação o estado de conhecimento, metodologia que busca responder a uma pergunta de pesquisa claramente formulada a partir de um levantamento de conhecimentos vigentes numa determinada área temática da produção acadêmica em um determinado espaço de tempo (MOROSINI, 2015).

A metodologia adotada é qualitativa, permitindo a análise subjetiva e aprofundada dessas fontes já existentes, buscando compreender e interpretar as informações disponíveis sobre o tema. Por meio da abordagem qualitativa, são examinados e sintetizados dados qualitativos encontrados nessas fontes, permitindo identificar padrões, tendências e informações relevantes que abordam a obsolescência dos equipamentos eletroeletrônicos, sua relação com a produção de resíduos sólidos e as consequências para as mudanças climáticas. Essa abordagem também oferece espaço para a exploração de diferentes perspectivas e enfoques presentes na literatura, contribuindo para uma visão abrangente do assunto em questão.

Além disso, a pesquisa traz um enfoque exploratório, que é realizado com o intuito familiarizar-se com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito e constituir hipóteses acerca de uma situação, explorar as alternativas e descobrir novas ideias (GIL, 2019).

Dentro dessa linha de investigação, buscou-se responder sobre os impactos ambientais causados pelos equipamentos eletroeletrônicos em todo seu ciclo de vida, abordando desde a fase de produção até o descarte, com ênfase na potencialização dos impactos resultantes da obsolescência destes dispositivos, bem como suas influências nas mudanças climáticas.

Logo, para responder a essa pergunta de pesquisa foram considerados artigos científicos relacionados às temáticas de interesse coletadas da base de dados SCIELO, além de capítulos de livros e textos acadêmicos da base de dados de livros digitais da EPERSOL (Congresso Brasileiro de Resíduos Sólidos). A consulta a base de dados foi feita em julho de 2023 e o levantamento das informações, após testes e metodização no sistema de busca, baseou-se nos termos “(obsolescência AND resíduos AND (eletrônicos OR eletroeletrônicos) AND (efeito estufa OR temperatura do planeta OR catástrofes ambientais OR mudanças climáticas))”. A partir destas buscas foram considerados os artigos publicados nos últimos cinco anos que abordavam questões importantes acerca dos objetivos desta revisão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Jesus, Silva Neto e Alves (2022) definiram obsolescência como sendo uma redução do tempo de vida útil dos equipamentos eletroeletrônicos e subdividiram em 3 subgrupos (Quadro 1):

Quadro 1. Tipos de obsolescência

| Obsolescência | Situação | Foco |
|---------------|---|-----------------------|
| Funcional | O lançamento de um produto com novas funcionalidades torna o antigo equipamento obsoleto; | Inovação tecnológica |
| Perceptiva | O status de acompanhar a moda faz com que o antigo produto seja trocado por um recém-lançado; | Consumismo |
| Programada | O uso de componentes de baixa durabilidade reduz a vida útil do produto. | Exploração Industrial |

A obsolescência funcional e a perceptiva dependem das necessidades e comportamento do consumidor, e poderiam ser minimizadas através da conscientização ambiental da população sobre os seus impactos. Porém a obsolescência programada, também conhecida como obsolescência planejada, é uma decisão do fabricante em desenvolver e fabricar um produto com o tempo de vida útil pré-programado, refletindo na durabilidade dos materiais empregados e criando antecipadamente um sucateamento e a necessidade de comprar um novo aparelho, sem avaliar as consequências e impactos ambientais dessa atitude (GRUBBA; LOCATELLI, 2023; ROSSINI; NASPOLINI, 2017).

Historicamente a obsolescência programada é datada de 1924, a partir de um pacto arquitetado por um cartel de fabricantes de lâmpadas conhecido como *Phoebus* na cidade de Genebra, Suíça. Com o argumento de combater a estagnação econômica do mercado, os fabricantes de lâmpadas compactuaram em reduzir intencionalmente o tempo de vida de seus produtos de 2.500 horas para 1.000 horas, sob pena de multas para quem descumpria o acordo e, como consequência, forçando os

consumidores a gastar e descartar três vezes mais para uma mesma necessidade (MASCARENHAS; PÚBLIO, 2020).

Uma proposição de obsolescência programada compulsória foi feita em 1929 por Bernard London em Nova York, Estados Unidos, alegando que uma obsolescência programada compulsória ajudaria na renovação da economia para enfrentar a crise. Nessa proposta uma agência governamental pré-determinaria o tempo de vida dos produtos e ao final desse tempo os consumidores entregariam para serem destruídos. Essa ideia, da forma que foi colocada, a princípio foi ignorada. Porém, a partir de mecanismos criados para induzir nos consumidores a ideia de que deveriam possuir algo um pouco mais novo e um pouco melhor, deram origem à obsolescência funcional e perceptiva (GRUBBA; LOCATELLI, 2023 p.9).

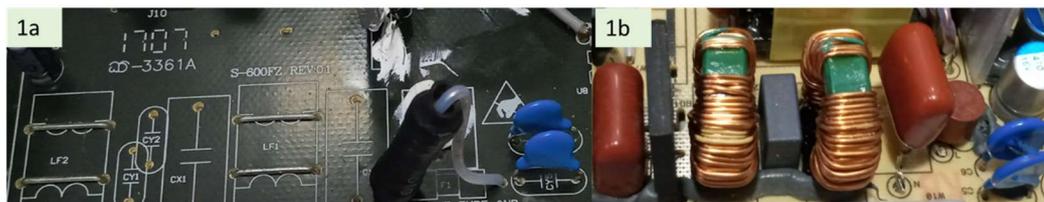
No processo de implantação da obsolescência, adotadas pelas indústrias no lançamento de novos modelos tecnológicos de produtos, as peças de reposição são incompatíveis com os modelos antigos, ou até mesmo é praticado a cobrança de um valor absurdo para as peças de reposição e custo de reparo, desproporcional ao valor do equipamento, forçando o consumidor a desistir da intenção de reparar o seu equipamento e, conseqüentemente a adquirir um novo produto, além de gerar prematuramente mais REEE (GRUBBA; LOCATELLI, 2023 p.15).

A implantação da obsolescência não ocorre apenas nos componentes dos equipamentos eletroeletrônicos, ocorre também na parte lógica (*software*) (MASCARENHAS; PÚBLIO, 2020). Por exemplo, quando atualizamos o sistema operacional de um computador ou smartphone e notadamente o funcionamento do aparelho fica mais lento, ou, pior ainda, quando o fabricante deixa de fornecer atualizações que impedem ou limitam o funcionamento do aparelho.

Nos equipamentos modernos podemos notar a obsolescência implantada em detalhes técnicos como, por exemplo, quando comparamos a qualidade dos materiais utilizados em equipamentos eletroeletrônicos mais antigos temos o uso de componentes mais robustos, e nos equipamentos mais atuais os materiais são frágeis e de baixa qualidade.

Em alguns dispositivos eletrônicos a obsolescência é pré-programada com a omissão de circuitos ou componentes. Um exemplo, que passa despercebido pelos consumidores de computadores do tipo *desktop*, mas perceptível para quem faz manutenção nas fontes desses equipamentos, acontece em um setor do circuito conhecido como filtro de linha (Figura 1b) e, teoricamente, a sua ausência não interfere no funcionamento do equipamento, porém, a subtração desse componente (Figura 1a) reflete na qualidade e segurança dos equipamentos eletroeletrônicos, provocando defeitos de funcionamento prematuramente e até impossibilitando a manutenção, já que a falta de um circuito de proteção propaga a falha para o circuito seguinte. Um consumidor comum, sem o conhecimento técnico, pode tentar reconhecer as fontes de baixa qualidade (figura 1a) pelo peso e pelo preço, quando comparadas as de melhor qualidade (Figura 1b).

Figura 1. Trecho do circuito de uma fonte chaveada responsável pelo filtro de ruídos elétricos



Fonte: Autoria própria

O ciclo de vida de um produto acompanha fases que representam desafio para a indústria se manter competitiva. São fases que vão desde os investimentos na criação, protótipo, produção e propaganda; seguida da venda, que é onde ocorre os lucros, e encerra no declínio (JESUS; SILVA NETO; ALVES, 2022). Com o desenvolvimento tecnológico essas fases vem se passando cada vez mais rápido e para reiniciar esse ciclo, antes do declínio, a indústria adotou os diversos tipos de obsolescência, exaurindo os recursos naturais e gerando cada vez mais resíduos, como apresentado por Jesus, Silva e Alves (2022, p. 249). Esses autores propuseram que as empresas se preocupassem com os cuidados ambientais, aumentando o controle do ciclo de vida de seus produtos, aplicando a logística reversa como uma possibilidade de minimizar os impactos ambientais e que, focando na preservação ambiental e no desenvolvimento sustentável, resultaria em um planejamento eficiente tanto para as empresas quanto para a sociedade.

Lima e Maciel Filho (2019) mostraram que a parceria entre as empresas pode viabilizar a aplicação da logística reversa dos REEE, compartilhando as obrigações e multiplicando os pontos de coleta.

Lopes et al. (2017, p.153) apontaram a reciclagem dos componentes dos equipamentos eletrônicos como alternativa viável para minimizar os impactos provocados pelos REEE, reaproveitando os detritos e reutilizando no ciclo de produção do qual saíram. Outra técnica de reaproveitamento apresentada por Lopes et al. (2017, p.153) foi o uso dos componentes de REEE nos laboratórios didáticos de Eletrotécnica, Eletroeletrônica, Eletrônica, Física, Química e Informática, com o cuidado de desmontar ou dessoldar, testar e classificar previamente. Nesse processo, os materiais que não são reutilizados são enviados para empresas especializadas na reciclagem de resíduo eletrônico.

Algumas atitudes adotadas pelas empresas, como a cobrança de um valor absurdo para as peças de reposição e no custo de reparo em suas assistências técnicas, a incompatibilidade de componentes entre modelos diferentes do mesmo equipamento, parafusos específicos ou até mesmo a carcaça colada que impossibilitam uma desmontagem não destrutiva, são detalhes mencionadas por Grubba e Locatelli (2023, p. 15), que motivam o consumidor a adquirir novos eletroeletrônicos, antes de tentar a manutenção.

Em contrapartida com a práticas da obsolescência programada, Mascarenhas e Públio (2020, p.188) apontam o surgimento do movimento Direito ao Reparo (*Right to Repair*), iniciado em 2013 pela *Repair Association*, nos Estados Unidos da América, apresentando essa luta como uma alternativa para garantir aos consumidores seu direito ao reparo. Através da criação e aprovação de leis, o movimento procura exigir que os fabricantes forneçam informações técnicas

pertinentes ao funcionamento e manutenção de seus produtos, além da disponibilização e acesso das mesmas peças de reposição utilizadas pelas autorizadas e com um preço justo. O projeto de lei visa defender o direito do consumidor de consertar seus eletroeletrônicos, por um preço justo, sem anular a garantia legal e, como consequência, reduzir o ritmo de produção de resíduo eletrônico.

Mascarenhas e Públio (2020, p. 191) também destacaram a relevância da luta pelo direito ao reparo ainda no período da garantia legal do equipamento, baseado no fato de que muitos consumidores têm em seus produtos o uso como ferramenta de trabalho, sendo que o longo tempo para efetuar o reparo, permitido legalmente pela legislação atual, pode resultar em prejuízos na produtividade, e geralmente leva a aquisição de equipamentos sobressalente. Esse consumo e produção excessivo tem como consequência a geração de indiscriminada de REEE, como destacado por Mascarenhas e Públio (2020, p. 189), acrescentando que a produção dos EEE e dos REEE tem relação direta com o aumento da emissão de gases de efeito estufa. Essa emissão e seus efeitos climáticos podem ser ainda mais potencializados se os REEE tiverem uma destinação e descarte inadequado, pois liberam gases tóxicos e metano, caso sejam descartados em aterros ou incinerados (BRAINER et al., 2017, p. 141).

No contexto dos impactos ambientais causados pelos equipamentos eletroeletrônicos, existe a emissão de gases de efeito estufa em todas as etapas do seu ciclo de vida, principalmente devido ao consumo de energia na mineração, industrialização, transporte, assim como no próprio consumo do equipamento (BRAINER et al., 2017, p. 141; GIESE, 2022, p.562). Essa energia, na maioria das vezes, é proveniente de fontes de combustíveis fósseis, um dos principais responsáveis pelo aumento das emissões de CO₂, e que tem consequências diretas no aumento da temperatura do planeta e na ocorrência de catástrofes ambientais globais (ALENCAR; SILVA; CRUZ, 2021, p. 378; LOUREIRO, 2019).

Diante disso, Torres e El-Deir (2022b, p. 84) afirmaram que Acordos Internacionais são propulsores de políticas nacionais, que podem se apresentar como estratégias eficazes na adoção de técnicas de produção e transporte mais eficientes, aliadas a tecnologias para desenvolver equipamentos com menor consumo de energia, bem como o aumento do uso de energias renováveis em todo processo se apresentam como medidas fundamentais para amenizar os impactos climáticos causados pelos equipamentos eletroeletrônicos. Porém, fica claro que a obsolescência programada, apesar de se destacar como um dos principais fatores responsáveis pelo aumento na geração de REEE, sua abordagem ainda é muito limitada nos debates sobre o tema, como apontado por Grubba e Locatelli (2023, p.14).

Como agravante, mesmo o ODS 12 (que tem como objetivo garantir padrões de consumo e de produção responsável e sustentáveis) e o ODS 13 (que apresenta ações contra a mudança global do clima com a adoção de medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos) não fazem menção ao combate à obsolescência programada. O que nos leva a discutir propostas viáveis que venham a contribuir com o aumento de vida útil dos equipamentos eletroeletrônicos e torna essencial um incentivo global para a disseminação do movimento de direito ao reparo, apresentado por Mascarenhas e Públio (2020, p.

188), garantindo aos consumidores seu direito ao reparo com reflexo direto na diminuição da geração de lixo eletrônico e dos gases de efeito estufa.

Para enfrentar essa problemática, algumas ações são prioritárias, como o debate e a definição de normas, regulamentações e incentivos fiscais e econômicos que promovam a adoção de práticas mais sustentáveis pela indústria e empresas (TORRES; EL-DEIR, 2022a, p. 433), o que inclui o estabelecimento de padrões de *design* ecoeficientes para os equipamentos eletroeletrônicos que contemplem critérios de durabilidade, reparabilidade, eficiência energética e utilização de materiais recicláveis, visando a redução do impacto ambiental ao longo de todo o ciclo de vida dos dispositivos.

Nesse sentido, é de suma relevância o investimento em pesquisas e tecnologias mais eficientes e sustentáveis, em termos de produção e consumo de recursos naturais, assim como em tecnologias para uma gestão adequada dos resíduos eletrônicos, visando uma recuperação de matérias-primas críticas, através da restauração, reciclagem e regeneração dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (DA SILVA et al., 2018; MEDEIROS et al., 2019; LOPES et al., 2017).

A educação é apresentada por Guedes e Guarnieri (2021, p. 704) como fator preponderante para minimizar os impactos diretos e indiretos que o consumismo acarreta no meio ambiente. Ações socioeducativas e informativas atuam como instrumento de sensibilização da população, despertando o uso racional e sustentável dos recursos naturais através de conceitos como, repensar da verdadeira necessidade do consumo, a necessidade de reduzir o consumo e geração de resíduos, o interesse em lutar pelo direito ao reparo, além de formas criativas de reutilizar, reciclar e reintegrar seus equipamentos eletroeletrônicos, combatendo assim a obsolescência (VIEIRA; DE OLIVEIRA; DE AZEVEDO, 2019).

Por fim, vale destacar, que nenhuma destas ações será efetiva sem a devida colaboração entre todos os atores envolvidos nesse processo, governos, indústria, organizações e consumidores finais. Somente com uma abordagem integrada e global poderemos alcançar resultados significativos na mitigação dos impactos negativos dos equipamentos eletroeletrônicos e avançar em direção a uma sociedade mais sustentável e consciente de suas ações em relação ao meio ambiente.

5. CONCLUSÕES

A crescente produção e descarte de equipamentos eletroeletrônicos têm gerado impactos significativos no meio ambiente, desde a extração de recursos naturais até a geração de resíduos eletrônicos. Esses impactos são potencializados pela rápida obsolescência programada, que induz os consumidores a substituírem dispositivos ainda funcionais por modelos mais recentes. Neste trabalho, foi evidenciado como a obsolescência dos equipamentos eletroeletrônicos está intimamente ligada à produção de resíduos sólidos e tem influências diretas nas mudanças climáticas, resultando em consequências ambientais adversas.

A revisão da literatura mostrou que os dispositivos eletroeletrônicos têm um impacto significativo no meio ambiente em todas as fases de seu ciclo de vida, desde a etapa de produção, com a extração de matérias-primas e a fabricação dos dispositivos, até a fase de uso e o posterior descarte. A produção desses dispositivos requer uma quantidade significativa de energia e a extração desses recursos resulta em degradação ambiental e emissões de gases de efeito estufa. Além disso, a obsolescência programada acelera o consumo e descarte de eletrônicos, gerando uma quantidade cada vez maior de resíduos eletrônicos com impactos negativos para o meio ambiente e a saúde humana.

Os impactos dos equipamentos eletroeletrônicos nas mudanças climáticas são evidentes, pois contribuem para o aumento das emissões de gases de efeito estufa. A rápida obsolescência, o consumo excessivo e o descarte inadequado dos dispositivos são fatores que intensificam os efeitos das mudanças climáticas, como o aumento das temperaturas globais, o derretimento de geleiras, o aumento do nível do mar e a ocorrência de eventos climáticos extremos.

Para reduzir os impactos ambientais dos equipamentos eletroeletrônicos e suas influências nas mudanças climáticas, é fundamental adotar estratégias sustentáveis e conscientes. A promoção de padrões de *design* que favoreçam a durabilidade e reparabilidade dos dispositivos, a economia circular e a conscientização da sociedade são ações essenciais para promover um consumo mais responsável e sustentável.

Além disso, a implementação de políticas públicas e a cooperação entre os atores envolvidos na cadeia produtiva são fundamentais para estimular a indústria a adotar práticas mais sustentáveis e garantir a destinação adequada dos resíduos eletrônicos. Somente com esforços conjuntos e compromisso com a sustentabilidade poderemos construir uma sociedade mais responsável e alinhada com os objetivos de desenvolvimento sustentável estabelecidos pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas.

REFERÊNCIAS

ABREU, D. C.; SILVA, A. M. B.; RIBEIRO, A. R. B. Hábitos relacionados ao descarte de celulares e sua aplicabilidade à Política Nacional de Resíduos Sólidos: um estudo em uma Unidade Acadêmica de Pernambuco. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 6, n. 2, p. 139-161, 2021.

ALENCAR, M.S.; SILVA, J.B.S.; CRUZ, G.; Utilização de tecnologias limpas para segurança energética em momentos de crise sanitária. In SILVA, K.A.; ALMEIDA, I.M.S.; EL-DEIR, S.G.; (Orgs) **Resíduos sólidos e Covid-19: desafios e impactos na gestão**. 1a. edição Gampe/UFRPE Recife, 2021. p. 376-391

AQUINO, G.A.; MOURA, G.J.B.; EL-DEIR, S.G.; MELLO, D.P.; Perigos relativos ao descarte inadequado de resíduos eletroeletrônicos domésticos. In BEZERRA, P.L.B.; AGUIAR, W.J.; L-DEIR, S.G.; (Orgs) **Resíduos sólidos: gestão em indústrias e novas tecnologias**. 2a. edição Gampe/UFRPE Recife, 2017. p. 174-187.

AZADI, M., Northey, S. A., Ali, S. H., & Edraki, M. Transparency on greenhouse gas emissions from mining to enable climate change mitigation. **Nature Geoscience**, v. 13, n. 2, p. 100-104. 2020.

BEZERRA, A.P.X.G.; ZAPONI, J.R.C.; MOTA, A.M.V.; HOLANDA, R.M.; Gerenciamento dos resíduos eletroeletrônicos do centro administrativo do complexo industrial portuário governador Eraldo Gueiros – Suape. In BEZERRA, P.L.B.; AGUIAR, W.J.; EL-DEIR, S.G.; (Orgs) **Resíduos sólidos: gestão em indústrias e novas tecnologias**. 2a. edição Gampe/UFRPE Recife, 2017. p. 103-116.

BRAINER, S.A.B.; DUQUE, A.E.S.; SOUZA, G.L.A.; LIMA, J.E.S.; Implantação do projeto papa-pilhas: recolhimento de pilhas e baterias esgotadas no município de Caruaru/PE. In BEZERRA, P.L.B.; AGUIAR, W.J.; L-DEIR, S.G.; (Orgs) **Resíduos sólidos: gestão em indústrias e novas tecnologias**. 2a. edição Gampe/UFRPE Recife, 2017. p. 140-139.

CABRAL, R.F.D.; MEDEIROS, L.M.S.PAS, D.H.F.; FREIRE, J.M.L.; Implementação de um ponto de coleta de recebimento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no município do Cabo de Santo Agostinho/PE. In BEZERRA, P.L.B.; AGUIAR, W.J.; L-DEIR, S.G.; (Orgs) **Resíduos sólidos: gestão em indústrias e novas tecnologias**. 2a. edição Gampe/UFRPE Recife, 2017. p. 127-139.

DA SILVA, G.R.; CAVALCANTE, M.B. Lixo eletrônico: uma análise da produção e descarte nas escolas públicas urbanas de Guarabira – PB. In: AGUIAR, W.J.; EL-DEIR, S.G.; BEZERRA, R.P.L. (Orgs.). **Resíduos sólidos: abordagens práticas em educação ambiental**. 2a ed. Recife: Gampe/UFRPE, 2017. p. 123-126.

GARCIA, Luiz Carlos; SOUZA, Antônio Augusto Máximo Vaz; NEVES, Priscilla Celly. A prática da obsolescência programada como violação ao meio ambiente- algumas perspectivas. **Diké: Revista Eletrônica de Direito, Filosofia e Política do Curso de Direito da UNIPAC Itabirito**. 1ª edição Unipac/Itabirito, p. 29-46. 2020.

GIESE, E.C.; Biomineração urbana no pós-covid-19: uma “disputa verde” por metais críticos. In ALMEIDA, I.M.S.; SILVA, K.A.; EL-DEIR, S.G.; (Orgs) **Resíduos Sólidos: Gestão e gerenciamento**. 1a. edição Gampe/UFRPE Recife, 2022 p. 561-569

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar projeto de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2019.

GRUBBA, Leilane Serratine; LOCATELLI, Huryel. Obsolescência programada: impactos no desenvolvimento sustentável e sustentado na sociedade contemporânea. **Revista de Direito**, v. 15, n. 1, p. 1-25. 2023.

GUEDES, F.; GUARNIERI, P.; COUTINHO, C.N.; LEITE, T.R.N. Percepções, ações e práticas em logística reversa de consumidores brasileiros em relação ao descarte de eletroeletrônicos da linha branca. In: MENEZES, N.S. et al. (Orgs.). **Resíduos sólidos: educação e meio ambiente**. 1a ed. Recife: EDUFRPE, 2021. p. 694-708.

HOUSSIONON, M. G. Karel; OUENDO, Edgard-Marius D.; BOULAND, Catherine; TAKYI, Sylvia A.; KEDOTE, Nonvignon Marius; FAYOMI, Benjamin; FOBIL, Julius N.; BASU, Niladri . Environmental heavy metal contamination from Electronic Waste

(e-waste) recycling activities worldwide: A systematic review from 2005 to 2017. **International journal of environmental research and public health**, v. 18, n. 7, p. 3517. 2021.

JESUS, J.E.G.; SILVA NETO, M.A.; ALVES, N.B.P.; Gestão de resíduos eletroeletrônicos; obsolescência programada de celulares como limitante da sustentabilidade. In ALMEIDA, I.M.S; SILVA, K.A.; EL-DEIR, S. G.; (Orgs) **Resíduos sólidos: gestão e gerenciamento**. 1a. edição Gampe/UFRPE Recife, 2022. p. 247-259

LIMA, José; MACIEL FILHO, José. Logística reversa e sustentabilidade: um estudo do setor de eletroeletrônicos. **Revista Razão Contábil & Finanças**, v. 9, n. 1, 2019.

LOPES, L.M.M; CABRAL, C.A.; OLIVEIRA, B.G.M.; RODRIGUES, A.L.; Lixo eletrônico nos anos 2014 e 2015 em municípios do agreste e do sertão de Pernambuco. In BEZERRA, P.L.B.; AGUIAR, W.J.; EL-DEIR, S.G.; (Orgs) **Resíduos sólidos: gestão em indústrias e novas tecnologias**. 2a. edição Gampe/UFRPE Recife, 2017. p. 150-162.

LORDELO, Carolina Leticia; SANTOS, Iara T. Q. P. Desafios do programa de gestão integrada de resíduos eletroeletrônicos em instituição de ensino. In: SILVA, Thamirys Suelle da; MARQUES, Mirella Maria Nóbrega; EL-DEIR, Soraya Giovanetti (Orgs.). **Desmaterialização dos resíduos sólidos: estratégias para a sustentabilidade**. 1a. edição Gampe/UFRPE Recife, 2020. p. 364-376.

LOUREIRO, S.M. **Mitigação das emissões dos gases de efeito estufa pela implementação de políticas públicas de resíduos sólidos e mudanças climáticas no Brasil e no Estado e na cidade do Rio de Janeiro**. 2019. 259 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) -Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019

MASCARENHAS, Ícaro Valverde; PÚBLIO, Carlos Alberto Maciel. O Direito ao reparo como garantia fundamental do consumidor em face à Obsolescência Programada dos produtos eletrônicos/The right to repair as a fundamental consumer guarantee in the face of the Programmed Obsolescence of electronic products. **ID on line. Revista de psicologia**, v. 14, n. 50, p. 178-194. 2020.

MATARAZZO, Agata; TUCCIO, Giovanna; TEODORO, Giuseppe; FAILLA, Francesco; GIUFFRIDA, Vincenzo Antonio. Mass Balance as Green Economic and Sustainable Management in WEEE Sector. **Energy Procedia**, v. 157, p. 1377-1384. 2019.

MEDEIROS, A.M.A.; MARINHO, J.I.M.; COUTINHO, C.N.; LEITE, T.R.N. Logística reversa e economia circular dos resíduos eletroeletrônicos. In: NUNES, I.L.S.; PESSOA, L.A.; EL-DEIR, S.G. (Orgs.). **Resíduos sólidos: os desafios da gestão**. 1a ed. Recife: EDUFRPE, 2019. p. 287-296.

MOROSINI, M. C. Estado de conhecimento e questões do campo científico. **Educação**, [S. l.], v. 40, n. 1, p. 101–116, 2014. DOI: 10.5902/1984644415822.

Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reeducacao/article/view/15822>. Acesso em: 19 jul. 2023.

ONU. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Nações Unidas Brasil**. 2022. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 21 de junho de 2023.

ROSSINI, Valéria; NASPOLINI, Samyra Haydêe Dal Farra. Obsolescência Programada e Meio Ambiente: A Geração de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos. In: **Revista de Direito e Sustentabilidade**, v. 3, Brasília, p. 51-71, jan./jun. 2017.

SANTOS, Ricardo Henrique Moraes; GUARNIERI, Patrícia; CERQUEIRA STREIT, Jorge Alfredo. Obsolescência programada e percebida: Um levantamento sobre a percepção do ciclo de vida com usuários de aparelhos celulares. **Gestão & Planejamento-G&P**, v. 22, n. 1, p. 69-86. 2021.

TORRES, B.M.; EL-DEIR, S.G.; Revolução industrial e a problemática dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos: um aporte teórico. In ALMEIDA, I.M.S; SILVA, K.A.; EL-DEIR, S. G.; (Orgs) **Resíduos sólidos: gestão e gerenciamento**. 1a. edição Gampe/UFRPE Recife, 2022a. p. 425-442

TORRES, B.M.; EL-DEIR, S.G.; Acordos internacionais e políticas públicas relativas ao gerenciamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. In ALMEIDA, I.M.S; SILVA, K.A.; EL-DEIR, S. G.; (Orgs) **Resíduos sólidos: gestão e gerenciamento**. 1a. edição Gampe/UFRPE Recife, 2022b. p. 73-88

VIEIRA, Lício Valério Lima; DE OLIVEIRA, Tiago Guimarães; DE AZEVEDO, Acácia Oliveira. OS 7 “RS” DENTRO DO IFS. **Anais Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT)**, v. 1, n. 1, p. 317-321. 2019.

XAVIER, L. H.; GIESE, E. C.; RIBEIRO-DUTHIE, 9A. C.; LINS, F. A. F. Sustainability and the circular economy: A theoretical approach focused on e-waste urban mining. **Resources Polity**, v. 74, p. 11467, 2021.

APÊNDICE C – CAPÍTULO DE LIVRO: PPGUSRN/IFRN(no prelo):

“CONTRIBUIÇÃO DO PPGUSRN/IFRN SOBRE INOVAÇÃO, CIÊNCIA E PRÁTICA NA GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS NATURAIS – EDITAL Nº 17/2023 – PROPI/RE/IFRN

(Será publicado na seleção de livros de programas de pós-graduação stricto sensu pela editora IFRN em 2024):

ANÁLISE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM OFICINAS MECÂNICAS: IMPACTOS AMBIENTAIS E ESTRATÉGIAS DE GESTÃO SUSTENTÁVEL***ANALYSIS OF SOLID WASTE IN AUTOMOTIVE REPAIR SHOP: ENVIRONMENTAL IMPACTS AND SUSTAINABLE MANAGEMENT STRATEGIES.***

Evantuy de Oliveira, Leandro Silva Costa

Resumo:

As oficinas mecânicas de automóveis realizam atividades essenciais de manutenção veicular, contudo, geram diversos resíduos sólidos que podem impactar negativamente o meio ambiente. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi apresentar soluções de reaproveitamento de sucata/resíduos e propor um plano de coleta de resíduos sólidos visando à diminuição do impacto ambiental gerado nas oficinas mecânicas do município de Canguaretama-RN. Para tanto, foi realizada uma pesquisa quantitativa em oficinas mecânicas selecionadas com base em critérios específicos, na qual foi observado que a maioria dos resíduos gerados são de aço, ferro e alumínio, e que, em geral, não existia nenhuma política para tratamento ou descarte adequado desses resíduos. Com base nesses resultados e a partir da catalogação de empresas de reciclagem da região, foi elaborado um plano de coleta de resíduos metálicos cuja finalidade é proporcionar conhecimentos sobre o manejo adequado desses resíduos além de oferecer informações para comunicação direta entre os proprietários de oficinas mecânicas e empresas de reciclagem, estabelecendo por fim, um descarte com maior confiabilidade das peças metálicas. Por fim, os dados mostram que o gerenciamento sustentável de resíduos em oficinas mecânicas é essencial para a preservação do meio ambiente e a segurança no trânsito e que é urgente e necessário promover campanhas de educação ambiental para gestores de oficinas mecânicas, a fim de incentivar a gestão sustentável desses resíduos.

Palavras-chave: Oficina, resíduos sólidos, sustentabilidade, reciclagem

Abstract:

Automotive repair shop perform essential vehicle maintenance activities, however, generate several solid wastes that can negatively impact the environment. In this context, the objective of this study was to present solutions for scrap/waste reuse and to propose a plan for collecting metallic solid wastes aimed at reducing the environmental impact generated in the automotive repair shop of the municipality of Canguaretama-RN. For this purpose, a quantitative research was carried out in selected automotive repair shop based on specific criteria, in which it was observed that the majority of the generated wastes are made of steel, iron and aluminum, and that in general, there was no policy for the treatment or proper disposal of these wastes. Based

on these results and from the cataloging of recycling companies in the region, a plan for collecting metallic wastes was elaborated, aiming to provide knowledge about the proper handling of these wastes and to offer information for direct communication between auto repair owners and recycling companies, establishing a more reliable disposal of metallic parts. Finally, the data shows that sustainable waste management in auto repair is essential for the preservation of the environment and traffic safety, and that it is urgent and necessary to promote environmental education campaigns for workshop managers, in order to encourage sustainable management of these wastes.

Keywords: Automotive repair shop, solid waste, sustainability, recycling.

Introdução

A indústria automobilística tem desempenhado um papel crucial na economia global nas últimas décadas, impulsionando o desenvolvimento tecnológico, a mobilidade urbana e a criação de empregos (DUARTE; RODRIGUES, 2017; WELLBROCK et al., 2020). Entretanto, a produção em larga escala de veículos automotivos tem impactado negativamente o meio ambiente em diversas formas. A fabricação de carros e peças requer uma quantidade significativa de recursos naturais, como metais, plásticos e borrachas. Além disso, durante o processo produtivo, ocorre a emissão de gases poluentes e dejetos tóxicos que, se não tratados adequadamente, podem causar graves danos ambientais e à saúde humana (FERNANDES et al., 2011; SILVA et al., 2018; WELLBROCK et al., 2020).

Ainda, o uso de veículos automotivos é responsável por grande parte das emissões de gases do efeito estufa, contribuindo significativamente para as mudanças climáticas. Os gases emitidos pelos automóveis, como dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio e partículas finas, são responsáveis por poluir o ar e causar problemas respiratórios e cardíacos em seres humanos e animais (CORGOSINHO; PEDROSA, 2019; CORREIA; SIMIONI, 2021).

Outro problema relacionado à produção e uso de veículos é a geração de resíduos sólidos, incluindo peças usadas, pneus e baterias. Se não descartados adequadamente, esses resíduos podem causar contaminação do solo, água e ar, além de representar riscos à saúde pública. (FERNANDES et al., 2011; OLIVEIRA; MATA-LIMA, 2016).

Um veículo automotivo é um meio de transporte movido por um motor de combustão interna, elétrico ou híbrido, capaz de se locomover por si só, sem necessidade de tração animal ou humana. Eles são projetados para transportar pessoas ou mercadorias em vias públicas e privadas, utilizando rodas, esteiras, hélices ou outros dispositivos de movimentação. A categoria de veículos automotivos inclui carros de passeio, caminhões, ônibus, motocicletas, entre outros. Ainda, segundo a literatura, esses veículos são regulados por leis e normas que visam garantir a segurança no trânsito, proteger o meio ambiente e

promover a mobilidade urbana (BRASIL, 1997; OLIVEIRA; LOUREIRO; PESSÔA, 2022; SILVA et al., 2018).

A falta de manutenção em veículos é um problema que pode acarretar prejuízos financeiros e gerar acidentes de trânsito. Essa falta de manutenção é uma das principais causas de acidentes no Brasil, e muitos motoristas negligenciam a manutenção de seus veículos, seja por falta de conhecimento, desleixo ou falta de recursos financeiros. Estudos apontam que a falta de manutenção pode levar a falhas mecânicas, como problemas nos freios, pneus ou suspensão, aumentando consideravelmente o risco de acidentes. Além disso, destacam a importância da manutenção preventiva para garantir a segurança dos passageiros e a eficiência do veículo (SILVA et al., 2018; WELLBROCK et al., 2020).

As oficinas mecânicas são os principais responsáveis por realizar os mais diversos tipos de serviços de manutenção de veículos, como troca de óleo lubrificante, troca e limpeza de peças, retífica de motores, entre outras. No entanto, os resíduos gerados pelas oficinas mecânicas podem ser classificados em duas categorias de acordo com a NBR-10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT: os resíduos não perigosos e os perigosos. Os resíduos não perigosos incluem materiais como papel, plástico e vidro, enquanto os perigosos são compostos por substâncias tóxicas e inflamáveis, como baterias, pneus, óleo lubrificante e peças metálicas. Devido à natureza dos resíduos perigosos, eles precisam ser manuseados com cuidado para evitar danos ao meio ambiente e à saúde pública (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

No Brasil, a gestão de resíduos é regulamentada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que estabelece diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos. A PNRS estabelece que os resíduos devem ser reduzidos na fonte, reciclados e tratados adequadamente antes de serem descartados. Além disso, a PNRS prevê que os geradores de resíduos são responsáveis pela sua gestão e que o poder público deve incentivar ações para a destinação correta dos resíduos (BRASIL, 2010).

Nesse contexto, a reciclagem de resíduos sólidos surge como uma solução viável para reduzir o impacto ambiental gerado pelas oficinas mecânicas. A reciclagem consiste em transformar os resíduos em novos produtos ou matérias-primas, reduzindo assim a quantidade de lixo enviado para aterros sanitários e diminuindo a extração de matérias-primas naturais (GERHARDT et al., 2014; LIMA; VIANA, 2016).

Com base nas informações apresentadas, fica evidente que a gestão de resíduos sólidos gerados pelas oficinas mecânicas é um tema de grande relevância para a promoção da sustentabilidade ambiental. Ainda que muitos desses resíduos possam ser reaproveitados, a reciclagem deles é pouco explorada no Brasil e o descarte inadequado pode causar impactos negativos no meio ambiente, comprometendo a qualidade de vida da população local e afetando a biodiversidade do ecossistema. Portanto, é fundamental que sejam

implementadas políticas públicas que incentivem a gestão adequada dos resíduos sólidos gerados pelas oficinas mecânicas e promovam a conscientização dos proprietários desses estabelecimentos sobre a importância da adoção de práticas sustentáveis para a preservação do meio ambiente (BARBIERI; AQUINO, 2021; CORGOSINHO; PEDROSA, 2019; MASSI et al., 2009).

Diante desse cenário, o objetivo principal deste estudo foi identificar os principais resíduos sólidos gerados pelas oficinas mecânicas na cidade de Canguaretama/RN e as práticas adotadas para a sua gestão e destinação final. Por meio da análise desses dados, busca-se apresentar soluções que possam contribuir para a diminuição do impacto ambiental gerado pelas oficinas mecânicas, visando a promoção da sustentabilidade.

Além disso, este trabalho se insere no contexto de cidades inteligentes e sustentáveis, visando contribuir para o alcance do Objetivo do Desenvolvimento Sustentável 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis, uma vez que busca soluções para reduzir as emissões de gases poluentes e promover práticas mais sustentáveis de gestão de resíduos sólidos. Nesse sentido, a identificação das melhores práticas para a gestão de resíduos gerados pelas oficinas mecânicas pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias mais efetivas de gestão de resíduos em cidades inteligentes e sustentáveis.

Por fim, a elaboração de um plano de coleta de resíduos sólidos é uma das soluções apresentadas neste estudo para a promoção da sustentabilidade ambiental na gestão de resíduos de oficinas mecânicas. Dessa forma, espera-se que este estudo possa contribuir para a conscientização e a adoção de práticas mais sustentáveis por parte das oficinas mecânicas, bem como para o desenvolvimento de novas pesquisas e a implementação de soluções mais efetivas de gestão de resíduos em cidades inteligentes e sustentáveis.

Metodologia

Esta pesquisa pode ser classificada como uma pesquisa descritiva, de abordagem qualitativa, com procedimentos metodológicos de levantamento bibliográfico, observação direta e entrevistas semiestruturadas (KÖCHE, 2016). A pesquisa descritiva tem como objetivo descrever as características de determinado fenômeno ou população, buscando identificar as suas principais características e peculiaridades. A abordagem qualitativa permite a compreensão dos fenômenos estudados de forma mais aprofundada, explorando as perspectivas e experiências dos sujeitos envolvidos. Já os procedimentos metodológicos utilizados, como o levantamento bibliográfico, a observação direta e as entrevistas semiestruturadas, foram escolhidos com o intuito de obter dados tanto do ambiente quanto dos atores envolvidos no processo de gestão de resíduos sólidos em oficinas mecânicas na cidade de Canguaretama/RN.

Durante a pesquisa bibliográfica, foram abordadas as categorias de resíduos sólidos gerados em serviços de manutenção automotiva e seus impactos ambientais, bem como as leis e normas brasileiras que regulamentam essa área. Além disso, foram incluídos artigos já publicados relacionados à temática deste projeto.

Após uma visita à Secretaria de Meio Ambiente da cidade de Canguaretama/RN em dezembro de 2019 para definir a metodologia de seleção das oficinas para o estudo, constatou-se a ausência de um cadastro específico para as oficinas mecânicas da cidade. Diante disso, optou-se por estudar a população completa de oficinas mecânicas da área urbana da cidade.

Para o presente estudo, a metodologia de seleção das oficinas mecânicas incluiu a identificação de todas as oficinas localizadas nas áreas urbanas da cidade que realizam serviços de manutenção preventiva e corretiva em motores e seus componentes em carros de linha leve, tais como oficinas de concessionárias autorizadas e oficinas privadas de mecânica geral. Não houve restrição para o porte da empresa ou número de funcionários.

Como não havia um cadastro específico das oficinas mecânicas da cidade, e levando em consideração que o município de Canguaretama é considerado de porte pequeno, com cerca de 30.000 habitantes (IBGE, 2022), a seleção foi feita a partir de uma busca ativa, visitando cada oficina identificada para verificar se ofereciam os serviços mencionados. O critério de inclusão foi que a oficina realizasse serviços de manutenção preventiva e corretiva em motores e seus componentes em carros de linha leve. As oficinas que não atenderam a esses critérios foram excluídas da amostra. O processo de seleção das oficinas ocorreu durante o meses de janeiro e fevereiro de 2020.

Após a busca ativa e catalogação das oficinas mecânicas que seriam incluídas no estudo, foi desenvolvido um questionário piloto, segundo metodologia de Seramin (SERAMIM et al., 2018), a ser aplicado para administradores de três oficinas da região. O objetivo deste questionário piloto era o de validar o instrumento utilizado para a coleta de dados e avaliar a clareza e objetividade das questões propostas.

Após a aplicação do questionário piloto, foram realizados ajustes no instrumento para que fosse adequado à realidade das oficinas mecânicas estudadas. O questionário final continha questões relacionadas à caracterização da oficina, serviços oferecidos, capacitação dos funcionários, medidas de segurança e gestão ambiental. O questionário foi aplicado pelos pesquisadores, de forma presencial, aos administradores das oficinas mecânicas selecionadas.

Os dados coletados foram tabulados e analisados estatisticamente, utilizando software específico para análise de dados. Além do mais, foram tiradas fotografias dos resíduos identificados, local de armazenamento e do estabelecimento, como parte do registro visual da pesquisa e documentação dos achados. As fotografias foram utilizadas como complemento

das informações obtidas durante as entrevistas e inspeções visuais, a fim de subsidiar a elaboração dos relatórios de análise de cada oficina. As fotografias foram armazenadas em arquivo digital e organizadas por número de identificação da oficina e data da inspeção.

O plano de coleta de resíduos sólidos foi elaborado com o objetivo de proporcionar um conhecimento mais aprofundado sobre o manejo adequado desses materiais, bem como de oferecer informações relevantes para uma comunicação mais direta entre os proprietários de oficinas mecânicas, órgãos públicos e empresas de reciclagem. Para isso, inicialmente foram realizadas pesquisas on-line para identificar empresas que oferecem serviços de coleta e reciclagem de resíduos sólidos, levando em consideração as necessidades específicas da pesquisa. Em seguida, foram estabelecidos contatos com essas empresas para avaliar se seus serviços atendiam às necessidades do projeto, especialmente a coleta de resíduos no município de Canguaretama/RN.

O plano elaborado incluiu informações detalhadas sobre o armazenamento adequado dos resíduos nas oficinas mecânicas, destacando os cuidados necessários para evitar danos ao meio ambiente e uma lista de empresas especializadas em reciclagem de metais. Além disso, o plano apresenta as principais legislações vigentes sobre o tema, principais resíduos de oficinas e problemas ambientais relacionados, além de estratégias para conscientização da população local.

Resultados e Discussões

O processo de seleção de amostra descrita na metodologia permitiu a identificação e inclusão de vinte oficinas privadas de mecânica geral que ofereciam serviços de manutenção preventiva e corretiva em motores e seus componentes em carros de linha leve. Nenhuma oficina ou concessionária de auto porte foi identificada neste estudo.

A partir da aplicação dos questionários, foi possível obter informações valiosas sobre as práticas adotadas pelas oficinas mecânicas em relação ao gerenciamento de resíduos sólidos. Os resultados obtidos revelaram que as oficinas mecânicas têm como principais opções de descarte de resíduos sólidos o ferro-velho, seguido pela reciclagem, conforme indicado pelos participantes da pesquisa e como pode ser visto na figura 1.

Com base nos dados apresentados pode-se observar que o destino mais comum para o aço e o ferro é o ferro-velho, com dezesseis e dezessete das oficinas pesquisadas, respectivamente, optando por esse destino. Já o alumínio é mais destinado à reciclagem, com sete oficinas mecânicas adotando essa prática, enquanto treze optaram pelo ferro-velho. O plástico, por sua vez, é o único material que não é adequadamente enviado para reciclagem, sendo destinado ao lixo doméstico por dezesseis das oficinas mecânicas que o descartam.

Figura 1- Destino dos resíduos sólidos nas oficinas mecânicas de Canguaretama/RN



Fonte: Autoria própria

Os resultados referentes às práticas de gerenciamento de resíduos sólidos adotadas pelas oficinas mecânicas de Canguaretama/RN indicam que os empreendimentos estão seguindo as normas e critérios estabelecidos pela norma brasileira NBR 10004 para a correta classificação e destinação dos resíduos gerados em suas atividades, o que é um fator positivo para a gestão sustentável desses materiais.

A escolha predominante das opções de descarte, como a reciclagem e o ferro-velho, pode trazer benefícios ambientais e econômicos, tais como a redução do volume de resíduos enviados para aterros sanitários, a geração de novos produtos e a obtenção de receita por meio da venda de sucatas (SIMONCINI et al., 2023).

Entretanto, alguns pontos negativos devem ser ressaltados, como a destinação inadequada do plástico para o lixo doméstico e os riscos ambientais relacionados ao destino das peças ao ferro-velho, como a possível contaminação do solo e da água. Por isso, é fundamental que as empresas adotem medidas de segurança na manipulação e transporte desses materiais para minimizar riscos à saúde dos trabalhadores e ao meio ambiente.

Diante disso, é importante que as empresas avaliem continuamente suas práticas de gestão de resíduos sólidos e busquem alternativas mais sustentáveis e seguras para o descarte desses materiais. Ainda, é fundamental que haja uma conscientização da sociedade em relação ao impacto ambiental e social causado pelo descarte inadequado de resíduos sólidos, bem como a importância da reciclagem e do ferro-velho para a preservação do meio ambiente e a promoção de um desenvolvimento sustentável.

Ainda de acordo com as entrevistas, embora os participantes tenham destacado a reciclagem e o ferro-velho como principais destinos dos resíduos sólidos, não foi possível afirmar com certeza a real destinação final destes componentes. Isso porque, em nenhuma das oficinas visitadas, havia coleta seletiva específica realizada por órgãos públicos ou empresas privadas direcionados para este segmento, o que indica a falta de controle e fiscalização da destinação final desses resíduos.

Os resultados da pesquisa ainda apontam para uma possível comercialização informal dos resíduos sólidos gerados pelas oficinas mecânicas a partir da venda de peças usadas para sucateiros. Esse fato é preocupante, pois pode indicar uma falta de controle e fiscalização por parte dos órgãos responsáveis, além de acarretar riscos ambientais e sociais. A comercialização direta das peças usadas para sucateiros pode sinalizar uma ineficiência no sistema de gerenciamento de resíduos sólidos. Afinal, esses materiais poderiam ser encaminhados para aterros sanitários ou usinas de reciclagem, contribuindo para a redução do impacto ambiental e para a promoção do desenvolvimento sustentável. Quando esses resíduos são vendidos informalmente, não há garantia sobre a sua destinação final, o que pode acarretar problemas ambientais, como a contaminação do solo e da água, além de prejudicar a saúde pública (BIASI; VANIN, 2022; OLIVEIRA; MIRANDA; SOARES, 2019).

Ainda durante as visitas realizadas às oficinas mecânicas, verificou-se que o armazenamento e o manuseio dos resíduos sólidos gerados representam uma fonte potencial de problemas ambientais e de saúde. Observou-se que, em algumas oficinas, os resíduos eram armazenados de forma inadequada, muitas vezes misturados a outros materiais, sem qualquer separação entre resíduos perigosos e não perigosos e expostos a insolação, como observado na figura 2 abaixo. Adicionalmente, a ausência de sistemas de identificação, etiquetagem ou armazenamento seguro para resíduos perigosos, como óleo e baterias, pode resultar em riscos ambientais e à saúde dos trabalhadores. Essas práticas inadequadas podem causar contaminação do solo e da água, além de representar um perigo para os trabalhadores que manuseiam esses materiais (GERHARDT et al., 2014; LIMA; VIANA, 2016).

Figura 2. Armazenamento de resíduos nas oficinas de Canguaretama/RN. Imagem da esquerda – Armazenamento de materiais ferrosos em caixas sem identificação. Imagem superior direita – Resíduos da oficina armazenados em ambiente exposto ao sol e a chuva. Imagem inferior direita – Resíduos da oficina expostos ao sol e a chuva.



Fonte: Autoria própria

Esses problemas identificados estão em desacordo com as diretrizes estabelecidas pela PNRS, que tem como objetivo promover a gestão integrada e o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos em todo o território brasileiro. A PNRS prevê a hierarquia na gestão de resíduos, que deve priorizar a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento e a disposição final adequada dos resíduos, garantindo a proteção da saúde pública e do meio ambiente. Além disso, a PNRS estabelece a responsabilidade compartilhada entre o poder público, setor empresarial e a sociedade civil na gestão dos resíduos sólidos.

Portanto, a situação preocupante identificada nas oficinas mecânicas reforça a necessidade de intervenção do setor público na gestão adequada dos resíduos sólidos gerados por essas empresas. Além da adoção de práticas de gestão ambiental responsável pelas oficinas mecânicas, é importante que haja fiscalização e regulamentação por parte do governo para garantir a adequação das oficinas às normas vigentes de manejo de resíduos sólidos. Isso inclui a implantação de medidas para o armazenamento e manuseio seguro dos resíduos, além da destinação final adequada por meio da contratação de empresas especializadas em coleta e destinação de resíduos. Essas ações são fundamentais para evitar problemas ambientais e de saúde pública decorrentes de práticas inadequadas de manejo de resíduos sólidos, e contribuem para o desenvolvimento sustentável do setor de serviços mecânicos.

Após a pesquisa realizada nas oficinas mecânicas, constatou-se a necessidade urgente de intervenção do setor público na gestão dos resíduos sólidos gerados por esses

empreendimentos. A falta de coleta seletiva específica por parte dos órgãos responsáveis e a ausência de fiscalização tornam difícil afirmar com exatidão o destino desses materiais, o que pode acarretar graves problemas ambientais e de saúde pública.

Com base na pesquisa bibliográfica e nos dados obtidos das empresas de reciclagem e das próprias oficinas mecânicas, foi elaborado um plano de coleta de resíduos sólidos. Esse plano contempla informações sobre os tipos de resíduos gerados pelas oficinas, as quantidades produzidas, as empresas de reciclagem que atuam na região e os métodos de armazenamento e coleta adequados para cada tipo de resíduo. Além disso, o plano de coleta também apresenta sugestões de ações de conscientização ambiental para os trabalhadores das oficinas mecânicas, como palestras, treinamentos e distribuição de materiais informativos. O documento pode ser livremente acessado pelo endereço eletrônico <<https://drive.google.com/file/d/1UMe9WIFVsa61TtJjml7oEf5S5asFIZm/view?usp=sharing>>.

Para viabilizar a efetivação desse plano, inicialmente foram catalogadas as empresas que realizam coleta e reciclagem dos resíduos sólidos em questão, considerando aspectos como os tipos de metais reciclados, a quantidade mínima de material e se a coleta é realizada diretamente na oficina. Dessa forma, é possível oferecer contatos de empresas que trabalham com reciclagem de metais ferrosos e não ferrosos, facilitando a comunicação direta entre as oficinas mecânicas e as empresas de descarte. A adoção dessas medidas pode contribuir significativamente para a redução do impacto ambiental e para o desenvolvimento sustentável da região.

A tabela 2 apresenta as informações obtidas com as empresas de reciclagem, incluindo os metais reciclados por cada uma e a quantidade mínima de material exigida. Foram identificadas nove empresas que podem atuar no município de Canguaretama/RN, contemplando coleta de ferro, cobre, alumínio, aço, pneu e plástico. No que diz respeito a quantidade mínima para que a empresa possa fazer a coleta dos resíduos, apenas a Patrícios Metais e a COMPAL apresentaram exigências, que variou de 20Kg para a primeira e 4000Kg para a última.

Tabela 1. Empresas de reciclagem que atuam no município de Canguaretama/RN.

| Empresa | Resíduo | | | | | | Quantidade mínima para coleta |
|---------------------|---------|-------|----------|-----|------|----------|-------------------------------|
| | Ferro | Cobre | Alumínio | Aço | Pneu | Plástico | |
| Recicla | - | x | x | | - | - | - |
| Patrícios Metais | - | x | x | x | - | - | Acima de 20kg |
| Natal Recicla | x | x | x | x | - | - | - |
| COMPAL | x | x | x | x | - | - | Acima de 4000kg |
| Repla-Reciclagem de | - | - | - | - | - | x | - |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Plásticos em Geral | | | | | | | |
| Recicla RN | x | x | x | x | - | x | - |
| URBANA - Companhia de Serviços Urbanos de Natal | | - | - | - | x | - | - |
| Reciaço | x | - | - | x | - | - | - |
| RECICLAGEM UNIÃO | - | x | x | - | - | - | - |

Fonte: Autoria própria

Além das informações sobre as empresas de reciclagem, o plano de coleta também contém materiais educativos com instruções básicas sobre o armazenamento adequado das peças metálicas da oficina, como ilustrado na figura 3. O material traz informações simples e objetivas sobre os cuidados com o local de armazenamento, manejo dos resíduos sólidos e sugestões para o processo de coleta dos componentes. É recomendável que esses materiais estejam disponíveis de forma acessível para todos os trabalhadores da oficina. Assim, eles poderão seguir as orientações corretamente e contribuir para uma gestão mais eficiente dos resíduos sólidos gerados pela oficina.

Figura 3. Material didático sobre armazenamento correto das peças metálicas disponibilizada no Plano de descarte de resíduos sólidos de oficinas mecânicas de Canguaretama/RN.

ARMAZENAMENTO CORRETO DAS PEÇAS METÁLICAS

Cuidados com o local de armazenamento:

- Sem contato direto com o chão;
- Local coberto e livre de umidade;
- Estocagem em estantes ou palhetes; e
- Ao armazenar o aço, evitar contato com os outros metais para não causar danos.

Manejo dos resíduos sólidos manualmente:

- Sempre manusear com luvas e usar ferramentas e peças de plástico; e
- Operários suficientes para distribuir o peso e armazenar corretamente.

Facilite o trabalho de entrega

- Separar previamente as peças por tipo de material de composição; e
- Separar os metais agrupados para diminuir o peso.








Fonte: Autoria própria

É fundamental destacar que o relatório, em especial a lista das Empresas de Reciclagem que atuam no município de Canguaretama/RN, representa uma ferramenta essencial para a gestão de resíduos nas oficinas da região. Considerando a falta de coleta seletiva específica e fiscalização, é imprescindível estabelecer uma comunicação direta entre as oficinas mecânicas e as empresas responsáveis pelo descarte adequado dos resíduos sólidos. Nesse sentido, os responsáveis pelo descarte nas oficinas devem utilizar as informações contidas no relatório para entrar em contato direto com os responsáveis pela coleta e organizar o descarte adequado dos materiais gerados. Além disso, é crucial promover a gestão de resíduos e campanhas de conscientização para minimizar os impactos negativos dos resíduos sólidos gerados pelas oficinas mecânicas.

Por fim, é importante ressaltar a necessidade de campanhas de conscientização sobre a gestão adequada de resíduos sólidos, tanto para os donos e funcionários das oficinas mecânicas quanto para a população em geral. A conscientização pode contribuir para a redução da quantidade de resíduos gerados, bem como para a destinação correta desses

materiais, minimizando os impactos ambientais negativos (CALDEIRA et al., 2020; CASTRO; SANTOS; SOUZA, 2022; SIMONCINI et al., 2023).

Considerações Finais

Em síntese, os principais achados desta pesquisa demonstram que a gestão de resíduos sólidos em oficinas mecânicas é um tema que merece atenção por parte das autoridades municipais. Os resultados apontam para a necessidade de fiscalização e coleta seletiva específica para os resíduos gerados nesse setor, uma vez que os entrevistados afirmaram não haver fiscalização e desconhecer o destino final dos resíduos gerados.

A catalogação de empresas de reciclagem foi apontada como uma estratégia eficaz para a composição do plano de coleta, permitindo identificar as opções disponíveis na região e sua capacidade de processamento, contribuindo assim para a promoção do ODS 11 - Cidades e comunidades sustentáveis.

No entanto, para que essa estratégia seja realmente útil, é fundamental melhorar a comunicação entre as empresas de coleta, que muitas vezes não conseguem estabelecer parcerias efetivas para a coleta e destinação dos resíduos gerados pelas oficinas mecânicas. Por isso, é necessário buscar soluções para aprimorar essa comunicação e garantir que as informações contidas no catálogo sejam realmente aproveitadas, aumentando a efetividade do plano de coleta e contribuindo para a preservação do meio ambiente.

É importante destacar que a pandemia de COVID-19 prejudicou a implantação do plano, mas a distribuição do documento aos gestores das oficinas e aos órgãos públicos competentes marca o início da retomada das atividades. Além disso, parcerias com empresas de reciclagem podem ser estabelecidas para realizar a coleta de determinado grupo de oficinas e distribuir os planos de coleta gratuitamente, aumentando assim a efetividade do manejo adequado dos resíduos sólidos gerados.

É também fundamental a realização de novas pesquisas que visem à conscientização sobre a gestão adequada de resíduos gerados pelas oficinas mecânicas em outras cidades, assim como a expansão desse trabalho para outras localidades. Dessa forma, é possível promover a conscientização e educação ambiental para a adoção de práticas sustentáveis na gestão de resíduos sólidos em cidades inteligentes e sustentáveis. Isso contribui para a preservação do meio ambiente, reduzindo os impactos negativos causados pelos resíduos gerados e garantindo um futuro mais promissor para as gerações futuras.

Além disso, a conscientização sobre a gestão adequada de resíduos gerados pelas oficinas mecânicas pode ser disseminada por meio de programas educacionais, palestras e

campanhas de sensibilização, aumentando a conscientização da população sobre a importância da gestão adequada dos resíduos sólidos.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10004. ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação. . 2004.

BARBIERI, G. H.; AQUINO, A. D. DE. Análise de resultados de auditorias ambientais de homologação de empresas de tratamento de resíduos sólidos, provenientes de uma indústria automobilística. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 4, p. 671–685, 8 fev. 2021.

BIASI, A. L. M.; VANIN, A. B. LOGÍSTICA REVERSA NO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE OFICINAS MECÂNICAS. **Seminário de Iniciação Científica e Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão**, p. e32013–e32013, 10 nov. 2022.

BRASIL. 9.503. Código de Trânsito Brasileiro - LEI Nº 9.503, DE 23 DE SETEMBRO DE 1997. . 23 set. 1997.

BRASIL. LEI Nº 12.305. Política Nacional de Resíduos Sólidos. . 2 ago. 2010.

CALDEIRA, E. C. B. et al. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM OFICINAS MECÂNICAS E A RELAÇÃO DA SAÚDE E SEGURANÇA NO MEIO AMBIENTE DO TRABALHO. **A EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM UMA PERSPECTIVA INTERDISCIPLINAR**, v. 1, n. 1, p. 229–243, out. 2020.

CASTRO, R. S. DE S.; SANTOS, V. C. S.; SOUZA, R. L. DE. PROPOSTA DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: RESÍDUOS DE OFICINA MECÂNICA. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - SERGIPE**, v. 7, n. 2, p. 101–101, 27 abr. 2022.

CORGOSINHO, R. R.; PEDROSA, J. G. A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA E O PRINCÍPIO DA SUSTENTABILIDADE: A NATUREZA DO DISCURSO APROPRIADO. **Ciências Gerenciais em Foco**, v. 10, n. 7, p. 105–133, 8 out. 2019.

CORREIA, G. M. C.; SIMIONI, C. Políticas ambientais e uma possível mudança na matriz energética da indústria automobilística na Noruega. **Caderno da Escola Superior de Gestão Pública, Política, Jurídica e Segurança**, v. 4, n. 1, p. 50–64, 25 fev. 2021.

DUARTE, R. G.; RODRIGUES, S. B. Co-evolution of Industry Strategies and Government Policies: The Case of the Brazilian Automotive Industry. **BAR - Brazilian Administration Review**, v. 14, p. e160100, 14 ago. 2017.

FERNANDES, J. D. et al. Estudo de impactos ambientais em solos: o caso da reciclagem de baterias automotivas usadas, tipo chumbo-ácido. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 7, n. 1, 2011.

GERHARDT, A. E. et al. Diagnóstico para o gerenciamento dos resíduos sólidos em oficina mecânica: estudo de caso em concessionária do município de Frederico Westphalen – RS. **Revista Monografias Ambientais**, p. 2899–2908, 26 fev. 2014.

IBGE. **Canguaretama (RN) | Cidades e Estados | IBGE**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/canguaretama.html>>. Acesso em: 13 abr. 2022.

KÖCHE, J. C. **Fundamentos de metodologia científica - Teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. 34. ed. [s.l.] Editora Vozes, 2016. v. 1

LIMA, M. B. O. DE; VIANA, E. Geração e gerenciamento dos resíduos sólidos em uma oficina mecânica. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 533–551, 1 mar. 2016.

MASSI, K. G. et al. Valoração contingente de uma oficina mecânica no município de Osasco, SP. **Revista Científica Hermes**, v. 1, 3 jul. 2009.

OLIVEIRA, C. C.; MATA-LIMA, H. Procedimentos para produção limpa no setor industrial: um estudo de caso aplicado à indústria automotiva. **Revista Hipótese**, v. 2, n. 2, p. 7–22, 25 abr. 2016.

OLIVEIRA, A. F. DE; MIRANDA, R. A.; SOARES, L. A. IMPACTOS AMBIENTAIS EM ÁREAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM SANTA HELENA DE GOIÁS. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 3, p. 688–706, 3 out. 2019.

OLIVEIRA, S. L. S. DE; LOUREIRO, J. C. DE F.; PESSÔA, L. C. A atuação do veículo híbrido no mercado brasileiro: análise das oportunidades de inserção no mercado automotivo. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 9, n. 21, p. 317–328, 30 abr. 2022.

SERAMIM, R. J. et al. Percepção do Consumidor e a Gestão Ambiental em Oficina Mecânica no Oeste Paranaense. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 1, p. 01–22, 22 mar. 2018.

SILVA, F. C. D. et al. BARREIRAS À GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS VERDE NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA. **Revista de Administração de Empresas**, v. 58, n. 2, p. 149–162, mar. 2018.

SIMONCINI, J. B. V. B. et al. Educação Ambiental e resíduos sólidos urbanos no Brasil. **ANALECTA - Centro Universitário Academia**, v. 8, n. 1, 3 mar. 2023.

WELLBROCK, W. et al. Sustainability in the automotive industry, importance of and impact on automobile interior – insights from an empirical survey. **International Journal of Corporate Social Responsibility**, v. 5, n. 1, p. 10, 30 dez. 2020.

APÊNDICE D – CAPÍTULO DE LIVRO: PPGUSRN/IFRN(no prelo):

“CONTRIBUIÇÃO DO PPGUSRN/IFRN SOBRE INOVAÇÃO, CIÊNCIA E PRÁTICA NA GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS NATURAIS – EDITAL Nº 17/2023 – PROPI/RE/IFRN

(Será publicado na seleção de livros de programas de pós-graduação stricto sensu pela editora IFRN em 2024):

ADVANCES IN PHOTOVOLTAIC MODULE CLEANING TECHNOLOGIES: TECHNOLOGICAL REVIEW AND PATENT TRENDS

RIBES C. A.¹, OLIVEIRA E.², ALVES. D.L.³, NETO A.M.B.⁴, LIMA. J.S.J.⁵, CARVALHO NETO, J. T.⁶

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande de Norte

c.ribes@escolar.ifrn.edu.br¹, evantuy.oliveira@escolar.ifrn.edu.br², dennys.alves@escolar.ifrn.edu.br³, antonio.martins@escolar.ifrn.edu.br⁴, jose.sindelei@escolar.ifrn.edu.br⁵, joao.teixeira@ifrn.edu.br⁶

ABSTRACT

The main objective of this study is to present, based on searches carried out on the espacenet platform, the main technological innovations related to photovoltaic module cleaning systems. In this context, the article looks at the pertinence of dealing with losses in photovoltaic systems, focusing on the dirt deposited under the surface of the modules. However, to make its achievement feasible, two methodological approaches were used, namely: a hypothetical-deductive one followed by an exploratory one. Through the first, a specific object of study was

formulated, offering an initial provisional solution and with the second, the basic theoretical framework was acquired for understanding the terms to be researched, embodied in the words that composed the strings used in the search. In this way, as a result, data related to IPC codes, relevant patents, applicants and inventors, as well as geographic trends are discussed, aiming to help the reader to outline a profile about the technological production regarding the theme.

KEYWORDS: Photovoltaic Module, Patents, Losses, Dirt, Trends.

AVANÇOS EM TECNOLOGIAS DE LIMPEZA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS: REVISÃO TECNOLÓGICA E TENDÊNCIAS DE PATENTES

RESUMO

O objetivo central deste estudo é apresentar, alicerçados em buscas realizadas na plataforma espacenet, as principais inovações tecnológicas congêneres aos sistemas de limpeza de módulos fotovoltaicos. Neste contexto, o artigo lança seu olhar sobre a pertinência do enfrentamento a perdas em sistemas fotovoltaicos, com foco nas sujidades depositadas sob a superfície dos módulos. Não obstante, para viabilizar sua consecução fez-se uso de duas abordagens metodológicas, a saber:

uma hipotético-dedutiva seguida de outra do tipo exploratória. Através da primeira formulou-se um objeto de estudo específico, oferecendo-lhe uma solução provisória inicial e com a segunda adquiriu-se o arcabouço teórico basilar ao entendimento dos termos a serem pesquisados, consubstanciados nos vocábulos que compuseram as *strings* utilizadas na busca. Nesta senda, como resultados são discutidos dados relativos a códigos IPC, patente relevantes, depositantes e inventores, além

de tendências geográficas, objetivando ajudar o leitor a delinear um perfil acerca da produção tecnológica tocante a temática.

1 Introdução

A busca por outras fontes de energia para geração de eletricidade é justificada pelo aumento acelerado da demanda energética em todo o mundo, há a necessidade da diminuição de dependência de combustíveis fósseis e um aumento pelo favorecimento de fontes de energia que não poluem (VILLALVA, 2015). A energia elétrica é produzida através de várias fontes de energia, seja pela água, combustíveis fósseis, biomassa, vento, sol, força das ondas e compostos químicos (ARAÚJO et al., 2016).

A radiação solar é uma fonte energética inesgotável, tendo um grande potencial de sua utilização por meio de sistemas de captação e conversão, como, por exemplo, a fotovoltaica (PINHO; GALDINO, 2014). Segundo Villalva e Gazoli (2013), o efeito fotovoltaico é um fenômeno físico que possibilita a obtenção de energia elétrica, através da conversão direta da energia inclusa na radiação luminosa, pelo material semicondutor de que é formada a célula fotovoltaica.

Nos últimos anos, a energia solar tem sido largamente empregada como uma fonte alternativa, sendo os módulos fotovoltaicos (FV) responsáveis pela conversão direta de radiação solar em energia elétrica. O Brasil, por se encontrar próximo da linha do Equador possui um dos maiores potenciais fotovoltaicos do planeta (IPEA- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2018), o que proporciona as menores variações na duração solar do dia mesmo em épocas de solstício (ANEEL, 2011).

Atualmente, módulos FV com eficiência de 23,22% já são encontrados no mercado (PORTAL SOLAR, 2019). Em regra, os parâmetros ambientais, como a intensidade de irradiação solar, temperatura do ambiente, sujidade, umidade relativa e vento, possuem um grande impacto no desempenho dos módulos (BRAGA et al., 2020). Embora haja o aumento significativo no auxílio da geração de energia elétrica e no avanço da eficiência dos materiais fotovoltaicos, é importante que as instalações de painéis fotovoltaicos usem a sua capacidade máxima de geração.

A sujidade é causada pelo acúmulo e deposição de poeira, poluentes, dejetos de fauna, especificamente aves, ou de outros tipos de contaminantes nas superfícies dos módulos fotovoltaicos, dificultando assim que a irradiação solar incida diretamente sobre a superfície FV, acarretando, desse modo, perdas de produção e aumento dos custos de operação e manutenção (MICHELI et al., 2018).

O grau de influência da sujidade no desempenho dos módulos FV varia de acordo com a localidade, poisas condições ambientais do local em que os módulos estão instalados, assim como as variações ambientais sazonais, impactam diretamente a quantidade, o tipo e o tamanho das partículas de sujidade que são encontradas sobre a superfície FV (ARAÚJO et al., 2019).

Emerge a questão de manutenção preventiva, objetivando um alto desempenho destes sistemas fotovoltaicos, sendo uma delas a limpeza dos módulos para manter a eficiência na conversão da energia solar em energia elétrica (CEPEL, 2004). Além de ser importante, essa limpeza promove uma maior longevidade dos painéis fotovoltaicos, aumentando também a produção do sistema ao longo do tempo, ao proporcionar a diminuição das perdas por bloqueio da radiação solar incidente no módulo.

A aglomeração de sujeira nos sistemas fotovoltaicos pode causar manchas, fungos e corrosão nos módulos, além de diminuir a radiação solar que incidirá exatamente nas células fotovoltaicas, decaindo a produtividade e vida útil que é estimada entre 25 a 30 anos (RENEWENERGIA, 2015). A diferença na geração de energia entre módulos limpos e os com acúmulo de sujidade, principalmente

em instalações de grande porte, podem acarretar sérios problemas de ordem econômica, quando diminuída a capacidade geradora de energia (ALVES, 2018).

2 Revisão Bibliográfica

2.1. Caracterização geral da energia solar fotovoltaica

Aldabó (2002) destaca que a energia elétrica é um insumo fundamental quando se trata do fomento ao desenvolvimento econômico e social das nações. A energia fotovoltaica é a ciência que usa a energia do sol para produzir eletricidade (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016). Martins e Pereira (2019) pontuam que a energia solar figura entre as possíveis alternativas sustentáveis para o suprimento energético dos países.

A incessante busca por fontes energéticas sustentáveis ambientalmente vem fomentando cada vez mais a disseminação do uso das energias renováveis, com destaque para a energia solar fotovoltaica. Os últimos anos foram marcados pela transposição de algumas barreiras tecnológicas e econômicas que limitavam a utilização da energia fotovoltaica em larga escala, característica que tem contribuído para promover mudanças substanciais na matriz energética mundial (MARTINS; PEREIRA, 2019).

Neste contexto a geração fotovoltaica, caracterizada dentre outros aspectos por não produzir resíduos, ser segura e por seus baixos custos de operação e manutenção, vem ganhando cada vez mais relevância e reconhecimento. Os entes governamentais vêm considerando cada vez mais as fontes provenientes de recursos renováveis, buscando suprir a crescente demanda mundial por eletricidade, sem que a poluição ambiental esteja agregada a mesma (ALDABÓ, 2002).

Conforme descrito por Balfour, Shaw e Nash (2016) a energia solar fotovoltaica pode ser utilizada para fornecer eletricidade para residências, empresas, sistemas de irrigação dentre inúmeros outros. No que se refere a interligação de sistemas fotovoltaicos com a rede elétrica de distribuição são encontradas instalações de portes diversos, desde conjuntos de módulos fotovoltaicos integrados a edificações (geração descentralizada) até sistemas centralizados de elevada potência (BORGES NETO; CARVALHO, 2012).

Os sistemas fotovoltaicos possuem custo de aquisição e instalação ainda elevado, particularidade que pode ser considerada umas das desvantagens desta modalidade energética (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016). A intermitência natural da radiação solar é intrínseca à conversão de energia solar em eletricidade, sendo outra desvantagem competitiva da geração fotovoltaica (MARTINS; PEREIRA, 2019). A tecnologia fotovoltaica, que até pouco tempo era considerada marginal, é agora, e por seus próprios méritos, uma alternativa que ganha força no mix da eletricidade convencional (ZILLES; MACÊDO; GALHARDO; OLIVEIRA, 2012).

2.2. Células e módulos fotovoltaicos

Consoante Balfour, Shaw e Nash (2016) as células fotovoltaicas tratam-se de finas seções de material semicondutor que reagem a luz solar, produzindo tensão e corrente elétrica. Podem ser consideradas as unidades mais básicas de um sistema de conversão fotovoltaica.

Nas células fotovoltaicas ocorre o efeito fotovoltaico, efeito a partir do qual a luz solar, após incidir sobre a superfície da célula, faz com que os elétrons que constituem a última passem a se separar de seus respectivos átomos, tornando-se livres. Tal fenômeno é facilitado pela dopagem dos semicondutores que constituem as células com impurezas, através de tratamentos realizados durante a produção da célula.

A energia solar pode ser utilizada para produzir eletricidade pelo efeito fotovoltaico, que consiste na conversão direta da luz solar em energia elétrica (VILLALVA, 2015). Segundo Zilles, Macêdo, Galhardo e Oliveira (2012) o efeito fotovoltaico é uma característica física intrínseca ao material que compõe os dispositivos de conversão fotovoltaica. De acordo com Balfour, Shaw e Nash (2016) o silício é comum e barato, por isso que atualmente é o material mais utilizado nas células fotovoltaicas.

Um conjunto de células ligadas em série e/ou paralelo e encapsuladas num mesmo invólucro formam os chamados módulos fotovoltaicos. As células comerciais produzidas em larga escala são constituídas de silício monocristalino, policristalino (ou multicristalino) e amorfo (VILLALVA, 2015). Lâminas circulares ou quadradas de silício mono e multicristalino constituem as células fotovoltaicas sendo que estas últimas possuem espessura entre 0.2 mm e 0.3 mm, com área entre 50 e 150 cm² (ZILLES; MACÊDO; GALHARDO; OLIVEIRA, 2012).

Segundo Zilles, Macêdo, Galhardo e Oliveira (2012), em uma condição de sol de 1000 W/m² e temperatura de célula de 25°C as células fotovoltaicas produzem uma corrente de 32 mA/cm², numa tensão entre 0,46 V e 0,48 V.

2.3. Influência da irradiância e da temperatura ambiente no desempenho das células fotovoltaicas

Uma das preocupações rotineiramente associadas aos sistemas fotovoltaicos é a variabilidade do recurso solar. Aldabó (2002) pontua algumas variações previsíveis e suas respectivas causas no que se refere a energia solar, qual sejam: variação diurna (rotação da terra), variação sazonal (inclinação do eixo terrestre) e variação anual (órbita elíptica da terra em torno do sol). Quanto às variações com previsibilidade incerta, Aldabó (2002), destaca a incerteza quanto a incidência de radiação solar, sendo esta última associada a efeitos diversos, tais quais: formação de nuvens, poluição atmosférica, presença de contaminantes (pó, poeira e fumaça, névoa, fumos e afins). Neste prisma, pode-se afirmar, embora existam outras, que as grandezas que mais influenciam diretamente no desempenho das células solares são as condições de irradiância e temperatura as quais as referidas células são submetidas durante sua operação.

As condições meteorológicas e ambientais surtem um efeito significativo sobre o rendimento dos sistemas fotovoltaicos. De um modo geral, as células fotovoltaicas funcionam melhor em temperaturas mais amenas, em razão da redução do estresse e dos ciclos térmicos, associada a diminuição das taxas de degradação delas (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

Segundo Villalva (2015) a irradiância pode ser definida como sendo uma grandeza empregada para quantificar a radiação solar que incide sobre uma área. Pode também ser chamada de irradiação. É expressa na unidade Watts por metro quadrado (W/m²), ou seja, trata-se de uma unidade de potência por área. Valores de irradiância podem ser coletados através de estações de superfície e imagens de satélite, sendo a primeira técnica possui limitações no que tange a sua cobertura, tendo em geral uma exatidão pontual, enquanto que os dados de satélite são tratados através de modelos

físicos, estatísticos ou híbridos, por conseguinte com incertezas cada vez mais reduzidas (MARTINS; PEREIRA, 2019).

Na superfície terrestre a irradiância solar é tipicamente 1000 W/m^2 (VILLALVA, 2015). Este último valor é considerado o padrão de irradiância na indústria de sistemas fotovoltaicos, visto que através do mesmo pode-se especificar a eficiência das células fotovoltaicas, a partir de um comparativo com base numa condição padrão de radiação solar (VILLALVA, 2015).

2.4. Influência da sujeira no desempenho dos sistemas fotovoltaicos

Em um cenário operativo ótimo, os sistemas fotovoltaicos, quando em funcionamento em suas condições nominais, devem apresentar rendimentos, aferidos, dentre outros aspectos, a partir do quantitativo de energia por ele produzidos quando submetidos a diferentes valores de irradiância, próximos aos valores estimados durante o desenvolvimento de seu respectivo projeto, supondo que este último foi produzido de forma coerente e realista.

Múltiplos fatores podem ser listados como responsáveis por provocar alterações substanciais no desempenho de sistemas fotovoltaicos, dentre os quais merecem destaque: a irradiância solar, a temperatura, o sombreamento e presença de contaminantes diversos. A presença combinada de poeira, sujeira e contaminantes orgânicos e inorgânicos depositados sob um módulo fotovoltaico é designada de *soiling* (BESSA; MICHELI; FERNÁNDEZ; ALMONACID, 2022).

Em relação à irradiância solar, Martins e Pereira (2019) salientam a necessidade de medir com confiabilidade o recurso solar, como forma de realizar estimativas coerentes quanto à sua disponibilidade. No que se refere a influência dos contaminantes, a sua relação com a perda de desempenho dos sistemas fotovoltaicos advém do fato de que a presença deles funciona como um obstáculo a incidência direta da irradiância nos módulos fotovoltaicos, visto que, ao incidir sobre a sujeira, os raios solares podem ser refletidos e espalhados em direções aleatórias, inclusive para fora dos módulos. As diferentes direções nas quais os raios solares são refletidos, no caso da superfície encontrar-se suja, está correlacionada a presença de deposições não uniformes de sujeira.

Consoante Rezende e Zilles (2022), regiões urbanas são bastantes propensas aos efeitos associados a agentes poluentes acumulados nas superfícies dos módulos fotovoltaicos. Tais pesquisadores destacam ainda o fato de que, apesar de sua confiabilidade e robustez operativa, os sistemas fotovoltaicos podem sofrer variações mensuráveis em seu desempenho, quando instalados em locais caracterizados pela presença de poluição e/ou de materiais particulados em suspensão no ar, em especial poeira e areia. Fezes de animais também são citadas como fontes contaminantes, merecendo especial atenção no que tange ao modo através da qual as mesmas serão retiradas, caso já tenham aderido firmemente ao vidro do módulo fotovoltaico.

No que concerne a regiões com particularidades afins a cada localidade tais quais regiões desérticas, próximas ao litoral ou ainda caracterizadas por baixos índices pluviométricos anuais, outras variáveis passam a ser consideradas, a saber: granulometria dos particulados, efeito da salinidade e/ou umidade excessiva, necessidade de uso de agentes desincrustantes, dentre outras especificidades.

Em termos normativos, a IEC 61724-1 faz alusão a necessidade de instalação de sistemas de monitoramento de sujidades quando são estimadas perdas anuais expressivas. Usualmente a quantificação da influência de contaminantes nos módulos ocorre através da medição de suas curvas I-V (tensão elétrica versus corrente elétrica), comparando-se os valores medidos com aqueles apresentados em suas folhas de dados. Tal técnica é criticada por Bessa, Micheli, Fernández e

Almonacid (2022) *apud* Shrestha e Taylor (2016) alegando que estas medições são onerosas e susceptíveis a grandes erros, em caso de erros de calibração dos sensores de irradiância presentes no aparelho.

Perdas provocam incertezas no desempenho fotovoltaico e por conseguinte na geração de energia elétrica, refletindo-se diretamente em perdas financeiras, como consequência direta da perda de rendimento e do aumento dos custos com operação e manutenção destes sistemas (BESSA; MICHELI; FERNÁNDEZ; ALMONACID, 2022).

Excetuando-se eventuais imprecisões no projeto e/ou na instalação, bem como condições climatológicas inesperadas, a maximização da energia produzida nas plantas fotovoltaicas guarda estreita relação com a manutenção preventiva dos módulos fotovoltaicos que constituem o sistema, consubstanciada na contínua necessidade de realizar a limpeza da face destes módulos. A operacionalidade destes sistemas é intrinsecamente associada à mitigação da sujidade, sendo mensurável, por exemplo, através da análise dos custos e benefícios da realização de limpezas periódicas.

Bessa, Micheli, Fernández e Almonacid (2022) informam que a deposição de particulados, como, por exemplo, a poeira sob a superfície dos módulos pode ser responsável por perdas significativas em sistemas fotovoltaicos, podendo chegar a 50% em algumas regiões. Ressalta-se ainda que as sujidades são específicas para cada planta fotovoltaica instalada, podendo sofrer variações espaciais e temporais ao longo das estações do ano.

O desempenho operacional de uma planta fotovoltaica, além de múltiplas outras especificidades, está alicerçada na minimização de contaminantes e na frequência na qual são realizadas as limpezas dos módulos que a constituem (REZENDE; ZILLES, 2022). Uma menção também deve ser feita aos índices de consumo da água necessária a higienização dos módulos, devendo estes custos serem também computados em eventuais estudos de viabilidade econômica de intervenções de higienização do sistema fotovoltaico.

2.5. Técnicas de limpeza dos módulos

Algumas publicações, em geral de natureza não científico-acadêmica, descrevem, sem subsídios quantitativos que comprovem a afirmativa e carecendo ainda de sustentação metodológica e experimental, a premissa de que a lavagem de módulos, em especial em sistemas de pequeno porte, é contra produtiva, não compensando o esforço físico e econômico (REZENDE; ZILLES, 2022).

Rezende e Zilles (2022) descrevem que a implantação de uma rotina periódica de limpeza vai depender da análise de algumas condições, a saber: nível de ocupação, presença de poluição, índice pluviométrico, inclinação do gerador fotovoltaico e perdas de produtividade detectáveis via análise do desempenho operacional.

A literatura consolidada acerca dos efeitos nocivos da presença de elementos contaminantes na superfície dos módulos prescreve, como ações preventivas, o estabelecimento de técnicas associadas ao monitoramento e a quantificação, o mais precisa possível, da natureza e da origem das sujeiras, para a partir daí realizar-se a implementação de um cronograma de limpeza específico para cada planta fotovoltaica, ou seja, uma solução alicerçada nas particularidades do local onde os mesmos estão instalados. A título de exemplo, Bessa, Micheli, Fernández e Almonacid (2022) apresentam uma metodologia de extração de perdas de sujidade em tempo real, respeitando-se distintas condições climáticas, considerando valores distintos de índices de sujidades.

No contexto das perdas relacionadas a presença de sujeira, estas podem ser classificadas como reversíveis ou irreversíveis, a depender do grau de degradação provocado pelo contato das sujeiras com a superfície do módulo ou ainda da forma através da qual ela será retirada do módulo. A limpeza inadequada dos módulos pode provocar manchas, riscados, arranhões, trincas, dentre múltiplos outros possíveis danos.

Quando for do tipo reversível, a remoção da sujeira pode ocorrer em razão de eventos naturais ou através de técnicas artificiais. No primeiro caso a ação dos elementos da natureza fará a remoção, tal qual a interação do módulo com a chuva, o vento, a neve e o orvalho. No caso da remoção artificial, pode-se adotar soluções manuais (limpeza mecânica), tal qual a lavagem dos módulos com materiais não abrasivos (ferramentas, escovas e utensílios), ou automatizadas (semiautomáticas ou completamente automáticas) com auxílio de drones, robôs e sistemas correlatos, sejam eles controlados remotamente ou totalmente autônomos (*Device Autonomous*). Como agente de limpeza podem ser utilizados produtos químicos (em geral, neutros) específicos para este fim, além de panos, flanelas e esponjas não abrasivas, podendo ser associados ou não água e/ou ar comprimido, desde que ambas possuam sistemas de filtragem de materiais particulados que possam ser impelidos através das tubulações. Como agentes de auxílio à limpeza podem também ser utilizados: vapor de água, correntes de ar e gás, além de líquidos específicos para este fim. A constituição físico-química destes agentes vai variar em função das sujidades a serem combatidas.

No caso de aplicações industriais, objetivando minimizar ao máximo a intervenção humana, faz-se uso também de sistemas de sensoriamento automáticos, constituídos de sensores de dois tipos principalmente, a saber: sensores de imagem de sujeira e sensores de medição de sujeira. O custo de instalação e manutenção destes sistemas requer um estudo prévio acerca da viabilidade econômica de sua utilização em larga escala. Basicamente deve-se confrontar os lucros obtidos através da mitigação das perdas provenientes das sujeiras, com os custos de aquisição, instalação e reparo dos sensores. A variabilidade espacial da deposição de sujeira, principalmente em usinas que ocupam uma vasta extensão geográfica, também é um elemento indicativo da necessidade de instalar sistemas de sensoriamento automáticos.

Iniciativas de natureza preventiva já podem ser tomadas desde a etapa de projeto, através da seleção criteriosa do local onde o sistema será instalado (seleção do site), assim como adequando-se às características do sistema as especificidades locais (adaptação do site), por exemplo considerando ângulos de inclinação otimizados, a orientação e utilizando configurações de seguimento (algoritmos de controle) aplicáveis para os casos dos sistemas fotovoltaicos articuláveis em um e dois eixos (*tracking systems*).

Conforme explicitado, os sistemas de rastreamento podem ser controlados por algoritmos, designados de algoritmos de extração de sujeira, nos quais os módulos fotovoltaicos assumem o papel de detectores de sujeira. Neste tipo de aplicação, as características de geração do módulo (curva $I \times V$) são continuamente monitoradas, de modo que, sempre que o módulo apresentar baixo desempenho, o eixo articulado do sistema de *tracking* movimentará o módulo para uma inclinação que permite que boa parte da sujeira seja retirada por ação exclusiva da gravidade. Este sistema é útil para sujidades do tipo particuladas, como a poeira por exemplo. Em geral, quando a viabilidade econômica permite, é muito mais vantajoso (tempo e padronização do procedimento de limpeza) a utilização de sistemas automáticos de limpeza, principalmente em aplicações em escala industrial como, por exemplo, em usinas fotovoltaicas.

3 Dados e Metodologia

A revisão da literatura é parte primordial de qualquer pesquisa, pois é a partir dela que será desenvolvida a base de conhecimento para responder à questão de pesquisa proposta (TRANFIELD, DENYER, & SMART, 2003). Neste contexto, o presente trabalho é de natureza exploratória, tendo o objetivo poder dar ao pesquisador uma visão geral e maior conhecimento do tema, com o propósito de formular problemas mais bem definidos, ou mesmo levantar hipóteses que possam abrir portas para pesquisas futuras (GIL, 1999).

Resolveu-se pesquisar por tecnologias em base de patentes com o intuito de obter indicadores tecnológicos e tendências mundiais no que diz respeito ao tema: Equipamentos para Limpeza de Módulos Solares, impulsionado a partir da constatação da necessidade de manutenção preventiva nos módulos solares, em especial no que se refere à limpeza e das vantagens apresentadas na limpeza automatizada. A partir dos dados obtidos analisar os equipamentos com potencial para solucionar o problema e quais as principais classificações internacionais desses equipamentos.

3.1 Definição da pesquisa

A pesquisa foi feita em 21/05/2023 na base de patentes da *Espacenet Patent search* <<https://worldwide.espacenet.com/>>, objetivando, em uma primeira etapa, encontrar as principais *strings* que faça referência a equipamentos que possam solucionar o problema em questão. A primeira busca foi com as *strings*: *Cleaning AND Photovoltaic AND Modules* e retornou 16.412 resultados.

Ativando a busca avançada para reduzir as ocorrências irrelevantes ao tema, restringiu a busca apenas para o campo de texto, isto é, as *strings* procuradas se delimitaram às ocorrências no título, resumo, descrição e reivindicações. Reduzindo para 1.867 resultados.

Para evitar a exclusão acidental de patentes relevantes, procurou-se através de testes a melhor forma de descrever a tecnologia de dispositivos de limpeza de módulos solares autónomos, adicionando no modo avançado de busca as *strings* *Device*, *Automatic* e *Autonomous*, sendo as duas últimas com o booleano OR (Shubbak, 2019). A string completa é apresentado na 1ª figura exposta no artigo e ficou na forma: *Cleaning AND Photovoltaic AND Modules AND Device AND (Automatic OR Autonomous)*, resultando em 327 ocorrências.

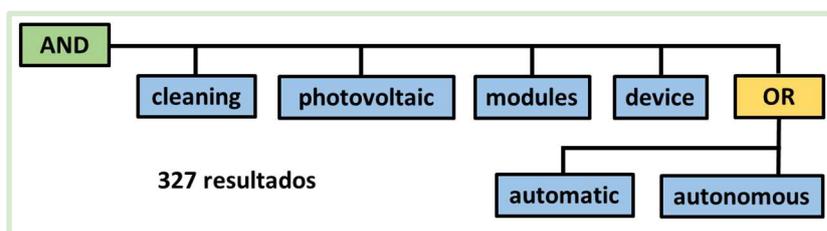


Figura 1: String de busca por dispositivos de limpeza de módulos solares autónomos.

3.2 Principais classificações internacionais

O código IPC, Classificação Internacional de Patente, é formado a partir das características e propriedades dos materiais utilizados, das funções realizadas e da técnica para realizar essas funções, podendo ser constituído por dois ou mais códigos (DOS SANTOS, 2013).

Em uma análise superficial nos títulos das primeiras ocorrências e verificando sua aderência aos dispositivos que possam atender ao problema em questão, a limpeza automática de módulos

solares, decidiu-se por analisar os IPC de maior ocorrências, com o objetivo de aplicar filtros de busca e refinar os resultados encontrados.

A análise da referência de cada IPC foi feita no WIPO (*World Intellectual Property Organization*) <<http://ipc.inpi.gov.br/>>, a Organização Mundial da Propriedade Intelectual que é um fórum global para políticas, serviços, informações e cooperação sobre propriedade intelectual (WIPO, 2023).

Após a análise da descrição de cada IPC, descartou os H02S20, que faz referência às estruturas de suporte para módulos fotovoltaicos e os H02S50 que faz referência ao monitoramento ou testes de sistemas fotovoltaicos. Também foram classificados como sem aderência ao tema e, conseqüentemente excluídos, os IPCs que tiveram um número de ocorrência menor que vinte, reduzindo as ocorrências para 246 resultados. Os principais grupos de IPCs encontrados, assim como sua ocorrência e classificação estão expostos na 1ª tabela do artigo. A 2ª figura exposta no artigo representa o diagrama de fluxo com o número de patentes que foram identificadas, selecionadas e incluídas na análise.

Tabela 1: Principais IPC encontrados e sua classificação

| Ocorrência | IPC | Classificação |
|------------|------|--|
| 198 | 80 % | H02S40 Componentes ou acessórios em combinação com módulos fotovoltaicos; |
| 113 | 46 % | B08B1 Limpeza por métodos que exijam essencialmente o uso de ferramentas, escovas ou utensílios semelhantes; |
| 82 | % | B08B13 Acessórios ou detalhes de aplicação geral para máquinas ou aparelhos para limpeza; |
| 80 | 33 % | B08B3 Limpeza por métodos envolvendo o uso ou a presença de líquido ou vapor d'água; |
| 25 | 33 % | B08B11 Limpeza de objetos flexíveis ou frágeis por métodos ou aparelhos especialmente adaptados aos mesmos; |
| 20 | % | B08B5 Limpeza por métodos envolvendo o uso de corrente de ar ou gás. |
| | 10 % | |
| | 8% | |

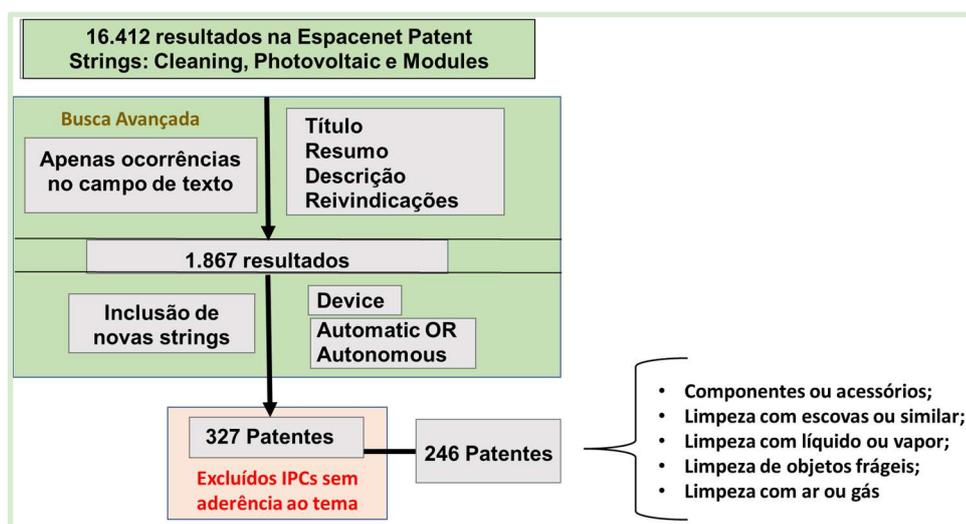


Figura 2: Diagrama de fluxo da busca por patentes.

4 Análise e Resultados

Em posse dos resultados de patentes previamente delimitados e filtrado com base nas características específicas do problema, teremos uma análise das patentes mais relevantes, principais empresas requerentes das patentes, principais inventores dessa tecnologia, as tendências geográficas dessas criações e principais técnicas utilizadas para a limpeza automática de módulos solares.

4.1 Patentes relevantes

Com base nos 246 resultados restantes podemos descrever as patentes para máquinas ou aparelhos contendo componentes, acessórios ou detalhes de aplicação geral para limpeza em combinação com módulos fotovoltaicos (H02S40 e B08B13); equipamentos esses que utilizem métodos que exijam essencialmente o uso de ferramentas, escovas ou utensílios semelhantes (B08B1); essa limpeza pode ser por métodos envolvendo o uso ou a presença de líquido ou vapor d'água (B08B3); ou por métodos envolvendo o uso de corrente de ar ou gás (B08B5). A 3ª figura exposta no artigo apresenta uma representação gráfica das principais ocorrências do IPC principal.

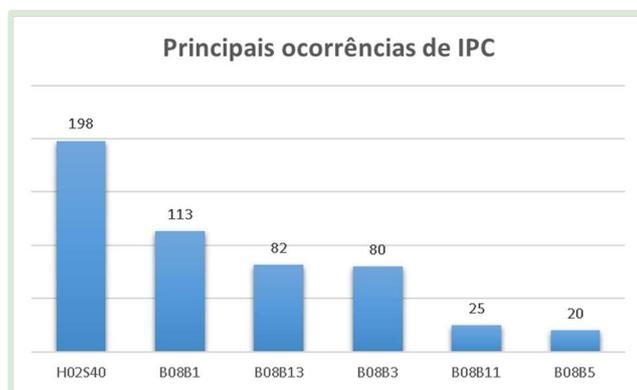


Figura 3: Principais ocorrências do IPC principal.

4.2 Depositantes e inventores

A 4ª figura exposta no artigo apresenta uma representação gráfica das principais empresas requerentes da patente. Destacando a empresa China Datang Corp SCI & Tech Res Inst CO LTD com 6 patentes.

A China Datang Corporation Renewable Power (2023) tem como lema: Fornecer energia limpa para iluminar uma vida melhor. Trabalha com a Geração de energia contribuindo no desenvolvimento de energia eólica, solar, hidrelétricas e outras energias renováveis; Desenvolvimento na indústria do carvão; Atuação no setor financeiro de seguros e ações; Investimentos internacional em tecnologia, equipamentos e equipe; desenvolve projetos de fotovoltaicas distribuídos, parques eólicos descentralizados, distribuição de gás natural, aquecimento e energia; e possui uma plataforma química que integra carvão, energia, água e tratamento de esgoto.

A 5ª figura exposta no artigo apresenta o ranking dos principais inventores requerentes da patente. Destacando Qu Chan e Gu Yuzhi com 7 patentes cada.

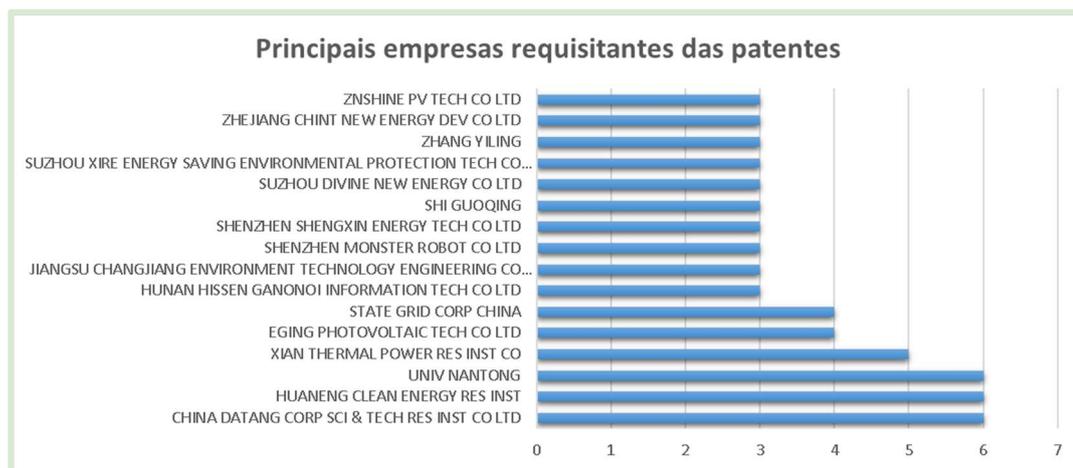


Figura 4: Principais empresas requerentes das patentes.

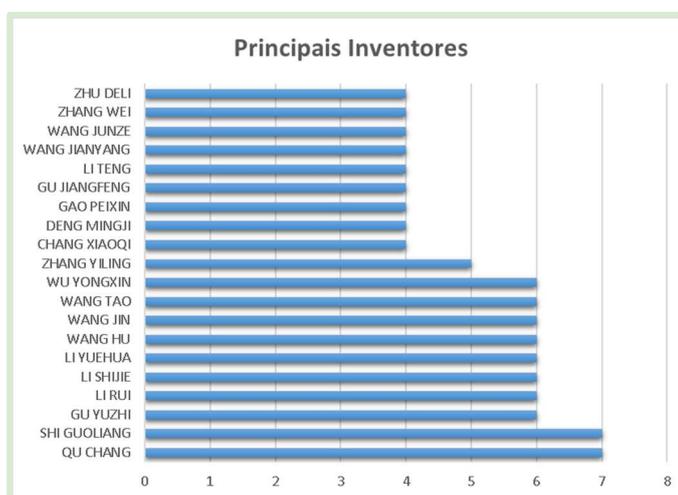


Figura 5: Principais inventores requerentes das patentes.

4.3 Tendências geográficas

O principal país de publicação de patentes para a finalidade em questão é a China, com 251 publicações, os Estados Unidos estão na segunda colocação com 16 publicações e na sequência há 14 publicações internacionais, como exposto na 6ª figura do artigo.

A nacionalidade das principais empresas que requeiram patentes nessa área é americanas ou chinesas com 11 requisições cada, seguidos de empresas francesas e coreanas com 7 requisições cada e outros países de menor ocorrência. A nacionalidade dos inventores apresenta proporções bem semelhantes, como era de se esperar, a 7ª figura exposta no artigo apresenta o rank das nacionalidades das empresas e dos inventores

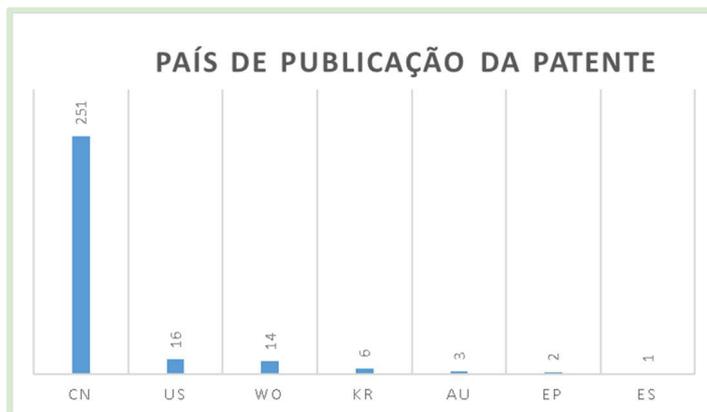


Figura 6: Nacionalidade das empresas e dos inventores.

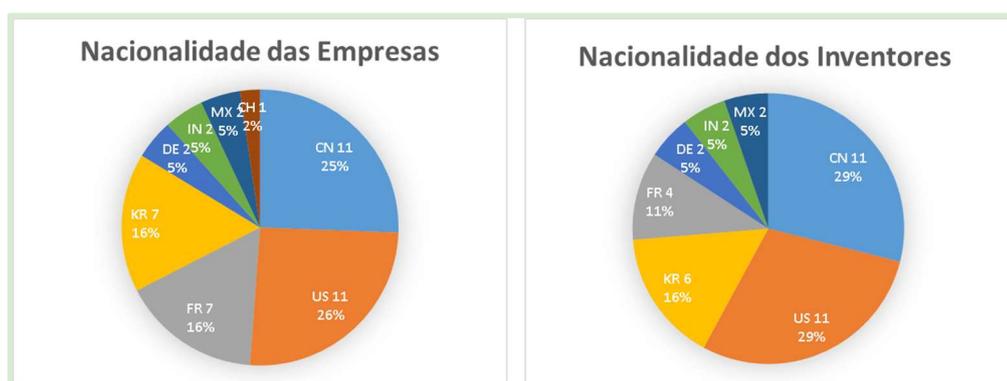


Figura 7: Nacionalidade das empresas e dos inventores.

4.4 Técnicas

As principais patentes sobre limpeza automática de módulos solares encontradas na pesquisa podem ser agrupadas em três categorias: Limpeza por métodos que exijam essencialmente o uso de ferramentas, escovas ou utensílios semelhantes (B08B1); Limpeza por métodos envolvendo o uso ou a presença de líquido ou vapor d'água (B08B3); e Limpeza por métodos envolvendo o uso de corrente de ar ou gás (B08B5).

A primeira e a terceira técnica, respectivamente com escovas e com ar, é útil em módulos solares instalados em desertos e regiões com pouca incidência pluviométrica (Araújo, 2019). De outro modo, a limpeza por líquidos ou vapor de água é mais adequada a módulos instalados em telhados ou mesmo região urbana, onde a principal sujidade são fezes de aves (Barbosa, 2018).

5 Discussão e Conclusões

Os resultados expressos durante o transcórre deste texto objetivaram perscrutar, sob o prisma das últimas inovações tecnológicas as quais foram requeridas patentes, construir um linha de raciocínio no tocante a necessidade do combate às perdas (problemática ambiental e econômica) associadas a sujidades em módulos solares, assim como traçar um panorama ilustrativo e multidimensional acerca do *status quo* e dos avanços tecnológicos correlatos as técnicas de limpeza de módulos fotovoltaicos contemplando principalmente, porém não exclusivamente, as tendências de registros afins a esta temática.

Aos interessados por este objeto de estudo, este artigo colabora também para ampliação dos horizontes e perspectivas científicas mais proeminentes quanto ao que vem sendo gerado nos últimos anos no que tange a sistemas autônomos e automatizados de higienização de módulos fotovoltaicos, bem como oportunizando contato com outras inovações afins a este conteúdo. Por fim, pode-se afirmar de forma pragmática, que o trato com o estado da arte acerca de qualquer área do conhecimento é condição *sine qua non* para indicar, de modo assertivo e conciso, os potenciais pontos de trabalho e lacunas a serem exploradas. Neste sentido, os resultados aqui descritos têm o viés de permitir ao leitor a oportunidade de aguçar curiosidades e vislumbrar possibilidades de contribuições tecnológicas patenteáveis, podendo funcionar, por conseguinte, como um indutor e intensificador de ideias para novos produtos técnicos e tecnológicos ou da reconfiguração destes.

Com efeito, merece destaque ainda a opção metodológica praticada pelos autores no que tangencia a fonte consultada para inquirir o estado da arte acerca do tema, a saber: realizar busca exaustiva em uma plataforma de registro de patentes (website espacenet.com), fugindo assim do enclausuramento associado ao uso exclusivo de bases de dados de cunho eminentemente acadêmica, embora estas últimas também tenham sido utilizadas. Tal premissa metodológica proporcionou interseções e interfaces com outras áreas do saber, em razão do quantitativo e da abrangência de inovações pesquisadas, assim como da decodificação técnica requerida para realizar uma filtragem mais pormenorizada dos dados.

Neste diapasão, julga-se que, a argumentação e a efetividade dos dados apresentados promoveram um coroamento da *muito* exitosa interação com a plataforma supramencionada, elucidando algumas das principais figuras de mérito correlatas à inovação tecnológica em higienização de sistemas fotovoltaicos, assim como sugere inovações para o enfrentamento de perdas em sistemas de geração alicerçados na fonte fotovoltaica.

Logrou-se êxito no estudo, em virtude de que os resultados estão em consonância com os objetivos levantados quando da proposição deste objeto de estudo, porém o mesmo não esgota-se nesta investigação, em razão do fato de que pode-se recomendar múltiplas outras possibilidades de trabalhos futuros, tais quais: utilização de outras plataformas de patentes, emprego de diferentes *strings* de busca, aprofundamento das discussões acerca das tendências tecnológicas apresentadas, legitimação da aplicação comercial dos produtos patenteados, análise acurada dos perfil dos inventores e das motivações de seus inventos, dentre outras especificidades.

6 Referências Bibliográficas

- ALDABÓ, Ricardo. **Energia Solar**. São Paulo: Artliber, 2002.
- ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica. **Energia Solar**. Brasília, 2011. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf).
- ARAÚJO, D. N., CARVALHO, P. C. M., e DUPONT, I. M., 2019. **Efeitos da acumulação de sujeira sobre o desempenho de módulos fotovoltaicos**. Revista Tecnologia, vol. 40, n. 2, pp. 1-23.
- BALFOUR, John; SHAW, Michael; NASH, Nicole Bremer. **Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- BRAGA, D. S., COSTA, S. C. S., DINIZ, A. S. A. C., SANTANA, V. A. C., & KAZMERSKI, L. L. (2020). **Estudo da Relação entre Parâmetros Ambientais e Taxa de Sujidade em Módulos Fotovoltaicos**. In Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS.
- BARBOSA, Elismar Ramos; FARIA, Merlim dos Santos Ferreira; DE BRITO GONTIJO, Fabio. **Influência da sujeira na geração fotovoltaica**. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS. 2018.

- BESSA, João Gabriel; MICHELI, Leonardo; FERNÁNDEZ, Eduardo; ALMONACID, Florencia. Diferentes Métodos de Extração de Níveis de Sujidade Aplicados em Distintos Climas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 9., 2022, Florianópolis. Anais CBENS 2022. Florianópolis: Abens, 2022. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1153/1154>. Acesso em: 28 maio 2023.
- BORGES NETO, Manuel Rangel; CARVALHO, Paulo Cesar Marques de. **Geração de Energia Elétrica: fundamentos**. São Paulo: Érica, 2012;
- CEPEL, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **“Manual de Energia Elétrica para Sistemas Fotovoltaicos”**, 2004.
- CHINA DATANG CORPORATION RENEWABLE POWER (China). Lema Empresa. Disponível em: http://www.cdt-re.com/xnygsweb/en_site_HTML/index.html. Acesso em: 29 maio 2023.
- DOS SANTOS, Wagna Piler Carvalho; SUZART, Vivian Patricia; DA SILVA JÚNIOR, Nelicio Ferreira. **Tendências tecnológicas para o processo de preparação de compósito à base de solo-cimento e fibra de bananeira para fabricação de tijolos e tecnologias correlatas através da pesquisa em documentos de patentes**. Cadernos de Prospecção, v. 6, n. 1, p. 36-36, 2013.
- GIL, A. C. (1999). **Métodos de pesquisa social** (1a.). São Paulo: Atlas.
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2018. **Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil e Possíveis Efeitos no Setor Elétrico**, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8400/1/TD_2388.pdf>
- LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Energia Solar: para produção de eletricidade**. São Paulo: Artliber, 2012;
- MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Ênio Bueno. **Energia Solar: estimativa e previsão do potencial solar**. Curitiba: Appris, 2019
- MICHELI, L., DECEGLIE, M. G., e MULLER, M., 2018. **Mapping Photovoltaic Soiling Using Spatial Interpolation Techniques**. IEEE Journal of Photovoltaics, vol.9, n. 1
- PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel - Cresesb, 2014.
- RENEWENERGIA. **Eficiência e Sustentabilidade para um mundo melhor. —Manutenção preventiva: Solar fotovoltaico, poeira e pombos**. 2015. Disponível em: <<http://renewenergia.com.br/manutencao-preventiva-solar-fotovoltaico-poeira-epombos>>.
- REZENDE, Vinicius Gouveia Scartezini de; ZILLES, Roberto. **Análise das Perdas de Produtividade em Geradores Fotovoltaicos por Efeito de Sujidade**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 9., 2022, Florianópolis. Anais CBENS 2022. Florianópolis: Abens, 2022. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/181/181>. Acesso em: 28 maio 2023.
- TRANFIELD, D., DENYER, D., & SMART, P. (2003). **Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review**. British journal of management, v. 14(3), pp. 207-222.
- SHRESTHA, S., Taylor, M., 2016. *Soiling Assessment in Large-Scale PV Arrays*. SolarPro Mag.
- VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações, sistemas isolados e conectados à rede**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.
- ZILLES, Roberto; MACÊDO, Wilson Negrão; GALHARDO, Marcos André Barros; OLIVEIRA, Sérgio Henrique Ferreira de. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. p. 208

APÊNDICE E – ARTIGO PUBLICADO EM ANAIS DE EVENTO: I CIECT
I CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**REECICLAR: EDUCAÇÃO AMBIENTAL E TECNOLÓGICA NO
DESCARTE CORRETO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS
(REEE)**

Evantuy de Oliveira¹

¹PPGUSRN – IFRN

E-mail: evantuyolivaira@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8346700387885881>

Ângela Maria Pereira de Araújo²

²Técnico Integrado de Informática– IFRN

E-mail: angelampereira05@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5945182498566271>

Lucas Ribeiro Neves³

³Técnico Integrado de Informática– IFRN

E-mail: lukasribeiro2303@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5945182498566271>

Leandro Silva Costa⁴

⁴PPGUSRN – IFRN

E-mail: leandro.costa@escolar.ifrn.edu.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4991977240761750>

RESUMO: A evolução dos equipamentos eletrônicos foi e continua sendo algo de extrema importância para sociedade, dando origem a inovações em diversas áreas. Contudo, esse contínuo progresso resultou no surgimento de uma nova categoria lixo, conhecida popularmente como lixo eletrônico ou e-lixo. O agravante está no descarte inadequado, pois o e-lixo possui componentes tóxicos, que representa uma ameaça ambiental e à saúde humana. A geração desse tipo de resíduo é crescente no mundo inteiro, alertando ainda mais a necessidade da população estar consciente e atenta sobre essa problemática. Baseado nesse cenário, o presente projeto tem como objetivo contribuir para a redução dos impactos socioambientais causados pelo descarte inadequado dos resíduos eletrônicos, através da realização de oficinas educativas em uma escola pública do litoral sul potiguar, visando a sensibilização sobre os impactos do e-lixo. A oficina foi elaborada com o intuito de capacitar os alunos a manusear, reutilizar e classificar os componentes dos equipamentos eletrônicos mais utilizados, estimulando tanto a educação ambiental como tecnológica. Esta pesquisa é de natureza aplicada, explicativa e qualitativa, onde se produziu conhecimentos para aplicar nas oficinas que foram realizadas com êxito a partir do retorno dos participantes.

Palavras-chave: Desmonte; E-lixo; Oficina; Reutilizar; Sensibilização.

1. INTRODUÇÃO

Desde o século XVIII, a humanidade vem passando por enormes inovações tecnológicas onde inúmeras transformações ocorreram na estrutura da sociedade moderna, entre esses avanços, destaca-se a criação de inúmeros equipamentos eletrônicos, que facilitaram e fizeram a humanidade ter um grande avanço em múltiplas áreas.

Devido a este cenário, onde se percebe uma expansão desenfreada no desenvolvimento de produtos e bens materiais com avanço técnico e científico, Rossini e Napolini (2017) relataram que os indivíduos passaram a ter cada vez mais a necessidade de consumo, influenciados também pela demanda crescente do capitalismo e da prática da obsolescência programada, resultando assim, em uma intensificação no aumento desordenado na produção de lixo, dando origem a uma nova categoria, conhecida popularmente como lixo eletrônico ou também conhecido como “e-lixo”.

Em termos amplos, Carvalho (2015), defini o lixo eletrônico como sendo os resíduos dos equipamentos eletrônicos e seus acessórios, que se originam quando estes aparelhos perdem suas funções, seja por danos, pelo fim de sua vida útil, ou por estarem obsoletos a novas tecnologias, destacando a responsabilidade e o cuidado que se deve ter ao descartar esses equipamentos, pois podem conter diferentes substâncias com a capacidade de causar inúmeros danos ao meio ambiente e a saúde humana. (CARVALHO, 2015).

O problema com o lixo eletrônico é uma preocupação global, pois, segundo The Global E-waste Monitor 2020, da ONU, somente no ano de 2019, 53,6 milhões de toneladas de lixo eletrônico foram produzidas em todo o mundo e somente 17,4 por cento desse volume foram reciclados (FORTI et al., 2020). E a situação ainda pode piorar, visto que, de acordo com esse mesmo relatório da ONU, prevê que até 2030 a produção de lixo eletrônico chegará a 74 milhões de toneladas no mundo.

No Brasil o panorama não é diferente, onde, conforme um estudo feito na ONU em 2020, o Brasil ocupa o quinto lugar no ranking mundial dos países que mais produzem resíduos eletroeletrônicos, e o primeiro colocado na América Latina, onde foram produzidos 2,1 milhões de toneladas (SAMPAIO et al., 2024).

Existem diversos fatores sociais que estão relacionados e esclarecem a raiz dessa desenfreada onda de produção de “e-lixo”, pois junto aos inúmeros benefícios ao qual essas ferramentas tecnológicas trouxeram, os indivíduos passaram cada vez mais a ficar dependentes e consumistas desses equipamentos. Nessa perspectiva, Bauman (2014) descreveu que o desejo

de consumir é tão grande, que chega a quase se tornar algo insaciável.

Outro ponto que agrava ainda mais a problemática do lixo eletrônico, e que está diretamente ligado ao consumismo, é a obsolescência programada, que pode ser descrita como uma conduta ardilosa dos fabricantes em manufatura os equipamentos eletroeletrônicos utilizando de técnicas específicas para reduzir propositalmente sua vida útil (POLIDORO, 2018). Essa produção frágil e descartável potencializa a produção de lixo eletrônico.

Outro fator preocupante destacado por Silva (2020), se trata do descarte desses materiais, visto que a composição dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) tem um potencial contaminante ao meio ambiente devido às substâncias contidas em suas composições, e caso possuam um destino inadequado, como lixões ou aterros sanitários sem as condições necessárias para receber esse tipo de material, com o passar tempo, problemas como contaminação do solo e dos lençóis freáticos podem acontecer devido a inúmeros processos biológicos, físicos e químicos que ocorrem junto a degradação desses elementos.

As principais substâncias contaminantes que compõe os equipamentos eletrônicos estão descritas na Tabela 1, entre os quais metais pesados altamente tóxicos como o mercúrio, cádmio, berílio e chumbo (SILVA, 2020). Essas substâncias, caso entrem em contato com o ser humano em grandes quantidades de maneira inadequada, podem trazer problemas à saúde onde, por exemplo, o toque e inalação do mercúrio pode contaminar o organismo causando estomatites, lesões renais, afeta o cérebro e o sistema neurológico, acumulando no organismo (JUNIOR, 2022).

Tabela 1 – Principais substâncias presentes em aparelhos eletroeletrônicos e os possíveis perigos que podem representar para a saúde humana.

| Substância | Origem | Tipo de contaminação | Efeito |
|-------------------|---|----------------------|--|
| Mercúrio | Televisão de tela plana, computador e monitor | Toque e inalação | Distúrbios renais, alterações genéticas, problemas de estômago, desafios neurológicos e modificações no metabolismo |
| Cádmio | Computador, monitor de tubo e baterias de laptops | Toque e inalação | Problemas pulmonares, agente cancerígeno, provoca dores reumáticas, distúrbios metabólicos e afeta o sistema nervoso |
| Arsênio | Celulares | Toque e inalação | Agente cancerígeno, afeta o sistema nervoso e cutâneo |
| Zinco | Baterias de celulares e laptops | Inalação | Provoca diarreias, vômitos, e problemas pulmonares |
| Cloreto de amônia | Celulares, laptops e baterias | Inalação | Acumula-se no organismo e provoca asfixia |
| PVC | Usado em fios para isolar correntes | Inalação | Distúrbios respiratórios |
| Chumbo | Televisão, computador e celular | Toque e inalação | Alucinação, insônia, irritabilidade, hiperatividade, lentidão de raciocínio e tremores musculares |

Fonte: Adaptado de CARVALHO (2015)

É relevante ressaltar que no Brasil, a lei federal nº 12.305/2010, ao qual está relacionada com a instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), e que traz, tanto para as empresas como para os cidadãos, os princípios de responsabilidade, logística reversa e promoção de reciclagem e incentivam o desenvolvimento social, econômico e ambiental para enfrentar o crescimento e o problema do lixo eletrônico (BRASIL, 2010).

Atualmente, o Decreto nº 10.240, assinado no dia 12 de fevereiro de 2020 regulamentou a questão da estruturação, implementação e a operacionalização de sistema de logística reversa dos eletroeletrônicos domésticos em todo território brasileiro (BRASIL, 2020).

Além disso, um exemplo prático em outra esfera se tratando de âmbitos estaduais é a Lei nº 15851/2008, onde empresas produtoras, distribuidoras e que comercializam equipamentos de informática, são obrigadas a criar e manter programas de reciclagem, destruição de equipamentos de informática ou recolhimento, sem provocar poluição ambiental (PARANÁ, 2008).

Outro destaque, mas agora na esfera municipal, é a Lei nº 13.576, aplicada no dia 06 de julho de 2009 em São Paulo, onde normas e procedimentos foram criados para a coleta, reciclagem, tratamento e o destino do lixo eletroeletrônico (SÃO PAULO, 2009).

Com isso, fica evidente que as normas e leis promulgadas até os dias atuais são de fundamental valor no sentido de controle e fiscalização desses resíduos, contudo, ainda se faz necessário iniciativas focadas na sensibilização da sociedade, fundamental para alcançar as mudanças socioambientais necessárias.

Assim, diante desse contexto, a educação ambiental emerge como uma ferramenta de extrema relevância na formação dos cidadãos conscientes de suas obrigações com o meio em que vivem, e na sensibilização de assuntos que abordam os impactos ambientais ao qual o planeta vem enfrentando atualmente, buscando a compreensão e a superação das causas estruturais e conjunturais dos problemas ambientais (RAMOS, 2019).

Juntamente a estes conceitos à problemática do descarte incorreto dos resíduos eletroeletrônicos, verifica-se que os meios educacionais podem ser de grande proveito para mudar esta realidade, visto que a educação ambiental através de ações individuais e coletivas, com atitudes e habilidades, podem a partir de instruções, ensinar aos indivíduo destinar estes resíduos para o descarte ambientalmente correto, com o objetivo de preservar o meio ambiente, aprimorar a qualidade de vida e fazer com que de alguma maneira, efetivas mudanças sejam concretizadas na mudanças de comportamentos e atitudes.

Tendo em Vista, a necessidade de sensibilização desse tema, uma das alternativas para trabalhar e expor esses pontos são as oficinas educativas, onde o processo de transformação é recíproco entre sujeito e objeto, se potencialmente eficaz para se passar o conhecimento e contribuindo fortemente na aprendizagem das pessoas (MATOS et al., 2016).

A viabilidade das oficinas foi demonstrada por meio de um estudo de caso por Freitas et al. (2018), onde é possível revisar conceitos, transmitir novos conteúdos, interação com os alunos e troca de experiências. As atividades práticas nas oficinas estimulam o interesse pelo conteúdo, tornando o aprendizado mais proveitoso e desenvolvendo habilidades técnicas, importantes para a vida profissional.

Considerando a relevância do que foi dito a respeito da problemática do lixo eletrônico, o presente projeto tem como objetivo contribuir para a redução dos impactos socioambientais causados pelo descarte inadequado dos resíduos eletrônicos, através de oficinas educativas que visem ensinar, em especial aos alunos de escolas públicas, como diminuir esses impactos a partir do aprendizado da importância ambiental deste tema, e explorando os componentes dos dispositivos eletrônicos, com o ensino de orientações básicas, desmontagem, e prevenção deste tipo de equipamento, entendendo como reaproveitar peças que poderiam ser descartadas, estimulando também a educação tecnológica.

2. METODOLOGIA

Esta pesquisa, de acordo com Gil (2002), pode ser classificada como aplicada, explicativa e qualitativa, visto que a pesquisa aplicada tem como objetivo produzir conhecimentos com aplicação prática focando solucionar o problema do descarte incorreto do lixo eletrônico. Se encaixa como explicativa, pois procura entender as causas e os efeitos de ocorrências, buscando compreender os comportamentos e as questões observadas que estejam relacionados a problemática do “e-lixo”, além de ser encaixada como qualitativa, se envolvendo na qualificação da consciência ambiental dos cursistas, antes e depois da oficina, visando identificar a eficácia dos conhecimentos transmitidos. No que diz respeito aos procedimentos técnicos abordados, a presente investigação utilizou como ferramentas de pesquisa bibliográfica e documental para se obter uma análise e entendimento, a utilização de um livro, artigos científicos, relatórios e revistas.

2.1 Procedimentos metodológicos

2.1.1 Pesquisa bibliográfica

Foram realizadas pesquisas bibliográficas no Google Acadêmico

(<https://scholar.google.com.br/?hl=pt>), no período de busca ocorreu entre o período de julho de 2023 a novembro de 2023.

A pesquisa foi utilizada para aprimorar o conhecimento e se atualizar dos dados e matérias recentes que abordam a temática do lixo eletrônico, assim como aprender quais os componentes e peças dos equipamentos eletroeletrônicos, servindo como base para o desenvolvimento dos materiais necessários para a oficina educativa, como na produção dos slides e elaboração do quiz, e para definir os diferentes tipos de atividades e abordagem que a oficina teria.

2.1.2 Realização da oficina educativa

2.1.2.1 Seleção de uma escola pública estadual

Nessa etapa pesquisou-se por escolas públicas na região do litoral sul potiguar disposta a receber a Oficina de Educação Ambiental e Tecnológica no Descarte Correto de E-lixo, e que se encaixasse nos critérios para a realização dessa atividade, que foram a localização geográfica e perfil socioeconômico dos estudantes. A partir desses critérios, foi escolhida a Escola Estadual Professor José Mamede de Ensino Médio, localizada na cidade de Tibau do Sul, onde foram realizadas algumas reuniões e conversas junto a coordenação, com o intuito de ajustar todos os pontos que iriam ser apresentados e trabalhados, de acordo com os objetivos do projeto, em consonância com o funcionamento da escola escolhida e adaptado a estrutura disponível.

2.1.2.2 Planejamento e definições da logística da oficina

No planejamento e definições da logística para realização da oficina educativa foi conversado e acertado todos os detalhes com coordenação da escola escolhida, especialmente com a coordenadora da sala de informática, Cynara Bezerra Martins Gomes. Durante essa etapa foi combinado o número de turmas que iriam participar, que ao todo foram três, sendo uma em cada turno: Matutino, vespertino e noturno.

Foi estabelecido também o tempo ideal de duração da oficina, de maneira se ajustar aos horários de aula da escola, onde, nos turnos matutino e vespertino, as oficinas durariam cerca de duas horas e trinta minutos e no turno noturno foi estabelecido um tempo de uma hora e quinze minutos. Vale ressaltar que, devido ao período noturno ter tido um menor tempo de oficina, foi definido junto à coordenadora que a apresentação teria uma abordagem mais rápida e direta, se concentrando nos principais pontos da oficina.

Após isso, foi escolhido o dia para a realização da oficina, que foi no dia 25 de outubro de 2023, assim como a escolha do local da oficina, uma sala de aula para apresentarmos tanto

os slides, como o quiz, além de preparar a bancada com os equipamentos que foram utilizados para parte prática da oficina.

2.1.2.3 Atividades realizadas nas oficinas

Durante a realização da oficina houve uma divisão em três atividades principais junto com os alunos, sendo elas: Apresentação teórica com slides, desmontagem e montagem prática de um gabinete e um notebook, e um Quiz interativo no final.

Primeiramente houve uma apresentação com slides, que durou aproximadamente uma hora, e foram mostrados todos os conhecimentos que deveriam ser abordados na oficina.

Depois disso, foi apresentado aos alunos participantes, uma definição e contextualização dos equipamentos eletroeletrônicos, da evolução e os principais benefícios que eles trouxeram ao longo dos anos, logo em seguida, foi exposto, de maneira geral, as informações centrais e essenciais para entender a problemática do lixo eletrônico, ou seja, a maior parte das informações básicas sobre os REEE: Conceitos, categorias, crescimento, impactos socioambientais, impactos na saúde, componentes internos, substâncias tóxicas e etc.

Posteriormente foi demonstrado aos estudantes a teoria básica para conhecer o funcionamento e principais componentes dos equipamentos eletrônicos mais comum, usando como exemplo prático um computador, possibilitando aos participantes entenderem a parte teórica do que seria realizado na parte prática da oficina.

Logo após a apresentação dos slides foi iniciada a parte prática da oficina, ao qual teve uma duração média de uma hora, onde os próprios alunos desmontaram e montaram um gabinete e um notebook, possibilitando desenvolver habilidades de manusear e identificar as peças e o funcionamento com o nosso auxílio e acompanhamento, onde, mostramos todas etapas e procedimentos necessários para realizar cada passo desta atividade.

Seguidamente ao término da montagem do gabinete foi apresentado para os estudantes formas de prolongar a vida útil dos equipamentos eletrônicos, assim como maneiras de reutilizar ou de descartar corretamente os REEE, com dicas práticas e pontos de coleta desses materiais.

Por fim, os alunos presentes na oficina foram divididos em grupos para realização de um jogo de perguntas e respostas. O kahoot se trata de uma plataforma onde é possível aprender sobre um determinado assunto, ou um tema mais específico, em jogos de pergunta e respostas tipo quis, que teve uma duração de cerca de 20 minutos, onde foram feitas 10 perguntas relacionadas a tudo que envolvesse o lixo eletrônico, trabalhando os pontos relacionados à educação ambiental e questões relacionadas a parte da educação tecnológica, como os componentes básicos de um computador e o funcionamento desse equipamento. No final o

grupo que acertou mais perguntas e obteve mais pontos foi premiado com uma caixa de chocolate.

2.1.2.4 Recursos utilizados

Os recursos utilizados para a realização desta oficina foram: Um projetor multimídia, um notebook, uma caixa com ferramentas de desmontagem, um gabinete do tipo desktop quebrado, um notebook obsoleto, uma fonte de alimentação de computador, além de uma sala de aula com quadro que foi o local onde foi realizada a oficina.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização de planejamento e diversas pesquisas, foi possível concretizar uma oficina educativa com alunos de uma escola pública na cidade de Tibau do Sul-RN. Nesta linha, os resultados obtidos nessa oficina de maneira ampla, foram extremamente satisfatórios, haja visto que foi possível promover a educação ambiental e tecnológica no descarte correto de lixo eletrônico, além de ampliar os conhecimentos relacionados ao e-lixo e aos principais componentes de equipamentos eletroeletrônicos com êxito, com um feedback positivo dos participantes, com base no desempenho dos alunos no quiz realizado na plataforma do kahoot.

Na oficina houve a apresentação dos conceitos básicos dos equipamentos eletroeletrônicos (Figura 1), da problemática de seus resíduos, dos pontos de coleta mais próximos, concluindo com as instruções e realização da prática (Figura 2), onde foi possível mostrar aos alunos habilidades técnicas de identificação, manuseio e classificação das principais peças com diferentes funcionalidades de alguns equipamentos, sendo algo que foi trabalhado de maneira bem didática e simples, possibilitando aos participantes aprender como desmontar e montar um gabinete fora de funcionamento e um notebook obsoleto, já que, equipamentos funcionais devem ter cuidados mais específicos, como a descarga de eletricidade estática. Neste momento também foi apresentado como reaproveitar ou reutilizar hardwares que ainda possam funcionar ou que podem ter seus componentes internos reciclados pelo valor dos metais: Como ferro, cobre, alumínio e até ouro.

Figura 1 - Apresentação dos conceitos teóricos na oficina



Fonte: Autoria própria em 2023.

Figura 2 – Material utilizado na oficina e participação dos alunos nas práticas



Fonte: Autoria própria em 2023.

Ao concluir a parte prática foi realizado o quiz interativo com os alunos, onde, nas turmas matutina e vespertina, os alunos foram divididos em dois grupos, possibilitando trabalhar de maneira mais dinâmica os conteúdos apresentados, facilitando a análise dos pesquisadores quanto aos alunos terem compreendido os assuntos apresentados durante a oficina.

No período noturno, em razão do menor tempo disponível para a realização da oficina, não foi possível realizar o quiz com os participantes. Ainda pela questão do tempo, a turma desse turno teve uma abordagem mais ampla e rápida, tanto na apresentação como na parte prática da oficina, com uma duração total de uma hora e quinze minutos.

Os resultados dos grupos na realização do quiz é um fator que mostra quanto os aprendizados passados no decorrer da oficina foram transmitidos com sucesso, já que tanto no turno matutino, quanto no vespertino, todos os grupos que participaram tiveram uma taxa alta de acerto. Através dos dados anônimos fornecidos na própria plataforma do quiz “kahoot”, foi possível perceber que ambas as turmas tiveram ótimos resultados, ficando entre 90% e 80% de acerto do quis, de um total de 10 perguntas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como pretensão principal promover a educação ambiental e tecnológica no descarte correto de lixo eletrônico, por meio de uma oficina educativa em uma escola pública na região do litoral sul potiguar, com foco na sensibilização sobre os impactos socioambientais, e na capacitação técnica dos participantes em manusear e identificar os principais componentes dos equipamentos eletrônicos mais utilizados no dia a dia. Nesse aspecto, o foco desta oficina estava em conscientizar sobre a problemática do “e-lixo” com diferentes abordagens ao longo da oficina, onde foi realizado tanto uma apresentação teórica explicando os principais pontos desse tema, como atividades práticas em grupos desmontando e montando computadores e notebooks, além de um quiz interativo repassando todo conteúdo abordado nessa oficina.

Foi possível perceber a evolução intelectual e técnica dos alunos, além de uma maior sensibilidade aos assuntos ambientais, através da análise pessoal do comportamento, comentários e participação dos cursistas nas atividades da oficina.

Esperamos que mais ações como esta sejam realizadas e divulgadas, como forma de compartilhamento de experiência, e de estímulo a propagação da educação ambiental e tecnológica. Contribuindo de forma sólida, eficaz e duradoura para a redução dos impactos ao meio ambiente por descarte inadequado dos resíduos em geral, especialmente para os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE).

REFERÊNCIAS

BAUMAN, Zygmunt. **Vigilância líquida**. Editora Schwarcz-Companhia das Letras, 2014.

BRASIL. Presidência da República. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 15 junho de 2023.

BRASIL. Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020. **Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos de Uso Doméstico e seus Componentes**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 fev. 2020. Seção 1, p. 6. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10240.htm. Acesso em: 15 junho de 2023.

CARVALHO, D. C. **Gestão e gerenciamento de resíduos de equipamentos eletrônicos: o campus central da UFRN em análise**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2015. Disponível em:

https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/20479/1/DacifranCavalcantiCarvalho_DISSE RT.pdf. Acesso em 13 de setembro de 2023.

FORTI, V.; BALDÉ, C. P.; KUEHR, R.; BEL, G. The Global E-wasteMonitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. **United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam**, v.120, 2020. Disponível em: https://collections.unu.edu/eserv/UNU:7737/GEM_2020_def_july1.pdf. Acesso em: 22 de setembro de 2023.

FREITAS, A. VITAL, A. D. F. M.; NASCIMENTO, B. M. S.; LUSTOSA, M. A. F. S.; SOUZA, M. P.; RAMOS, G. G. **Percepções sobre a importância do solo: Estudo de caso em uma escola de Itapetim–PE**. 2018. DOI: <https://doi.org/10.30969/acsa.v14i1.932>

JUNIOR, A. D. C. A.; SILVA, D. R.; CAMPOS, R. S. D. A.; SILVA, S. A.; MONTANUCI, R. Abordagem do lixo eletrônico no ensino de química: uma revisão bibliográfica. **Scientia Naturalis**, v. 4, n. 2, 2022. DOI: <https://doi.org/10.29327/269504.4.2-19>

MATOS, B. W. P.; ROSA, I. S.; GOIS, J. M.; SILVA, R. R.; LACERDA, N. O. S. Lixo eletrônico a partir da educação ctsa: uma proposta do pibid química ueg-anápolis. In: **Anais do Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG (CEPE) (ISSN 2447-8687)**. 2016. Disponível em: <https://www.anais.ueg.br/index.php/cepe/article/view/8178>. Acesso em 29 julho de 2024.

PARANÁ. Lei nº 15.851, de 19 de dezembro de 2008. Dispõe sobre a criação do Sistema Estadual de Unidades de Conservação. Diário Oficial do Estado do Paraná, Curitiba, 19 dez. 2008. Disponível em: <https://leiestaduais.com.br/pr/lei-ordinaria-n-15851-2008-parana-dispoe-que-as-empresas-produtoras-distribuidoras-e-que-comercializam-equipamentos-de-informatica-instaladas-no-estado-do-parana- ficam-obrigadas-a-criar-e-manter-o-programa-de-recolhimento-reciclagem-ou-destruicao-de-equipamentos-de-informatica-sem-causar-poluicao-ambiental-conforme-especifica>. Acesso em: 15 junho de 2023.

POLIDORO, V. **A prática da obsolescência programada de qualidade e os recursos consumeristas de enfrentamento**. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/187957>. Acesso em: 30 de agosto de 2024.

RAMOS, A. S.; FONSECA, P. R. B.; NOGUEIRA, E. M. L.; LIMA, R. A. A relevância da educação ambiental para o desenvolvimento da sustentabilidade: uma breve análise. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 4, p. 30-41, 2019. DOI: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v8e4201930-41>

ROSSINI, V.; NASPOLINI, S. Obsolescência programada e meio ambiente: a geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. **Revista de direito e sustentabilidade**. Brasília. v.3. junho de 2017. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/b618/a00eda1752b552862ff1fffc17b28e69bb72.pdf>. Acesso em: 10 de agosto de 2023.

SAMPAIO, I. R.; OLIVEIRA, A. M.; OLIVEIRA, L. N. A. Circular economy and waste: a bibliometric analysis of global scientific production: Economia circular e resíduos: uma análise bibliométrica da produção científica mundial. **Concilium**, v. 24, n. 7, p. 321-342, 2024. DOI: <https://doi.org/10.53660/CLM-3248-24G28>

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 13.576, de 6 de julho de 2009. **Institui normas e procedimentos para a reciclagem, gerenciamento e destinação final de lixo tecnológico**. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 7 jul. 2009. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=13576&ano=2017&ato=474UTUq5EeZpWT2ee>. Acesso em: 21 de setembro de 2023.

SILVA, I. R. S. **Diagnóstico e proposição de melhorias no gerenciamento dos resíduos eletroeletrônicos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/37136>. Acesso em: 30 de agosto de 2024.

**APÊNDICE F – ARTIGO PUBLICADO EM ANAIS DE EVENTO: I CIECT:
I CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

**MANUAL PARA DESMONTAGEM DE EQUIPAMENTOS
ELETRÔNICOS VISANDO REUTILIZAÇÃO OU DESCARTE**

Evantuy de Oliveira¹

¹PPGUSRN – IFRN

E-mail: evantuyoliveira@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8346700387885881>

Thallyson Kauã dos Santos Vidal²

²Técnico Integrado de Informática– IFRN

E-mail: thallysonvidal566@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3202005562082010>

Paulo César Dias Rufino³

³Técnico Integrado de Informática– IFRN

E-mail: paulocesar04122004@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6303749898514072>

Leandro Silva Costa⁴

⁴PPGUSRN – IFRN

E-mail: leandro.costa@escolar.ifrn.edu.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4991977240761750>

RESUMO: A crescente evolução tecnológica trouxe e continua trazendo inovações importantíssimas para a humanidade, seja em quaisquer áreas da vida, desde saúde, segurança, bem-estar, como também nas diversas formas de comunicação que podemos presenciar. Com a constante inovação tecnológica temos também a produção de novos dispositivos eletrônicos com uma velocidade de produção e de descarte que fica difícil de acompanhar. Como consequência temos o aumento da produção de lixo eletrônico, que causam impactando à saúde de quem tem contato direto ou indireto com esses resíduos, assim como impactos ao meio ambiente, seja na extração de matéria prima para a produção de novos equipamentos ou nos efeitos que esse resíduo impacta na água, no solo e no ar, quando descartados incorretamente. Para mitigar esses impactos é irrepreensível a sensibilização dos consumidores de equipamentos eletrônicos através da educação e do compartilhamento de informações. Através da pesquisa qualitativa e de práticas laboratoriais foi criado um manual prático com linguagem simples e imagens autorais para instruir como preservar, aumentando a vida útil dos equipamentos eletrônicos mais comuns, como desmontar, como reutilizar e como descartar corretamente seus resíduos ao fim de sua vida útil. Com a divulgação e disponibilização gratuita do manual pretende-se contribuir com a educação técnica e ambiental, com a economia, com a

preservação do meio ambiente e com a saúde pública, através de instruções de manuseio e descarte correto dos resíduos de equipamentos eletrônicos.

Palavras-chave: Descarte correto; Desmonte; Meio Ambiente; Lixo eletrônico; REEE

1. INTRODUÇÃO

O surgimento de diversos equipamentos eletrônicos tornou possível a acessibilidade atual, com celulares, computadores e televisores, que surgiram como formas de acesso às informações diversas, e não só isso, mas todos estes equipamentos vieram evoluindo e ganhando mais capacidade ao longo dos anos, tornando-se cada vez mais rápidos e menores. Seus processadores e equipamentos internos que possuíam poucas funções, processamento lento, grande e pesado, passaram a ser pequenos e compactos, realizando cada vez mais funções e cálculos (SOUZA, 2018).

A dependência e evolução da tecnologia impulsionou o consumismo, levando ao grande aumento de lixo eletrônico em muitas partes do mundo, inclusive no Brasil. De acordo com a agência EBC, uma matéria publicada em 2021, sobreposta às ideias da repórter Marlana Tokarnia, afirma que nesse período, o Brasil chegou a ser o quinto maior produtor de lixo eletrônico do mundo, o que nos faz refletir preocupadamente diante de tal contexto.

Os dois principais fatores que aumentam a quantidade de lixo eletrônico são: a obsolescência programada e o consumismo tecnológico (ROSSINI e NASPOLINI, 2017). Em termos simplórios, a obsolescência programada visa projetar o produto para quebrar ou ser gasto em menor tempo do que normalmente poderia acontecer. A vida útil do produto é reduzida propositalmente pela indústria com o intuito de estimular o consumo e movimentá-lo. Essa maneira se diferencia da inutilidade pela função, que é quando um produto executa melhor função do que outro, ou pela desejabilidade, que é quando um produto deixa de ser desejado por causa do lançamento de outro produto semelhante, mais chamativo.

Os equipamentos eletrônicos que perderam sua função, seja por danos, pelo tempo de vida útil ou por estarem obsoletos as novas tecnologias, tornam-se resíduos, e esses resíduos que constituem o lixo eletrônico não se trata somente de celulares, baterias ou computadores como muitos pensam, porém, são todos os eletrodomésticos que ficam obsoletos com o tempo, como os liquidificadores, microondas, geladeiras, carregadores e etc. (SÁ NETO, 2017).

Quando ampliamos a ideia com referência sobre o e-lixo (Tabela 1), entendemos que os impactos são ainda mais devastadores e consequentes, isso porque, o lixo eletrônico que é constituído de materiais não renováveis que quando jogados de qualquer maneira nas ruas, em lixões sem nenhum controle sanitário/ambiental ou até mesmo colocado de lado em casa, no

quintal, onde pode ser queimado poluindo o solo e o ar; ser carregado pela chuva, entupindo bueiros e causando enchentes; entrar em contato com rios ou plantações, contaminá-los com suas substâncias tóxicas, causando danos aos seres humanos ao ingerir água ou alimentos colhidos nessas plantações (SENA et al., p.4, 2018).

Tabela 1 – Tabela de elementos químicos e seus efeitos no corpo humano.

| Elementos | Localização e efeitos tóxicos no ser humano |
|-----------|---|
| Chumbo | Tubos de raios catódicos e soldas. Causam danos neurológicos, renais e sanguíneos |
| Vanádio | Tubos de raios catódicos. Causam distúrbios gastrointestinais, inapetência |
| Bromo | Retardantes de chama em circuitos. Causam desordem hormonal, nervosa e reprodutiva |
| Antimônio | Alguns tipos de retardantes de chama Nefrite. Causam nefrite, problemas cardiovasculares e gastrointestinais |
| Cádmio | Algumas baterias, soldas e circuitos. Causam danos aos ossos, rins, dentes e pulmões. Possível agente cancerígeno |
| Bário | Vidro (tela) de tubo de raios catódicos. Causam distúrbios gastrointestinais, convulsões, hipertensão, lesões renais e cardíacas |
| Mercúrio | Soldas, termostatos e sensores. Causam danos neurológicos e hepáticos |
| Berílio | Liga antifricção (cobre-berílio) Causam Edema e câncer pulmonar |

Fonte: Adaptado de CARVALHO (2015)

Há uma grande variedade de materiais quando observamos os equipamentos eletrônicos e entre as substâncias presentes que podemos citar são: cádmio, mercúrio, chumbo, arsênio, berílio e outros diversos como zinco e manganês. Algumas dessas substâncias quando em contato, e a depender da quantidade e tempo de exposição, podem causar problemas de saúde. Doenças como câncer de pulmão, distúrbios renais, danos cerebrais e no fígado, são só alguns dos exemplos que podem ocorrer devido ao contato (TANAUE et al., 2015).

As crescentes quantidades do chamado e-lixo traz sequelas em diversos locais do país, isso porque, o descarte incorreto torna-se cada vez mais comum tendo em vista que nem todos os municípios possuem locais apropriados para tal tarefa. A conscientização da sociedade quanto a isso também fica de lado, uma vez que muitos brasileiros não possuem os conhecimentos adequados de desmontagem e os perigos que, os mesmos podem causar tanto nas áreas da saúde quanto ambientais.

É importante frisar que em âmbitos nacionais, há algumas leis e regulamentações que trazem medidas e limites diante do lixo eletrônico. Apesar do entendimento, a PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos), só foi instituída pela Lei Federal nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010). As perspectivas das leis trazem uma boa ideia nas questões de direitos e deveres, porém, sem a devida fiscalização torna-se uma alternativa inviável. Nesse quesito, a educação

ambiental tem papel importante para a viabilidade e mudanças necessárias diante de atitudes para incorporações de boas práticas na gestão de e gerenciamento de resíduos sólidos, os quais se incluem os Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE).

Além da sensibilização faz-se essencial para formação de cidadãos que contribuam com construções de políticas e ações sustentáveis, sendo a educação ambiental o caminho para a formação de indivíduos críticos, com a capacidade não apenas de entender, mas também de transformar o mundo e a sociedade (CARVALHO, 2015).

O manuseio de equipamentos eletrônicos sem o conhecimento básico pode acarretar prejuízos não só aos equipamentos, mas também a saúde, ocasionando cortes na pele, contaminações e descargas elétricas. Como forma de evitar esse tipo de acontecimento, e dependendo do nível de complexidade e das necessidades de conhecimento do que será manejado, pode-se fazer uso de um manual.

Para Alexandre Veríssimo (2020) o conceito de manual pressupõe que seja uma super ferramenta de comunicação, que sistematiza e normaliza conceitos e procedimentos para orientar e promover boas práticas, pois facilita a efetivação e cumprimento de normas, procedimentos necessários para o bom desempenho das atividades, além de ser um instrumento auxiliar na gestão de processos, efetuando análise e avaliação constante. Ou seja, os manuais não só são ferramentas que podem ajudar nas atividades que estejam relacionados, mas também, podem ser ferramentas cruciais para desenvolvimento de boas práticas diante de tais problemas.

Outra positividade notória no uso desse tipo de gênero de texto é a tendência de dificultar a execução improvisada de algumas atividades, dessa forma, reduz significativamente a ocorrência de acontecimentos indesejados. Dependendo do tipo de manual, suas vantagens e desvantagens podem ser divergentes entre eles, isso se dá aos níveis de importância e a suas margens de adaptações sobre aquilo que está escrito para situações que podem sempre se modificar.

A apropriação da desmontagem faz-se importante conquanto o manuseio de equipamentos obsoletos diante dos diversos motivos específicos já citados, todavia, a intenção do consumidor final não cabe só na parte da desmontagem destes, mas similarmente, buscar consciência ambiental, a procura de pontos de coleta presentes em sua cidade. Esses pontos podem ser encontrados em cooperativas, empresas de reciclagem, pontos de coleta específicos ou até mesmo em campanhas de recolhimento público (GUEDES et al., 2021)

Visto a importância de tudo o que foi dito sob perspectiva do lixo eletrônico, entende-se a necessidade de tomar iniciativas em âmbitos nacionais sob mitigação das consequências do mal descarte. Nisso, podemos ressaltar a importância do manual de desmontagem nesse

contexto.

Partindo desse princípio, o presente projeto tem como objetivo a criação de um manual de desmontagem gratuito, que possibilite não só a desmontagem dos eletrônicos obsoletos para o descarte ou algumas forma de reutilização, mas também, contribua para o desenvolvimento de boas práticas diante desse problema, como o descarte correto e a conscientização das relações entre meio ambiente e tecnologia.

2. METODOLOGIA

A pesquisa a ser feita pode ser classificada como qualitativa (JULIANA, 2023), visto que explica uma ocorrência através de uma análise subjetiva diante de uma coleta de dados através de relatórios, artigos científicos, dados estatísticos e não através de uma análise de quantidade. Aplicada, pois busca encontrar a solução para um problema prático de maneira que seja aplicado no mundo real e exploratória, visto que como pesquisadores, temos como o objetivo estudar os fatores que contribui para problemática do lixo eletrônico (e-lixo) de maneira que se chegue a uma compreensão dos fatores e resultados obtidos.

2.1 Procedimentos Metodológicos

2.1.1 Pesquisas bibliográficas

As pesquisas bibliográficas foram decorridas diante da concepção de reforçar como os fatores a serem explorados diante da problemática do lixo eletrônico pelos meios principais como Google Acadêmico, conhecido também como Google Scholar (<https://scholar.google.com.br/?hl=pt>). Foram feitas pesquisas nos sites Scielo (<https://www.scielo.br/>) e Capes Periódicos (<https://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br/index.php>). Foram feitas pesquisas utilizando o Google Maps (<https://www.google.com.br/maps/preview>), tendo em vista a busca de locais que proporcionam pontos de descarte do lixo eletrônico. O período de pesquisa decorreu entre fevereiro de 2023 e setembro de 2023.

2.1.2 Coleta de dados

2.1.2.1 Catalogação de equipamentos eletrônicos

Esse foi o processo inicial do projeto, e teve como objetivo catalogar todos os equipamentos eletrônicos presentes no laboratório de manutenção de computadores nas instalações do IFRN, Campus Canguaretama. Os equipamentos ali presentes geralmente eram utilizados nas aulas e provinham de doações dos docentes, discentes e de outras instituições.

Diante dessa iniciativa, foram reunidas informações sobre seus tipos (se eram definidos como: monitores, gabinetes, televisores, switches, celulares etc.), suas quantidades, seus modelos e se possuíam domínio do IFRN. Diante desse processo, foram produzidas tabelas contendo as informações anteriormente destacadas. Ao longo das semanas, a equipe construiu relatórios que informam quais foram as atividades desempenhadas pelos discentes.

2.1.2.2 Desmontagem de equipamentos eletrônicos

Esse procedimento teve uso de técnicas de capacitação apropriadas, com o objetivo de capturar imagens, análise dos equipamentos, identificação de componentes que são comuns e técnicas de construção e funcionamento de aparelhos eletrônicos. Com o objetivo em mente, foi-se necessário a separação dos equipamentos, computadores, notebooks, impressoras, monitores, mouses, coolers, no breaks. Para facilitar o processo foram separados exemplares que foram usados para o estudo, dessa forma, foi feita a desmontagem, catalogação e aprendizagem sobre os componentes e suas diferentes formas de funcionamento.

2.1.2.3 Capturas de imagens e vídeos

Nem todos os equipamentos catalogados tiveram registro direto, pois nem todos foram desmontados. Apesar de todo o equipamento do laboratório ter sido catalogado, só foram tiradas fotos e vídeos, da montagem e desmontagem dos gabinetes de computadores e alguns nobreaks. Inicialmente a equipe selecionou alguns dos vários modelos diversos dos gabinetes, de maneira que os modelos tivessem peculiaridades entre si, onde eram feitos vídeos de desmontagem e fotos para montagem. Da mesma forma, foram feitos com alguns dos nobreaks.

2.1.2.4 Busca de pontos de coleta próximos a Canguaretama

A pesquisa por pontos de coleta próximos a Canguaretama foi feita através do Google Maps. Essa ferramenta possibilitou a coleta de dados que possuíam telefone para contato, hora de atendimento e de fechamento, e localização exata com pontos de referência que ajudariam na chegada ao local de coleta.

2.1.3 Criação do material didático sobre aparelhos eletrônicos

2.1.3.1 Pesquisa de vídeos de desmontagem de celulares, notebooks e televisões

Com o objetivo de desenvolver um manual de desmontagem de equipamentos obsoletos para descarte ou reaproveitamento, estabeleceu-se pesquisas sobre os equipamentos do manual: celulares, notebooks e computadores de mesa e televisões, os quais, foram os equipamentos

selecionados pela equipe e levados em consideração de que, pelo menos algum deles, toda pessoa possui em sua residência. Diante disso, como o curso de informática do IFRN Campus Canguaretama oferece aulas de montagem e desmontagem de computadores, foram só pesquisados vídeos de desmontagem para televisores, notebooks e celulares, que são os equipamentos que, particularmente, a equipe não possui experiência. Essas pesquisas constituíram principalmente vídeos vistos na plataforma do Youtube, que traz vídeos autoexplicativos diversos e uma vasta gama de variedades e modelos dos tais equipamentos.

2.1.3.2 Desenvolvimento de manual de desmontagem de equipamentos

Partindo da perspectiva das pesquisas realizadas e dos conhecimentos adquiridos diante das aulas, a equipe colocou-se a desenvolver o manual passo a passo, focado na desmontagem dos equipamentos, levando em consideração a especificação de que, o manual nunca deveria ser utilizado em casos de consertos ou abertura de equipamentos que ainda estivessem funcionais, visto que, os conhecimentos a serem abordados no manual seriam básicos diante de tais funções.

É importante destacar que o manual foi desenvolvido abordando os passos corretos para efetuar a desmontagem sem a danificação dos componentes internos, ferramentas necessárias, e alguns cuidados básicos que podem ser tomados com os componentes eletrônicos que garantem o tempo de vida útil do objeto.

O modelo do manual em destaque foi baseado em um sistema de passos numerados, abordando ilustrações que facilitasse a compreensão daquilo que estivesse escrito. Além disso, foram divididas as categorias de equipamentos, onde primeiro foram abordados os celulares e sucessivamente os outros equipamentos. Essa maneira de trazer as instruções buscou principalmente uma organização didática, de maneira que facilitasse a compreensão, como também a ampliação de maior possibilidade de busca sobre qual equipamento se quisesse desmontar.

Sobre os cuidados básicos não foram consideradas imagens, visto que os cuidados adotados se estruturam como dicas simples que foram descritas como pontos opcionais que dependem diretamente do cuidado individual de cada um sob seu equipamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Materiais Catalogados

Como resultado da catalogação dos equipamentos presentes no laboratório de manutenção de computadores no IFRN Campus Canguaretama, foram desenvolvidas planilhas

em utilidade da ferramenta Google, que permitiu uma organização e separação das categorias de equipamentos. No total, foram desenvolvidas 12 planilhas específicas para os componentes, que foram denominadas: Drives de CD/DVD, Coolers, Gabinetes, Impressoras, Monitores, Nobreaks, Notebooks, Switches/Hubs/Roteadores, Teclados, Mouses, Ventiladores e Outros, que agrega equipamentos como o Fax, Telefones, Microondas, Televisão e Servidor, que estão em menor quantidade. Cada planilha com tipo diferente de equipamento, segue o mesmo raciocínio de ter as informações: Marca, Modelo, Quantidade e Patrimônio, tendo em vista a planilha “Outros”, que por agregar mais de um tipo de equipamento, possui a informação: “Tipo”. As informações dos equipamentos catalogados são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 – Tabela de todos os componentes catalogados.

| Id | Tipo | Quantidade |
|----|-----------------------|------------|
| 1 | Drives de CD/DVD | 19 |
| 2 | Coolers | 62 |
| 3 | Gabinetes | 46 |
| 4 | Impressoras | 31 |
| 5 | Monitores | 29 |
| 6 | Mouses | 19 |
| 7 | Nobreak | 22 |
| 8 | Notebook | 51 |
| 9 | Fax | 1 |
| 10 | Telefone de mesa | 2 |
| 11 | Microondas | 1 |
| 12 | Servidor | 1 |
| 13 | Telefone celular | 1 |
| 14 | Switchs/Hubs/Roteador | 17 |
| 15 | Teclados | 47 |
| 16 | Ventiladores | 2 |

Fonte: Autoria própria

3.2 Desmontagem dos equipamentos e produção de registros

É preciso frisar que, apesar de muitos equipamentos terem sido catalogados, os únicos tipos de desmontados foram alguns tipos de gabinetes, nobreaks, televisores e notebooks. Outro tipo de equipamento que foi desmontado foi o celular, que apesar de não ter sido catalogado como já vimos anteriormente, um modelo precisou ser desmontado para a produção do manual de desmontagem.

Os registros resultaram em fotos do processo de desmontagem dos equipamentos, e vídeos no processo de remontagem dos equipamentos selecionados. Vale ressaltar que nem todos foram desmontados, pois havia muitos modelos repetidos, na Figura 1 tem algumas imagens do processo.

Figura 1—Algumas imagens do processo de desmontagem

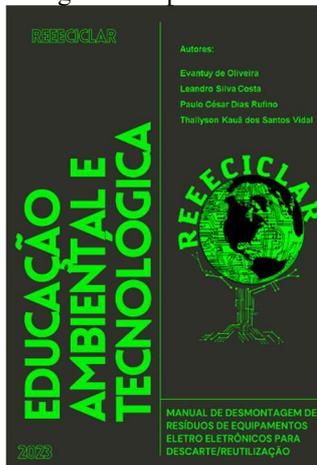


Fonte: Autoria própria.

3.2 Produção do manual de desmontagem para reutilização e descarte

O manual produzido (Figura 2) teve como principal objetivo a instrução voltada para uma correta desmontagem de equipamentos eletrônicos comuns, voltados principalmente aos gabinetes, celulares, notebooks e televisores que podem ser tanto descartados em locais adequados, como também, reutilizados em algum outro meio de desejo. Podendo ser acessado no link: https://drive.google.com/file/d/14Y2EkOrrgETlOqUgKI8NDn95UW-Ibo1q/view?usp=drive_link

Figura 2—Imagem da capa do manual produzido



Fonte: Autoria própria.

O manual agrega, primordialmente, todas as ferramentas simples, necessárias para desmontagem de todos os componentes mostrados. Ali, as ferramentas descritas englobam a chave de fenda e chave phillips, cartões de crédito velhos ou peças de plástico específicas para as aberturas necessárias e por último, as espátulas.

Em seguida, são inseridos alguns ensinamentos sobre cuidados básicos que podem ser tomados diante dos equipamentos abordados, visando um aumento de chances de que o equipamento possa ser útil por mais tempo, ou que pelo menos chegue ao seu tempo de uso

estipulado. O manual aborda tanto os cuidados mediante a limpeza dos equipamentos, como também, proteção a ambientes que podem trazer queima de componentes internos ou superaquecimentos exagerados que trazem consequências indesejadas.

Depois, a ferramenta de instrução aborda o passo a passo seguido de tópicos numerados de uma correta desmontagem dos equipamentos, prevenindo sempre os processos de uma boa abertura para acesso aos componentes internos, a remoção dos componentes, de maneira que se forem úteis em outros tipos de máquinas, não sejam estragados. O guia também reúne fotos ilustrativas e totalmente didáticas dos processos a serem desempenhados.

Por fim, existe dentro do material os pontos de coleta próximos a Canguaretama. Esses pontos receberam alocação das localizações através de fotos e ilustrações nítidas dos locais, como também sua localização exata e trechos de referência mostrada através do Google Maps. Todos esses pontos também possuem os horários de atendimento que seriam possíveis aos descartes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como pretensão principal construir um manual que agregue ao aprendizado quanto ao objetivo de um descarte eletrônico consciente, buscando criar oportunidades de que, a grande maioria dos consumidores desses produtos, possam pensar na possibilidade de extração de componentes que estejam dentro dos utensílios não mais usados, e reflitam sobre as possibilidades de reutilização, venda ou até mesmo troca se possível. Outro ponto crucial é entender a importância do descarte correto dos equipamentos eletroeletrônicos obsoletos para a diminuição das problemáticas desse lixo no meio ambiente, de maneira que, os impactos sejam diminuídos com o ensino de um correto desmonte dos equipamentos destinados aos pontos de coleta do e-lixo, ou para o surgimento de possibilidades de reutilização. O manual elaborado teve como desenvolvimento de habilidades em pesquisas bibliográficas, desmontagem dos equipamentos, fotografia e escrita, contribuindo assim para o crescimento intelectual dos alunos envolvidos.

Esperamos que o material desenvolvido seja proveitoso por todos aqueles que tenham o interesse de reduzir seus impactos no meio ambiente, seja aumentando a vida útil de seus equipamentos eletrônicos através do bom uso, seja reaproveitando peças e partes dos seus equipamentos obsoletos, seja descartando corretamente esses equipamentos, ou ainda desenvolvendo uma consciência e evitando o consumismo.

Outro ponto importante desse material é incentivar aos pesquisadores a compartilharem suas experiências e produções que possam contribuir direta e indiretamente com a redução dos

impactos ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Presidência da República. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 15 Junho de 2023.

CARVALHO, D. C. **Gestão e gerenciamento de resíduos de equipamentos eletrônicos: o campus central da UFRN em análise**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2015. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/20479/1/DacifranCavalcantiCarvalho_DISSE RT.pdf. Acesso em 13 de Setembro de 2023.

GUEDES, F.; GUARNIERI, P.; COUTINHO, C.N.; LEITE, T.R.N. Percepções, ações e práticas em logística reversa de consumidores brasileiros em relação ao descarte de eletroeletrônicos da linha branca. In: MENEZES, N.S. et al. (Orgs.). **Resíduos sólidos: educação e meio ambiente**. 1a ed. Recife: EDUFRPE, 2021. p. 694-708.

JULIANA, N. **Tipos e técnicas de pesquisa: classificação dos métodos e modelos de investigação**. Studyday. 24 de Junho de 2023. Disponível em: <https://mystudybay.com.br/tipos-de-pesquisa/>. Acesso em: 20 de Setembro de 2023.

ROSSINI, V.; NASPOLINI, S. Obsolescência programada e meio ambiente: a geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. **Revista de direito e sustentabilidade**. Brasília. v.3. Junho de 2017. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/b618/a00eda1752b552862ff1fffc17b28e69bb72.pdf>. Acesso em: 10 de agosto de 2023.

SÁ NETO, J. J. **Um estudo de caso com proposta de intervenção no âmbito da política de tratamento dos equipamentos eletrônicos obsoletos ou inservíveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano-Campus Floresta**. 2017. Disponível em: <https://releia.ifsertaope.edu.br/jspui/handle/123456789/939> Acesso em: 30 de agosto de 2024.

SENA, F. B.; BARBOSA, S. P.; NASCIMENTO, S. B.; FIDELIS, P. **Logística reversa: descarte do lixo eletrônico pelos universitários da instituição de ensino Doctum de Teófilo Otoni. (MG)**. 2018. Pág 4. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/4235/1/artigo%201%c2%b0.pdf>. Acesso em: 05 de agosto de 2023.

SOUZA, T. **História e Evolução dos Computadores**. Toda Matéria 2018. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/historia-e-evolucao-dos-computadores/>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.

TANAUE, A. C. B.; BEZERRA, D. M.; CAVALHEIRO, L.; PISANO, L. C. **Lixo Eletrônico: Agravos à Saúde e ao Meio Ambiente**. Faculdade Anhanguera de Bauru. 2015. DOI: <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2015v19n3p%25p>

TOKARNIA, M. O Brasil é o quinto maior produtor de lixo eletrônico. **Agência EBC**. 07 de Outubro de 2021. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-10/brasil-e-o-quinto-maior-produ tor-de-lixo-eletronico>>. Acesso em: 06 de Setembro de 2023.

VERÍSSIMO, A. **A importância de um manual de procedimentos de gestão da manutenção**. 2020. Disponível em: <<https://manwinwin.com/wp-content/uploads/2020/11/A-importancia-de-um-Manual-de -Procedimentos-na-Gestao-da-Manutencao.pdf>>. Acesso em: 06 de Setembro de 2023.

APÊNDICE G – ARTIGO PUBLICADO EM ANAIS DE EVENTO: I CIECT
I CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**ORIGEM E IMPACTOS DA OBSOLESCÊNCIA: UM
LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO**

Evantuy de Oliveira¹

¹PPGUSRN – IFRN

E-mail: evantuyoliveira@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8346700387885881>

Leandro Silva Costa²

²PPGUSRN – IFRN

E-mail: leandro.costa@escolar.ifrn.edu.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4991977240761750>

RESUMO: A evolução tecnológica possibilitou a criação de uma diversidade de equipamentos eletroeletrônicos (EEE), proporcionando conectividade e conforto. As técnicas de fabricação desses equipamentos também evoluíram, aumentando a produtividade e reduzindo o custo, gerando um excedente de produção. Para contornar a baixa procura por novos equipamentos e manter a vazão da produção, utilizou-se de meios ardilosos, denominados obsolescência, para reduzir intencionalmente a vida útil dos equipamentos e induzir nos consumidores a necessidade de adquirir novos equipamentos. Essa frenética produção e consequente descarte de equipamentos eletroeletrônicos virou um problema ambiental que exige atitudes urgentes, antes que seus impactos se tornem irreversíveis. Como forma de contribuir com a minimização dos impactos ambientais causados pela produção e descarte incorreto dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), essa pesquisa bibliográfica se propõe a investigar, sem delimitar espaço temporal, a origem da obsolescência, qualificando suas categorias e características específicas, analisando qualitativamente seus impactos econômicos, sociais e ambientais. Com o resultado dessa pesquisa e tomando como base os princípios do direito ambiental do desenvolvimento sustentável, da equidade intergeracional e da prevenção, é possível propor a redução dos impactos ambientais causados pelos REEE, combatendo a obsolescência através da educação ambiental, da redução do consumo e da reciclagem.

Palavras-chave: Ambiental; Eletroeletrônico; Investigação; Resíduos; Revisão

1. INTRODUÇÃO

A simplificação das tarefas diárias, o conforto do lar, as formas de entretenimento e a facilidade na comunicação vêm evoluindo com a criação de novos equipamentos eletroeletrônicos (EEE). Esta produção frenética de novos equipamentos intensifica os impactos ambientais, que tem início na exploração dos recursos naturais por matéria prima, continuam na manufatura e transporte desses materiais e dos equipamentos produzidos, e tem seu pico de impacto no fim da vida útil desses equipamentos, quando seus resíduos são descartados incorretamente (GARCIA; SOUZA; NEVES, 2020). O agravante dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) está em sua constituição, pois podem conter metais pesados e outros produtos químicos potencialmente danosos ao meio ambiente e a saúde humana, principalmente se não for descartado adequadamente (MATARAZZO et al., 2019).

A produção de REEE vem aumentando mundialmente (FORTI et al., 2020), e o principal impulsionador desse crescimento é a obsolescência (ROCHA; SOUZA, 2017). Com o objetivo de encontrar a raiz dessa questão e traçar estratégias de mitigação dos impactos ambientais e socioeconômicos causados pelo aumento da produção de REEE, resolveu-se investigar a origem e as formas de implantação da obsolescência nos equipamentos eletroeletrônicos.

1.1 A origem da obsolescência

Sistemas econômicos baseados no capital, com origem no pós-revolução Industrial (século XVIII), criaram ferramentas como a fidelização dos clientes, logística de produção e distribuição, entre outros, visando a redução de custos, maximização dos lucros e competitividade mercadológica. A aplicação de técnicas de produção em massa, aliadas ao desenvolvimento tecnológico, aumentou a qualidade dos produtos com um consequente aumento da vida útil, de início, e um excedente de produção (CONCEIÇÃO; CONCEIÇÃO; ARAÚJO, 2014; ROCHA; SOUZA, 2017).

O excesso de produção foi de encontro à baixa procura devido à crise econômica de 1929, levando a teorização da obsolescência programada, quando Bernard London, em 1932, propôs que os equipamentos tivessem seu ciclo de vida interrompido artificialmente, através de uma validade pré-definida, sendo essa a saída para acabar a depressão econômica americana,

impulsionando a produção e o comércio (CONCEIÇÃO; CONCEIÇÃO; ARAÚJO, 2014; ROCHA; SOUZA, 2017).

O plano da obsolescência programada foi posto em prática quando passou-se a produzir equipamentos cada vez mais frágeis, com sua vida útil o suficiente para o cliente não desistir da marca, mas que visivelmente poderia durar mais. A aplicação dessas técnicas aos novos equipamentos eletroeletrônicos tornou mais vantajoso adquirir um novo equipamento que consertá-lo (ROCHA; SOUZA, 2017).

Não obstante, modernas técnicas de marketing são utilizadas para convencer os consumidores de que seus equipamentos eletroeletrônicos estão socialmente defasados e, mesmo que em perfeito estado de funcionamento, devem ser trocados para satisfazer sua insaciável insatisfação consumista. A origem desse consumismo é datada a partir de 1945, após a Segunda Guerra Mundial, onde ser consumidor passou a ser um status social (CONCEIÇÃO; CONCEIÇÃO; ARAÚJO, 2014).

Com a Terceira Revolução industrial surgiu a oferta de novas formas de comunicação e entretenimento, assim como a produção em massa de novos equipamentos tecnológicos (smartphones, tablets, notebook, etc) e, como consequência, surgiram novas formas de programar a obsolescência para reduzir ainda mais a vida útil dos equipamentos, que foi o advento dos dispositivos que necessitam de um software, sistema operacional ou um aplicativo, para seu funcionamento, assim como suas constantes atualizações (CONCEIÇÃO; CONCEIÇÃO; ARAÚJO, 2014; CORREA et al., 2016; SOUZA, 2012).

Um exemplo da implementação da obsolescência, mesmo após a venda, é que o não fornecimento de atualização para um determinado equipamento, ou ainda instalar uma atualização incompatível com o equipamento, e até as atualizações fornecida pelo fabricante, pode acelerar o processo de obsolescência, pois o software que exige mais do hardware do equipamento, algo para qual ele não foi projetado, podendo chegar ao ponto de, intencionalmente, danificar o hardware ao sobrecarrega-lo (AMORIM, 2019; MARTARELLO, 2018; SANTOS, 2018).

Existe uma política de suporte limitada de algumas empresas, que só fornecem atualizações de software por aproximadamente cinco anos após o lançamento de seus dispositivos, deixando os modelos mais antigos sem receber atualizações de software, podendo resultar em problemas de segurança e incompatibilidade para os usuários. Outro exemplo é a obsolescência aplicada aos computadores através da atualização dos sistemas operacionais (SO), que a cada atualização de versão exigem mais do hardware, fazendo com que as constantes e rápidas atualizações na indústria de softwares seja a propulsora da venda de

hardwares (CONCEIÇÃO; CONCEIÇÃO; ARAÚJO, 2014; MARTARELLO, 2018; SOUZA, 2012).

1.2 Tipos de obsolescências

A princípio, a obsolescência programada não possui definição legal, sendo descrita como o encurtamento proposital da vida útil dos equipamentos (ZANATTA, 2013), que tem, como consequência, o aumento do uso de recursos naturais, a emissão de gases do efeito estufa e a produção de mais resíduos sólidos

Packard (1965, p. 51) aprimorou o significado, a depender da forma como o produto tornou-se obsoleto, com três definições específicas: obsolescência de função; obsolescência de qualidade; e obsolescência de desejabilidade.

A obsolescência de função, que se aplica quando surge um produto que executa melhor a função. A obsolescência criada a partir da melhora na função, também denominada obsolescência tecnológica, é um resultado do louvável avanço da ciência, e é mais rara do que se imagina. Um exemplo são os smartphones, que são descartados sem estar tecnicamente obsoletos funcionalmente (ZANATTA, 2013).

A obsolescência de qualidade, que é planejada para o produto quebrar-se ou gastar-se em determinado tempo, intencionalmente reduzido. Também conhecida como obsolescência programada, se vale da estratégia de programar deliberadamente para que os equipamentos tenham sua vida útil reduzida (PACKARD, 1965; SANTOS; GUAMIERI; CERQUEIRA, 2021).

E a obsolescência de desejabilidade, em que um produto, mesmo atendendo às funções e em perfeitas condições de uso, torna-se ultrapassado no psicológico do consumidor devido ao lançamento de um novo design. Também conhecida como obsolescência percebida, é aplicada no lançamento de novos modelos por motivo de moda, marketing ou estética, e muitas vezes sem nenhuma função verdadeiramente nova, fazendo com que o consumidor considere que seu produto foi ultrapassado (PACKARD, 1965; SANTOS; GUAMIERI; CERQUEIRA, 2021).

A obsolescência planejada de desejabilidade é uma indústria da moda, fazendo com que os consumidores dessa tendência considerem insignificante o fato de que seus produtos estejam em perfeitas condições de uso. A sociedade de consumo se alimenta da contínua insatisfação de seus consumidores (ZANATTA, 2013).

Um quarto tipo de obsolescência é a obsolescência instantânea, que foi descrita por Leonard (2011) como sendo a obsolescência que abrange os produtos descartáveis de uso único, tais como as fraldas, copos, absorventes, entre outros.

1.3 Impactos econômicos, sociais e ambientais da obsolescência

A obsolescência programada e a obsolescência percebida são fatores que potencializam a produção de resíduos sólidos, estendendo sua influência negativa além da problemática ambiental, trazendo prejuízos econômicos ao consumidor, uma vez que gastará mais, e em um menor intervalo de tempo, seja com o reparo ou com a substituição do equipamento (SANTOS; GUAMIERI; CERQUEIRA, 2021).

Os efeitos da obsolescência atingem todas as classes sociais, mesmo que por estratégias diferentes. Fatores como falhas no funcionamento, custos elevados de reparação ou inovações tecnológicas são motivos para o descarte prematuro dos Equipamentos Eletroeletrônicos (EEE).

Os indivíduos com maior poder aquisitivo trocam seus equipamentos por questões de atualização tecnológica ou simplesmente para se manterem na moda. Já a população das classes mais baixas, que é a maioria, troca seus equipamentos por estarem com problema de funcionamento. (SANTOS; GUAMIERI; CERQUEIRA, 2021).

O aumento do consumo com o objetivo de aumentar a rentabilidade do empresariado, quando estes aplicam técnicas de obsolescência programada aos produtos eletroeletrônicos, tem como consequência direta o aumento da produção de resíduos, principalmente quando os equipamentos são criados com o objetivo de serem descartáveis, causando impactos ambientais, sociais e econômicos (ROCHA; SOUZA, 2017).

O interesse do capital transnacional e o dos investidores financeiros são priorizados, muitas vezes com respaldo do Estado, objetivando a concentração de riquezas. Essa prática faz com que os países com economia periférica sejam dependentes das grandes potências mundiais, além de promover a exploração de recursos naturais e humanos.

A população desses países sofrerá uma segunda exploração, desta vez mascarada na cultura do consumismo, onde empresariado utiliza de propagandas para induzir a necessidade de determinados produtos, assim como a troca cada vez mais breve, acelerando a geração de REEE (LEONARD, 2011; ROCHA; SOUZA, 2017).

E mesmo que o consumismo tenha uma influência positiva no aumento do Produto Interno Bruto (PIB), que leva em conta todos os bens e serviços finais produzidos por um país, existe um problema econômico e social na análise do crescimento de um país através do PIB, pois esse fator deixa de fora elementos fundamentais como a desigualdade de renda e os danos ao meio ambiente (ZANATTA, 2013).

O consumismo, antes visto como sinônimo de felicidade, atualmente é o responsável por uma série de problemas ambientais. A excessiva produção de resíduos impacta na saúde

pública, custos de recolhimento e processamento, estética, ocupação de espaço em depósitos de lixo e esgotamento dos recursos naturais. Por outro lado, a coleta seletiva se apresenta como uma forma de reduzir o volume de resíduos sólidos, assim como a reciclagem diminui a necessidade de extração de matéria prima. (LAYRARGUE, 2002).

E mesmo que exista uma política da logística reversa dos REEE (Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos), uma falha nessa política deixa os materiais de organizações falidas, os produtos fabricados com peças de diversas empresas, e os equipamentos importados sem representante nacional, sem responsáveis (ROCHA; SOUZA, 2017). Os equipamentos podem ser construídos com componentes, partes ou mesmo em sua totalidade, por outros fabricantes, sendo que as marcas não passam de etiquetas. Este fator está cada vez mais comum nos EEE, com o objetivo de baratear os custos de produção e aumentar os lucros. Ficando os resíduos sem um responsável em sua destinação final.

O desinteresse do mercado pelos REEE gera uma carência de empresas especializadas no gerenciamento desses resíduos, tendo como consequência, o descarte inadequado desses resíduos, muitas vezes junto com os demais resíduos domiciliares (SANTOS; GUAMIERI; CERQUEIRA, 2021).

Existe ainda o aspecto social da reciclagem, onde os catadores se apresentam como operários terceirizados da indústria da reciclagem, privado de qualquer benefício trabalhista, e ficando com apenas 13% dos lucros resultantes da reciclagem, em comparação com os 66% da indústria, 11% da prefeitura e 10% dos sucateiros. Para um verdadeiro ato de preservação do meio ambiente através da reciclagem, deve-se repassar os dividendos resultantes da economia pela reciclagem aos operários dessa fábrica informal (LAYRARGUE, 2002).

2. METODOLOGIA

A pesquisa teve como objetivo investigar a implantação da obsolescência nos equipamentos eletroeletrônicos e, abordando sua origem, os tipos, seus impactos econômicos, sociais e ambientais, relacionando essas práticas de obsolescência ao Direito Ambiental. O modelo teórico de investigação pesquisa o estado de conhecimento, busca responder a uma pergunta de pesquisa claramente formulada a partir de um levantamento de conhecimentos vigentes numa determinada área temática da produção acadêmica (MOROSINI, 2015).

Adotou-se uma metodologia qualitativa, analisando de forma subjetiva e aprofundada as fontes já existentes, buscando compreender e interpretar as informações encontradas sobre o tema. A abordagem qualitativa permitiu examinar e sintetizar os dados encontrados nas fontes, permitindo identificar padrões e informações relevantes que abordem como cada tipo de

obsolescência é implantada nos equipamentos eletroeletrônicos, seus impactos na economia, na sociedade e, principalmente, no meio ambiente. Essa abordagem possibilitou a exploração de diferentes perspectivas e enfoques presentes na literatura, resultando em uma visão abrangente do assunto.

Essa pesquisa tem um enfoque exploratório, com a intenção de familiarizar-se com o problema, tornando-o mais explícito e possibilitando constituir hipóteses acerca de uma situação, além de explorar alternativas e descobrir novas ideias (GIL, 2019).

Dentro dessa linha de investigação, buscou-se responder, sem delimitar espaço temporal, a origem da obsolescência, qualificando suas categorias e características específicas, analisando qualitativamente seus impactos econômicos, sociais e ambientais, baseando-se nos três princípios do direito ambiental.

Para alcançar os objetivos propostos foi utilizada as seguintes strings de busca: “(obsolescência E eletrônicos) OU (obsolescência E eletroeletrônicos) OU (obsolescência E equipamentos)” em duas bases de dados. Para não interferir na busca pela origem da obsolescência não houve delimitação de ano de publicação.

A busca no Google acadêmico retornou 2.400 resultados no dia 21 de março de 2023, onde o critério de filtragem foi selecionar os 20 primeiros artigos por ordem de relevância, assim como os artigos relevantes citados por esses autores.

Na busca feita na base de dados CAPES utilizou-se os filtros para artigos de acesso aberto, periódicos revisados por pares, e excluindo os artigos em espanhol. Essa pesquisa foi feita no dia 17 de março de 2023 e retornou 34 artigos. A partir destas buscas foram considerados os artigos que abordavam questões importantes acerca dos objetivos desta revisão: Origem da obsolescência; Tipos de obsolescência; Impactos econômicos, sociais e ambientais.

Os resultados foram discutidos à luz do Direito Ambiental, destacando como a prática da obsolescência se relaciona com a legislação vigente e as implicações para a sustentabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Existem três princípios da área do Direito Ambiental com relacionamento direto com a prática da obsolescência programada, são eles: O **princípio do desenvolvimento sustentável**, onde fazemos um aproveitamento racional e ecologicamente sustentável da natureza em benefício das populações locais; O **princípio da equidade intergeracional**, onde as gerações atuais não podem deixar para as gerações futuras um estoque de recursos naturais inferior ao que receberam; e o **princípio da prevenção**, onde deve se agir o quanto antes, para evitar desastres irremediáveis (ZANATTA, 2013).

A educação ambiental pode contribuir para uma mudança comportamental em relação a disposição do lixo residencial, o que é urgente e válida a curto prazo, porém, uma reflexão sobre a mudança dos valores culturais que alimentam o estilo de produção e de consumo da sociedade moderna teria, em conjunto com a coleta seletiva, maior impacto e benefícios, principalmente a longo prazo (LAYRARGUE, 2002).

A redução do consumo e a reutilização combatem diretamente o consumismo e devem ter prioridade em relação à reciclagem. Utiliza-se a bandeira da reciclagem para salvar a cultura do consumismo, classificando como um problema técnico o baixo índice de reciclagem e a alta produção de resíduos sólidos, mantendo as estratégias produtivas da descartabilidade e da obsolescência em benefício do expansionismo capitalista (LAYRARGUE, 2002).

O reaproveitamento dos REEE pode reduzir os custos dos ciclos industriais, onde, o material reciclado necessita de uma menor quantidade de processos para ser usado, quando comparado a matéria prima recém extraída da natureza, elevando os lucros dos capitalistas e reduzir os impactos ambientais. A reciclagem, além de reduzir o volume de lixo, também gera empregos formais e informais, contribuindo para o desenvolvimento da cidadania. Sendo assim, a redução, a reutilização, e a reciclagem de REEE favorecem ao tripé: social, ambiental e econômico, sendo necessário uma maior interação entre o governo, o mercado e a sociedade (ROCHA; SOUZA, 2017).

O crescimento econômico e tecnológico é inevitável, resta a humanidade controlar e adequar esse crescimento a sua finalidade, preservando o meio ambiente, o que passou a ser uma necessidade universal para a preservação e continuidade da espécie. O consumismo vai muito além do ato de comprar, tornando importante ressaltar que consumo responsável e equilibrado pode criar um caminho para o desenvolvimento sustentável. (CORREA et al., 2016).

Uma maior conscientização ambiental, pode possibilitar uma transformação no processo produtivo no sentido de diminuir os impactos causados, através do compartilhamento da responsabilidade de toda cadeia produtiva pelo ciclo de vida do produto, e da criação de caminhos mais sustentáveis para os REEE (SANTOS; GUAMIERI; CERQUEIRA, 2021).

O Estado deve encontrar uma harmonia entre: **a produção, o desenvolvimento tecnológico e o equilíbrio ecológico**, pois seus efeitos se dão muito tempo depois da sua geração (ZANATTA, 2013).

5. CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

O anseio em contribuir para a preservação ambiental, com foco na problemática dos

Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), nos levou a pesquisar o fator que mais contribui no aumento da produção desses resíduos, a obsolescência. No intuito de conhecer melhor esse vilão ambiental, a obsolescência, e poder traçar estratégias que possam contribuir significativamente na redução da produção de REEE, investigou-se a origem da implantação da obsolescência, suas técnicas e especificidades, assim como os impactos econômicos, sociais e principalmente ambientais causados pela sua implantação na produção e comercialização dos equipamentos eletroeletrônicos.

A investigação bibliográfica retornou estratégias de mitigação com base no relacionamento existente entre a Obsolescência e três princípios da área de Direito Ambiental: O princípio do desenvolvimento sustentável; o princípio da equidade intergeracional; e o princípio da prevenção. Deixando sugestões com potencial de mudança na preservação ambiental.

A educação trabalha na base, promovendo a conscientização e compartilhando conhecimento sobre a importância do meio ambiente, assim como razões e estratégias para proteger. Principalmente na infância e na adolescência a educação pode promover a tão necessária mudança de comportamento, transformando esses futuros adultos em pessoas críticas, que praticam a sustentabilidade e são engajados com as questões comunitárias e ambientais.

O estado também tem seu papel na criação de políticas públicas e na implementação de legislações ambientais para promover práticas sustentáveis. Essas ações devem envolver, fiscalizar e responsabilizar tanto as empresas quanto os consumidores, engajando esses autores, nessa ordem de prioridade, na redução, reutilização e reciclagem dos REEE.

Esta pesquisa é apenas um passo inicial, podendo ser utilizada para criação de estratégias práticas que contribuam para a redução da produção e do descarte incorreto dos REEE.

Esperamos que outras sugestões de preservação ambiental sejam compartilhadas, postas em prática, e que o relato dessas experiências seja divulgado, podendo contribuir para a sensibilização e conscientização da população para a importância de viver em harmonia com o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

AMORIM, A. C. A. OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA E PROTEÇÃO DOS CONSUMIDORES: ABORDAGEM COMPARADA DE DIREITO LUSO-BRASILEIRO. *Law, State & Telecommunications Review/Revista de Direito, Estado e*

Telecomunicações, v. 11, n. 2, 2019. DOI: 10.26512/lstr.v11i2.27028

CONCEIÇÃO, J. T. P.; CONCEIÇÃO, M. M.; ARAÚJO, P. S. L. Obsolescência programada – tecnologia a serviço do capital. **INOVAE - Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation (ISSN 2357-7797)**, v. 2, n. 1, p. 1-15, 2014. Disponível em: <https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/inovae/article/view/386/548>. Acesso em 30 de agosto de 2024.

CORREA, R. S.; AVELAR, K. E. S.; FRIEDE, R. R.; LIMA, A. S.; MIRANDA, M. G. IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DA OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA. **Semioses**, v. 9, n. 2, p. 68-76, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.15202/1981996X.2015v9n2p68>

FORTI, V.; BALDÉ, C. P.; KUEHR, R.; BEL, G. The global e-waste monitor 2020. **United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam**, v. 120, 2020, v.120, 2020. Disponível em: https://collections.unu.edu/eserv/UNU:7737/GEM_2020_def_july1.pdf. Acesso em: 22 de setembro de 2023.

GARCIA, L.; SOUZA, A. A. M. V.; NEVES, P. C. A prática da obsolescência programada como violação ao meio ambiente-algumas perspectivas. **Diké: Revista Eletrônica de Direito, Filosofia e Política do Curso de Direito da UNIPAC Itabirito (ISSN:2178-3519)**, p. 29-46. 2020. Disponível em: <https://www.unipac.br/itabirito/wp-content/uploads/sites/4/2021/07/VOL-XXI-REVISTA-DIKE-ANO-13-1.2020-Pronto.pdf#page=29>. Acesso em 22 de setembro de 2023

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar projeto de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2019.

LAYRARGUES, P. P. O cinismo da reciclagem: o significado ideológico da reciclagem da lata de alumínio e suas implicações para a educação ambiental. **Educação ambiental: repensando o espaço da cidadania**. São Paulo: Cortez, v. 3, 2002. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4929516/mod_folder/content/0/LAYRARGUES%20Cinismo%20da%20reciclagem.pdf. Acesso em 22 de setembro de 2023

LEONARD, Annie. **A história das coisas: da natureza ao lixo, o que acontece com tudo que consumimos**. Editora Schwarcz-Companhia das Letras, 2011.

LONDON, B. **Ending the depression through planned obsolescence**. 1932.

MATARAZZO, A.; TUCCIO, G.; TEOORO, G.; FAILLA, F.; GIUFFRIDA, V. A Mass Balance as Green Economic and Sustainable Management in WEEE Sector. **Energy Procedia**, v. 157, p. 1377-1384. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.302>

MARTARELLO, R. A. **A tecnologia com prazo de validade: reflexões acerca da obsolescência programada em serviços públicos**. 2018. Tese de Doutorado. [sn]. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1018296>. Acesso em 30 de setembro de 2023.

MOROSINI, M. C. Estado de conhecimento e questões do campo científico. **Educação**, [S. l.], v. 40, n. 1, p. 101–116, 2014. DOI: 10.5902/1984644415822. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reveducacao/article/view/15822>. Acesso em: 19 jul. 2023.

PACKARD, Vance. **Estratégia do desperdício**. Instituição Brasileira de Difusão Cultural, 1965.

ROCHA, A.; SOUZA, F. R. OBSOLÊNCIA PROGRAMADA DE PRODUTOS ELETROELETRÔNICOS: DIMENSÃO SOCIAL, AMBIENTAL ECONÔMICA. **South American Development Society Journal**, v. 3, n. 07, p. 50-67, 2017. DOI: <https://doi.org/10.24325/issn.2446-5763.v3i7p50-67>

SANTOS, A. C. C. **Obsolescência programada: a aplicabilidade dos artigos 18 e 32 do código de defesa do consumidor na atualização de softwares para smartphones**. 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/123456789/107>. Acesso em 30 de agosto de 2023

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

SOUZA, Hérlon Porfírio de. **A obsolescência deliberada dos produtos e sua relação com o meio ambiente.** 2012. Monografia. [sn]. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/4b95ef6c-92b3-4198-8e45-e17416703e2a/content>. Acesso em 30 de setembro de 2023.

ZANATTA, Marina. A obsolescência programada sob a ótica do direito ambiental brasileiro. **Ciências Jurídicas e Sociais da Faculdade de Direito da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul**, 2013. Disponível em: https://www.pucrs.br/direito/wp-content/uploads/sites/11/2018/09/marina_zanatta.pdf. Acesso em 30 de setembro de 2023.