

Logística Reversa e a sustentabilidade dos resíduos eletroeletrônicos no Brasil: potencial e desafios (Paper 581)



Luciana Otoni de Souza¹
Hisakhana Pahoona Corbin²

RESUMO

Este artigo oferece uma reflexão a respeito da destinação adequada de resíduos eletroeletrônicos que podem prejudicar a saúde do homem e do ambiente. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estipula que os fabricantes, comerciantes e importadores deveriam ser responsáveis pela logística reversa, ou seja, por uma das etapas mais importantes do manejo de resíduos: a coleta dos aparelhos sem uso. O artigo foi construído utilizando-se uma metodologia qualitativa caracterizada pela revisão bibliográfica de livros, artigos científicos, jornais, leis, normas e atlas. Foi constatado que a produção de eletrodomésticos no mundo é inversamente proporcional à coleta e transporte do lixo produzido desse material no final da vida útil do produto e que tal prática acarreta danos ao meio ambiente e seres humanos devido ao contato com elementos tóxicos.

Palavras-chave: Resíduos eletroeletrônicos. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Logística reversa. Brasil.

¹ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido – PPGDSTU/UFPA. Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/6702616296413504>. Email: lucianaotoni@ufpa.br.

² Professor e Pesquisador do Núcleo de Altos Estudos Amazônicos (NAEA) da Universidade Federal do Pará (UFPA). Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/3256845970027095>. E-mail: corbinp@ufpa.br.

ABSTRACT

This article offers a reflection on the appropriate disposal of electronic waste that can harm human health and the environment. In Brazil, the National Solid Waste Policy (PNRS) stipulates that manufacturers, traders and importers should be responsible for reverse logistics, that is, for one of the most important stages of waste management: the collection of unused devices. The article was constructed using a qualitative methodology characterized by the bibliographic review of books, scientific articles, newspapers, laws, standards and atlases. It was found that the production of household appliances in the world is inversely proportional to the collection and transportation of waste produced from this material at the end of the product's useful life and that this practice causes damage to the environment and humans due to contact with toxic elements.

Keywords: Electronic waste. National Solid Waste Policy. Reverse logistic. Brazil.

INTRODUÇÃO

Este artigo surge da necessidade de uma reflexão social e ambiental a respeito da destinação adequada de resíduos que possuem em seus componentes elementos tóxicos que podem prejudicar a saúde do homem e do ambiente, a saber, os resíduos eletroeletrônicos. Leff (2003) apresenta discussões a respeito da crise ambiental, destacando as dinâmicas ocorridas no modo de pensar e agir que refletem, muitas vezes, a situação atual das condições ambientais com as quais nos deparamos, visto que a destinação e a disposição dos resíduos são um dos problemas das últimas décadas que vêm causando uma série de perturbações no meio ambiente e nas sociedades em geral.

O saneamento básico é um segmento fundamental da organização estrutural de uma sociedade para o seu funcionamento sistemático e amplo com a chegada de ações que visem a saúde coletiva e o bem-estar social, e carrega com ele soluções e alternativas que visem melhorar a qualidade de vida da população com a implementação de políticas públicas que oportunizem espaços de convivência ambiental para a experiência de todos (Vítor, Lando, Duarte *et al.*, 2021; Sugahara, Ferreira, Prancic, 2021).

Por estar previsto o gerenciamento efetivo dos resíduos eletroeletrônicos em leis ambientais, detalhadamente na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), disposta pela Lei nº 12305/2010, e na Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA) Lei nº 9795/1999, a importância deste estudo reflete a valorização do meio ambiente, o cumprimento de normas e da legislação ambiental vigente por parte dos fabricantes desses produtos e a conscientização da população no que concerne às práticas sustentáveis para a manutenção de um ambiente saudável.

O significativo aumento da geração de resíduos do tipo eletroeletrônicos exige, portanto, uma gestão sistêmica e organizada por parte do poder público em consonância com os anseios da população, que relata, de forma abrangente, problemas ambientais e, em última análise, que contribui para avançar para uma sociedade ambientalmente mais sustentável (Laurent *et al.*, 2014). Segundo a PNEA (1999), um de seus objetivos é difundir informações, conhecimentos e tecnologias sobre a educação ambiental que contemplem temáticas sociais que engajem a população no sentido de minimizar impactos negativos presentes nos espaços onde se localizam suas moradias.

Para tentar conter o avanço da geração de resíduos no Brasil, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos traz como um de seus instrumentos a logística reversa, essencial para o gerenciamento efetivo de resíduos, entre eles os eletrônicos. O resíduo sólido, devido suas propriedades iniciais ainda serem consideradas ativas, pode e deve ser reutilizado no intuito do aproveitamento da matéria-prima e diminuição de resíduos despejados (Manzini; Vezoli, 2005).

A Lei nº 12.305 tem como uma de suas exigências a inserção dos conceitos de responsabilidade compartilhada e logística reversa, reconhecendo a necessidade de participação de todos os elos da cadeia produtiva no gerenciamento dos resíduos sólidos oriundos de suas atividades (Araújo *et al.* 2013). Conforme Shuaib e Mativenga (2016) e Singh *et al.* (2017), é crescente a quantidade de produtos industrializados gerados a partir dos mais diferentes tipos de plásticos, sendo assim desafiador elaborar ações direcionadas ao descarte final, à reciclagem, à recuperação e à minimização da geração desses resíduos, uma vez que eles são usados em grande escala e nas mais diversas áreas.

A análise de Souza *et al.* (2020) destaca a necessidade de novas técnicas para o tratamento de resíduos que possuem em sua composição elementos químicos tóxicos que causem prejuízos diretos à saúde humana, levando em consideração que o descarte de material mais “limpo” no meio ambiente minimizará os danos ambientais e implicará em um menor custo com a sua disposição em aterros sanitários, além de proporcionar a diminuição do uso de fontes não renováveis. A necessidade de diminuir a quantidade de resíduo produzido no Brasil era imediata, uma vez que dados apontam para uma produção em 2022 de 77,6 milhões de toneladas de resíduos em todo o país, ou seja, 211 mil toneladas de resíduos por dia (Abrelpe, 2014).

A relevância do tema é devido ao crescimento da produção e do consumo de produtos eletrônicos no Brasil e no mundo. Em 2013, foram quase 50 milhões de toneladas desse tipo de lixo produzidas em escala global, segundo estudos das Organizações das Nações Unidas – ONU (2024). Segundo este último estudo, no Brasil, foram descartadas mais de 1,3 milhão de toneladas de lixo eletrônico, o que equivale a aproximadamente 36% de todo e-lixo produzido na América Latina.

O artigo foi construído utilizando-se uma metodologia qualitativa, como indicado por Pereira *et al.* (2018), voltada para a revisão bibliográfica de livros, artigos científicos e de jornais, leis, normas, atlas, e outras produções acadêmicas interdisciplinares. Buscou-se compreender as dimensões dos impactos socioambientais, conforme as diretrizes apresentadas pela lei da educação ambiental e da proposta por Rawls (1997), a fim de perfazer uma base teórica e conceitual capaz de nortear a análise proposta em relação ao descarte de resíduos eletroeletrônicos. Nesse sentido, este artigo analisa as práticas de gerenciamento relacionadas à disposição de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) com a utilização do instrumento logística reversa, previsto na PNRS, no Brasil.

Este trabalho está organizado basicamente em duas etapas, sendo a primeira parte composta pelo referencial teórico selecionado para trabalhar a interdisciplinaridade temática e as discussões que o tema requer, reportando autores que trazem em seus manuscritos a importância do conhecimento sobre resíduos eletroeletrônicos. Na segunda parte, tratamos sobre as principais análises sobre o material consultado a respeito da temática dos resíduos eletroeletrônicos no Brasil e no mundo, destacando alguns recortes no cenário mundial sobre pesquisas e projetos que vêm sendo realizados para a recuperação e/ou reutilização desse material. E, finalmente, trazemos as principais considerações, apresentadas na terceira parte deste trabalho, com as conclusões inferidas acerca dos textos consultados e da perspectiva dos autores para cenários futuros sobre logística reversa, educação ambiental, desenvolvimento sustentável, resíduos eletroeletrônicos e outras práticas que compreendam a destinação e a disposição desse tipo de material no meio ambiente.

RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS E A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A PNRS disciplina a gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos no país, sendo o sistema de logística reversa, a responsabilidade compartilhada e a hierarquia de gestão - não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos - os principais destaques. Além disso, criou o Comitê Orientador para a Implementação de Sistemas de Logística Reversa (COISLR), coordenado pelo MMA e integrado também aos ministérios da Saúde, do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e da Fazenda.

No Brasil, a PNRS estipula que os fabricantes, comerciantes e importadores deveriam ser responsáveis pela logística reversa, ou seja, por uma das etapas mais importantes do manejo de resíduos: a coleta dos aparelhos sem uso. Porém, a lei não determina como exatamente esse processo deva ocorrer, e a regulamentação tem sido discutida por órgãos governamentais, como o MMA e empresas, tanto do ramo de tecnologia quanto de coleta e processamento de lixo.

Foram criados cinco grupos temáticos de discussão para o descarte de resíduos que integram o COISLR, a saber: medicamentos, embalagens, lâmpadas, embalagens de óleos lubrificantes e eletroeletrônicos. A logística reversa para o gerenciamento dos resíduos eletrônicos se tornou eficaz após a efetivação da Lei nº 12.305/10; tal instrumento é necessário para a aplicação e instrução dos objetivos dispostos na lei.

Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) são equipamentos elétricos e eletrônicos obsoletos e submetidos ao descarte, incluindo todos os componentes, subconjuntos e materiais consumíveis necessários ao seu funcionamento. Assim, fios, cabos, mouse, impressoras, teclados, estabilizadores, entre outros, são considerados REEE.

No Brasil, de acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), realizada pelo IBGE em 2017, constata-se que a região Sul do país é a que apresenta o maior percentual de municípios com destinação de resíduos sólidos, seguida pela região Sudeste. As regiões Nordeste e Norte apresentam um número bem menor, enquanto a região Centro-Oeste vem ganhando um destaque em políticas ambientais voltadas para o gerenciamento desse tipo de resíduo, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Produção Anual de Resíduos Eletrônicos nas cinco regiões do Brasil

Região	Produção anual de resíduos eletrônicos (2023)	Gestão e descarte
Norte	110 mil toneladas	A coleta seletiva ainda é limitada, com poucas iniciativas voltadas ao lixo eletrônico.
Nordeste	300 mil toneladas	A região enfrenta desafios na logística reversa e conscientização sobre descarte adequado.
Centro-Oeste	150 mil toneladas	Avanços em políticas ambientais, mas dificuldades na coleta e reciclagem de eletrônicos.
Sudeste	1,2 milhão de toneladas	Maior produtor de e-waste do país, mas com iniciativas e maior infraestrutura para coleta e reciclagem.
Sul	350 mil toneladas	Boa infraestrutura de reciclagem, mas ainda enfrenta desafios com a coleta abrangente.

Fonte: Adaptado de ITU (2021); Baldé et al. (2024), p. 74.

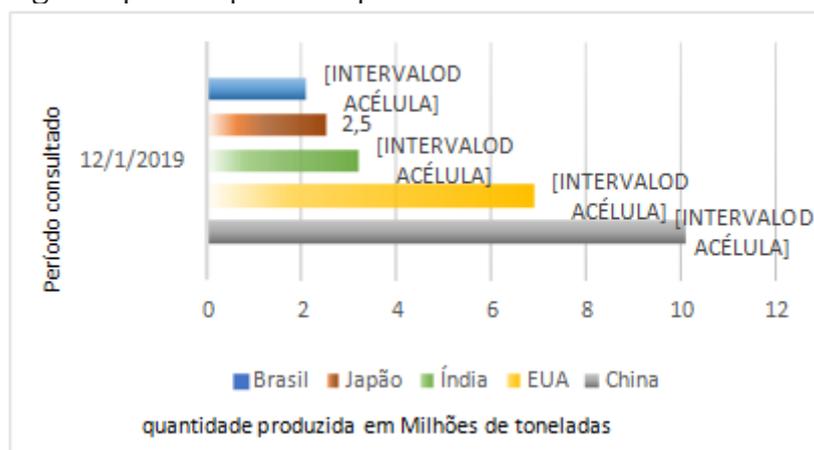
Dessa forma, o Brasil é o maior produtor de resíduos eletrônicos da América Latina, gerando cerca de 2,4 milhões de toneladas de e-waste por ano, segundo novo relatório da ONU (2024) sobre geração de resíduos no planeta. Entretanto, a reciclagem efetiva ainda é baixa, representando apenas cerca de 3,6% do total. As legislações mais robustas, como o Decreto nº 10.240 de 2020, obrigam as empresas a disponibilizarem pontos de

coleta, mas a conscientização pública ainda precisa ser aprimorada. Iniciativas regionais mostram avanços na região Sudeste, que conta com a maior infraestrutura para descarte e reciclagem, enquanto outras regiões ainda precisam desenvolver soluções de logística reversa e ampliar os pontos de coleta.

De acordo com o relatório da International Telecommunication Union (ITU) (2021), o Brasil é o país no mundo que mais descarta equipamentos ultrapassados na natureza. Pesquisas recentes (Silva, 2023; Turner, Fillela, 2017; Zeng *et al.*, 2017; Kannan, 2016; Orlins e Guan, 2016; UNU, 2015; Beganzoli *et al.*, 2014; Menikpura *et al.*, 2014) mostram que o impacto é também econômico, uma vez que a maioria destes materiais pode ser reciclada e retornada ao processo de fabricação, economizando energia elétrica e recursos naturais.

O Brasil aparece no relatório da ONU como um dos principais países da América Latina, entre outros como Venezuela, Guiana Francesa e Suriname, destacando que o país sul-americano é o maior gerador de resíduos eletrônicos em toda a região, e o segundo maior no continente americano. A nível global, ocupa o quinto lugar no ranking das nações que mais produzem lixo eletrônico, ficando atrás apenas da China, Estados Unidos, Índia e Japão, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1- Ranking dos países que mais produzem resíduos eletroeletrônicos no mundo



Fonte: Adaptado de United States Environmental Protection Agency - EPA (2020); Baldé *et al.* (2024), p. 26.

A Figura 1 pode ser analisada através do estudo que indicou que todos os anos a população brasileira é responsável por descartar cerca de 2,4 bilhões de quilos de material eletroeletrônico, representando um crescimento de quase 15% se comparado aos números investigados em 2020, em que indicava um descarte de quase 2,14 bilhões de quilos. A média anual de lixo eletrônico produzido por pessoa também subiu, passando de 10,2 kg para 11,4 kg.

Por uma perspectiva mais racional, o Brasil está à frente de outros países, tal como a Venezuela, segunda maior geradora de resíduos eletroeletrônicos da América do Sul, e tem percentuais em torno de 303 milhões de quilos por ano. No entanto, o Brasil tem um território de proporções gigantescas em comparação com todas as nações vizinhas, sendo também o único da América do Sul que atua na produção industrial de eletrônicos, com destaque para bens de consumo como celulares, televisores e eletrodomésticos; esses são pontos positivos para o Brasil. Porém, a forma como esses resíduos são tratados após o tempo de uso é uma preocupação constante, visto que dos 2,4 bilhões de quilos de lixo

eletrônico anuais gerados em território nacional, apenas 770 milhões são devidamente reciclados, o que corresponde a 3,6% do total.

Uma das ferramentas que podem ser utilizadas para a escolha de ações de intervenção para melhorar a destinação de resíduos eletroeletrônicos, segundo Souza (2023), é a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida dos produtos (ACV), que dentro da logística reversa, prevista na atual legislação sobre gestão de resíduos (PNRS), possibilita uma análise dos principais impactos ocasionados pelo gerenciamento inadequado dos resíduos.

Os estudos da World Health Organization - WHO (2021) concluíram que reciclar material eletroeletrônico previne alguns impactos negativos ao meio ambiente; porém, com relação a suas propriedades químicas, a toxicidade humana não pode ser controlada, por isso a necessidade de agrupar mais de uma técnica quando se trata da destinação correta desse tipo de resíduo.

A PNRS prevê uma ação de responsabilidade compartilhada entre os entes participantes da fabricação/existência de determinado produto que, ao cessar o seu ciclo de vida útil, gera resíduos e/ou rejeitos, e isso implica na inclusão de ações e alternativas que ofereçam um mínimo de soluções dentro da perspectiva socioambiental para a contenção da quantidade desse material que será exposto ao ambiente. Em um estudo realizado no município de Bonito-MS, Balbuena, Tiburtino-Silva, Nogueira, Maciel e Costa (2021) concluíram que parte da população que participou da pesquisa sobre como se organiza a coleta de resíduos sólidos diz ter a intenção de melhorar as práticas de gerenciamento e descarte de resíduos na cidade. Esse estudo demonstra a relevância que o gerenciamento adequado de todo e qualquer resíduo (sólido ou eletroeletrônico) desempenha dentro da organização dos espaços comuns em uma sociedade, proporcionando uma sadia qualidade de vida.

Alguns dos principais instrumentos da política nacional de resíduos sólidos estabelecem a formulação dos planos de resíduos sólidos que compreendem, entre eles, os resíduos eletroeletrônicos, e cada estado e município deve implantá-los de acordo com suas necessidades locais em consonância com as metas nacionais de geração e gerenciamento dos mesmos. Para a realização da etapa de coleta de resíduos, existem as diretrizes pregadas pelo plano nacional de resíduos sólidos através da Lei nº 12.305/2010, e isso inclui a atualização desse plano a cada gestão municipal e estadual. Ele apresenta uma vigência por prazo indeterminado, com uma previsão temporal de 20 anos e necessitando de atualização a cada quatro anos.

O processo de atualização se dá por meio de consulta e audiências públicas que ocorrem de maneira nacional e regional junto aos setores responsáveis especializados no assunto e ao setor público e sociedade em geral, englobando ações e procedimentos que irão orientar o gerenciamento dos resíduos em toda a sua cadeia produtiva (MMA, 2012). Aquino *et al.* (2021) apresentam em sua pesquisa um modelo matemático capaz de definir o melhor local para que sejam instalados pontos de coleta de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, ou como denominado REEE. Tal ação é capaz de auxiliar, por exemplo, na logística do trajeto a ser seguido por caminhões coletores, na organização de determinada comunidade para acúmulo e destinação adequada desse tipo de resíduo, o que incentivaria a disposição nos locais definidos, ajudaria na gestão de resíduos do município que adotasse a ferramenta para melhorar o aspecto econômico do transporte desses resíduos com menos gasto de tempo e combustível, uma vez que já poderiam traçar rotas mais curtas ou, dependendo

do local, fazer menos viagens para carregamento dos resíduos, conseguindo coletar em várias comunidades para depois seguir ao destino final.

Essa discussão é levantada dentro dos aspectos legais da lei de resíduos sólidos que, desde 2010, ano de sua vigência, conforme diagnóstico realizado no estado de Gonçalves (2020), encaminha questões sociais, econômicas e ambientais que enfatizam o alicerce dos princípios do desenvolvimento sustentável entrelaçados nessa política, posto a temática transversal do conteúdo exposto na legislação e pela sustentabilidade já conhecidos e disseminados ao redor do mundo.

O PAPEL DA LOGÍSTICA REVERSA NA SUSTENTABILIDADE DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) (2013), a logística reversa é um instrumento caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos. Entre os seus principais objetivos da logística estão a formação de Grupos de Trabalhos Temáticos (GTT) capazes de discutir e implementar metas e ações que favoreçam os acordos setoriais no sentido de aplicar a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, sendo os GTT:

1. embalagens plásticas de óleos lubrificantes;
2. lâmpadas fluorescentes de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;
3. produtos eletroeletrônicos e seus componentes;
4. embalagens em geral; e
5. resíduos de medicamentos e suas embalagens.

Os objetivos principais desses grupos são a elaboração de edital de chamamento para a realização de acordos setoriais (ato de natureza contratual firmado entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, tendo em vista a implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos), bem como a obtenção de subsídios para a realização de estudos de viabilidade técnica e econômica (EVTE) para a implantação de sistemas de logística reversa (SINIR, 2013).

Estudos de Forti *et al.* (2020), International Telecommunication Union - ITU (2021), ABETRE (2022) e Baldé *et al.* (2024) estimam que o custo total anual da gestão dos resíduos eletrônicos seja estimado em US\$ 37 bilhões mundialmente. Os principais custos consistem em 78 mil milhões de dólares para a população e o meio ambiente, decorrentes das emissões de chumbo e mercúrio, vazamentos de plástico e contribuições para o aquecimento global. Esse tipo de reciclagem está presente em todo o território e, normalmente, é especializada no processamento de frações de materiais que possuem maior valor agregado. Contudo, o processo ainda está muito concentrado em poucas empresas e regiões para representar uma atividade sustentável.

Ainda segundo o relatório de gestão de resíduos eletroeletrônicos produzido por Baidé *et al.* (2024), os benefícios são estimados em metais recuperados que são trazidos de volta na

economia circular e possuem um impacto positivo com valor de mercado e US\$ 23 bilhões, representando o valor monetizado do efeito estufa, evitando emissões de gases.

De acordo com os índices de reciclagem apresentados por esse grupo de entidades, em 2016 foi apontada uma taxa muito pequena de material eletroeletrônico recolhido e reciclado, cerca de 20%, em que o Brasil configurava como o segundo maior gerador desse resíduo dentre os países da América Latina, com 1,5 milhão de toneladas, ficando atrás apenas dos Estados Unidos da América. Este cenário foi alterado para aproximadamente 30% no ano de 2022 (Souza, 2023). Já em 2022, segundo Baidé *et al.* (2024), foram gerados no mundo aproximadamente 62 bilhões de kg de lixo eletrônico, sendo 7,8kg o valor per capita, e 22,3% deste lixo foi apontado como coletado e reciclado de maneira ambientalmente correta.

Dados da página “Um só Planeta” (2021) indicam que a quantidade de lixo eletrônico global chegará em 2030 com valores aproximados a 74 milhões de toneladas, o que é um dado preocupante se considerarmos que o Brasil, no ano de 2024, gerou cerca de 1,5 milhão de toneladas, e apenas 3% desse material foi reciclado ou descartado de forma correta (Baldé *et al.*, 2024).

A logística reversa compreende uma etapa importante dentro do ciclo produtivo dos produtos eletroeletrônicos e desempenha o papel mediador na contenção da quantidade de resíduos gerados entre o consumidor final e a empresa fabricante. Ocorre que o modelo de produção capitalista e ainda o modo de vida urbano contemporâneo e efêmero com relação ao consumo infla de propagandas e incentivos na mídia para a compra compulsiva de itens que não necessariamente fazem falta na vida das pessoas que são convencidas na compra por várias ferramentas de propaganda imediatistas.

Nessa reflexão, ainda que impulsionada pelo viés do setor econômico, voltado à competitividade e à maximização de lucros, a coisificação das necessidades humanas e segundo o aperfeiçoamento das técnicas, inovação e tecnologia na formulação dos produtos, bem como por imposições normativas, práticas mais sustentáveis são adotadas por diferentes agentes de vários setores da sociedade a fim de contribuir para cessar a crise ambiental que vem se alastrando historicamente.

A partir disso, pode-se concluir que a mudança de comportamento e pensamento diante da realidade ambiental é feita de forma sistematizada e engessada, visto que não existe uma mudança espontânea e livre por parte dos indivíduos com relação aos recursos naturais e os meios de produção, mas sim o avanço dos danos ambientais, o esgotamento das matérias-primas em seus lugares de origem, a exploração dos povos locais e sua mão de obra barata para aquisição de suprimentos para a fabricação dos produtos finais, o uso dessas pessoas como escudo para pacificar questões locais de conflitos entre o grande capital e o meio ambiente (Marx-Engels, 2017; Alves, Silva e Pimentel, 2017).

Em uma etapa necessária para que as mudanças sustentáveis se façam reais e presentes nas populações, destaca-se a contribuição do desenvolvimento do conceito de logística reversa e das leis que tratam e refletem sobre a problemática dos resíduos eletroeletrônicos no mundo moderno e acelerado, que devem ser difundidos de modo a visibilizar que sejam postos em prática.

De acordo com uma perspectiva mais ampla, Rosa (2010) define a logística como uma série coordenada de ações que compreendem desde a colocação do produto, da quantidade, do lugar, do prazo, da qualidade, da documentação, do custo em uma escala dada como certa e produzindo no menor custo, da melhor forma, deslocando mais rapidamente,

agregando valor ao produto e dando resultados positivos aos acionistas e clientes, tudo isso respeitando a integridade humana de empregados, fornecedores e clientes e a preservação do meio ambiente.

Para Silva e Costa (2022), a logística reversa ganha espaço como ferramenta empresarial estratégica no âmbito da destinação final correta destes resíduos. O fluxo reverso integra os resíduos sólidos ao ciclo produtivo, reaproveita materiais e contribui para a redução dos impactos ambientais, tanto para a possível redução da extração de matéria-prima em alguns casos, como para a redução dos descartes desses resíduos de maneira irregular.

Quando um objeto eletroeletrônico não tem mais utilidade, há opções de destinação que não precisam ser o descarte. O consumidor, por exemplo, pode levar os aparelhos antigos até os fabricantes, que são amparados pelos programas de logística reversa, próprios para a destinação de resíduos. Além disso, quando um equipamento desses é substituído e o anterior ainda tem vida útil, esse pode ser doado para instituições, prolongando a vida útil do produto e diminuindo a quantidade de descarte inadequado desse tipo de material. Ainda existe a possibilidade de vender o equipamento, o que vem se mostrando uma alternativa interessante dentro do mercado financeiro, visto que a composição básica desse tipo de empresa é basicamente o resíduo que seria descartado.

DESAFIOS E POTENCIAL NO PARÁ E NO BRASIL

A principal limitação quanto à valorização dos resíduos eletroeletrônicos é que não existiam princípios, objetivos e instrumentos que norteassem a sua gestão e por não prescreverem mecanismos, como a utilização de tecnologias mais avançadas e possibilidade de inovação, que viabilizassem sua plena implantação pela ineficácia e/ou inexistência de fiscalização. A problemática ambiental destacada pela ineficiência da gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos e eletroeletrônicos do país traz à superfície aspectos de uma crise ambiental instalada historicamente no mundo e principalmente nos países emergentes que lutam por direitos tão primários como a qualidade de vida e a saúde coletiva.

Leff (2003) destaca que uma das relações mais interessantes, divergentes e heterogêneas que podemos perceber é a atuação do homem com o saber clássico, ancestral e contemporâneo ao mesmo tempo. Aprender sobre a complexidade ambiental, ou ainda, estudá-la de maneira mais abrangente, possibilita resgatar conhecimentos por ora em desuso e que merecem uma revisão atualizada de seus principais tópicos. Nesse sentido, a educação ambiental se apresenta como uma possibilidade de adequação das ações realizadas na sociedade ligada à criação de políticas públicas voltadas para o estudo de práticas que contemplem os resíduos, seus produtos e destinação, além da conscientização da população com a divulgação do conhecimento científico em associação ao saber popular.

Está prevista na Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) a definição de Saneamento Básico como sendo o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, que são fundamentais para promoção da saúde e bem-estar da população (Brasil, 2007).

A partir da Lei dos Resíduos Sólidos, cidadãos, empresas e governos são conduzidos a adotar uma postura mais comprometida a respeito da sistematização do gerenciamento dos resíduos e da importância de destiná-los de forma correta, principalmente ao tratar de

resíduos eletroeletrônicos. No entanto, tal reconhecimento não significa a diminuição da produção e isso dificulta a gestão e os estágios de gerenciamento do material.

Uma das questões mais importantes levantadas pelo relatório *The Global E-Waste Monitor* (2024) apresenta dados relativos à relação dos resíduos eletroeletrônicos e ao aquecimento global, em que destaca a presença de material tóxico e substâncias nocivas à saúde na composição desses resíduos, como mercúrio, retardadores de chama Bromados, os chamados BRF, e os Clorofluorocarbonos (CFC) ou Hidroclorofluorocarbonos (HCFC). Toda essa circunstância, somada à grande geração e deficiência na coleta desses resíduos, além de descarte e tratamentos inadequados e até inexistentes em alguns lugares, representa riscos significativos ao meio ambiente e à saúde humana. Tais questões são agravadas pelo aumento da exploração de matéria-prima para a fabricação de novos produtos em virtude da não reciclagem dos materiais provenientes daqueles itens que chegaram ao fim da sua vida útil, produzindo e liberando gases tóxicos na atmosfera.

De acordo com o relatório mencionado, cerca de 98 milhões de toneladas de CO_2 foram liberadas na atmosfera devido ao descarte de geladeiras e ar-condicionados de maneira incorreta no meio ambiente, o que representa 0,3% dos gases globais emitidos computados em 2024.

Logo, a educação como uma das dimensões do saneamento básico, e aqui incluímos a educação ambiental e sanitária que envolve aspectos de saúde coletiva, é uma estratégia importante, que pode contribuir para o empoderamento da comunidade beneficiária quanto aos serviços, estruturas e instalações disponibilizadas (Santos; Santos, 2021).

A presença de grandes metrópoles no Brasil, em muitos aspectos, inviabiliza a trajetória sustentável do gerenciamento dos resíduos, uma vez que, nesses locais, a valorização da compra e a troca constante de itens eletroeletrônicos por outros com tecnologias mais atuais ocorre de maneira inconsequente; esse é o modelo de produção capitalista e sua gênese de valorização do produto/capital em detrimento das demais questões que envolvem a sociedade. Nesse sentido, Coêlho *et al.* (2021) discutem sobre a ascensão do capitalismo verde como mecanismo de gestão no descarte de resíduos eletroeletrônicos, perfazendo uma análise crítica quanto às práticas anticapitalistas e não consumistas como métodos redutores da poluição devido ao fim da vida útil dos produtos, já previsto em seu manual, a chamada obsolescência programada.

A PNEA (1999) estabelece o conceito de educação ambiental de maneira mais ampla, envolvendo processos 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.

A literatura apresenta que a produção de REEE atualmente constitui 8% do lixo urbano em países desenvolvidos e a sua fração no lixo municipal está aumentando em todo o mundo (Almeida, 2021). O fluxo de descarte dos equipamentos tecnológicos está crescendo mundialmente e esse é um fator preocupante para o planeta, visto que o contato direto com os resíduos eletroeletrônicos pode acarretar uma série de implicações à saúde humana e à natureza em geral (Turner; Fillela, 2017).

A Portaria nº 518 de 2004 do Ministério da Saúde estabelece padrões de potabilidade para substâncias químicas que apresentam algum risco à saúde humana, sendo que, segundo os estudos de Thomas (2021) e Richter (2022), os elementos chumbo, mercúrio e cádmio devem passar por processo de monitoramento nos seus níveis encontrados no ambiente natural para a preservação do espaço e da biodiversidade na Terra.

A Portaria nº 518 de 2004 do Ministério da Saúde estabelece padrões de potabilidade para substâncias químicas que apresentam algum risco à saúde humana, sendo que, segundo os estudos de Thomas (2021) e Richter (2022), os elementos chumbo, mercúrio e cádmio devem passar por processo de monitoramento nos seus níveis encontrados no ambiente natural para a preservação do espaço e da biodiversidade na Terra.

O aumento considerável dos resíduos eletroeletrônicos no mundo sinaliza para a necessidade de embasamento de políticas públicas voltadas para o gerenciamento e a gestão dos resíduos eletroeletrônicos, visto que sua quantidade no planeta começa a tomar proporções que se não forem corrigidas, o futuro das espécies ganha mais um problema crítico.

A poluição do ar, da água superficial e subterrânea, e prejuízos à fauna e à biodiversidade poluem o solo e levam contaminações para espécies alimentares. Além disso, o surgimento de novas doenças em humanos é um dos problemas gerados pela má gestão dos resíduos eletroeletrônicos. Em países emergentes, como o Brasil, observa-se o papel fundamental das cooperativas de reciclagem de resíduos com a valorização da mão de obra desses agentes, além da educação ambiental transmitida e repassada nas comunidades e dentro das escolas.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecida pela Lei 12.305/2010, representa um marco importante para a gestão sustentável de resíduos no Brasil, abrangendo também a responsabilidade sobre os resíduos eletroeletrônicos. Esse tipo de resíduo, que inclui aparelhos eletrônicos como celulares, computadores, baterias e outros equipamentos, possui potencial tóxico e é difícil de degradar no meio ambiente.

Nesse sentido, a partir do levantamento até aqui realizado, pode-se destacar alguns desafios que assolam o sistema de gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos no Brasil, sendo depois apresentada uma breve reflexão sobre as perspectivas globais futuras a respeito dessa temática.

- a) Abrangência da PNRS no setor de resíduos eletroeletrônicos Apesar de a legislação ser objetiva com relação à destinação correta dos resíduos eletroeletrônicos, a abrangência da PNRS é limitada pela falta de estrutura e infraestrutura específica para a logística reversa em várias regiões do Brasil. A logística reversa exige que fabricantes, distribuidores e varejistas sejam responsáveis pela coleta e descarte correto desses produtos ao final de sua vida útil. Contudo, há grande diferença dessa aplicação entre as regiões quanto à capacidade de implantação desse sistema. Nas regiões Sul e Sudeste do Brasil – onde há maior concentração de indústrias, empresas de reciclagem e redes de varejo bem estabelecidas –, a implantação da logística reversa e de pontos de coleta para resíduos eletrônicos deve ocorrer de maneira mais efetiva. Essas regiões têm maior acesso a recursos financeiros, infraestrutura e apoio técnico, fatores que facilitam a criação de programas de coleta de eletrônicos usados. Já no Norte e Nordeste, a coleta e o descarte desses resíduos enfrentam obstáculos como a falta de infraestrutura adequada, altos custos de transporte e pouca quantidade de pontos de coleta.
- b) Capacidade de implementação entre as regiões e estados brasileiros
A capacidade de implementação da PNRS no caso de resíduos eletroeletrônicos varia entre as regiões do Brasil. O Sul e o Sudeste são as regiões mais avançadas nesse quesito, com uma infraestrutura mais robusta para o gerenciamento de

resíduos, políticas de incentivo para a reciclagem e maior conscientização ambiental entre os consumidores. Além disso, empresas de reciclagem e cooperativas atuam de forma mais intensa nessas áreas, criando uma rede de coleta e processamento que contribui para o cumprimento das metas da PNRS.

Em contrapartida, as regiões Norte e Nordeste enfrentam limitações consideráveis, visto que a logística reversa é complexa e demanda custos elevados quando se trata do descarte de resíduos eletroeletrônicos, que precisam de destinação específica e controle rigoroso devido aos componentes tóxicos. O alto custo do transporte para enviar os resíduos até centros de reciclagem e a falta de políticas de incentivo dificultam a implementação de sistemas de coleta seletiva e reciclagem. Nessas regiões, muitos resíduos eletroeletrônicos ainda são descartados de forma inadequada no meio ambiente.

c) Comparações regionais: Sul x Norte / Norte x Nordeste

A comparação entre as regiões norte e sul no Brasil mostra uma diferença marcante em termos de capacidade de implementar a política de resíduos eletroeletrônicos. No Sul, há um número crescente de empresas e cooperativas voltadas para a reciclagem de eletrônicos e um maior número de pontos de coleta, principalmente nas grandes cidades. A conscientização ambiental, impulsionada por campanhas educativas e a participação ativa de organizações e governos locais, também contribui para o efetivo implemento da logística reversa.

Por outro lado, no Norte, a situação é complexa, pois a baixa densidade populacional em certas áreas e as longas distâncias entre cidades dificultam a coleta de resíduos eletroeletrônicos pela logística e acessibilidade dificultosas. A ausência de uma infraestrutura local de reciclagem e a dependência de transporte para enviar os resíduos até outras regiões elevam os custos e tornam a operação pouco viável. Em muitos casos, o destino final desses resíduos acaba sendo o descarte irregular, o que compromete o meio ambiente e a saúde pública.

Entre as regiões norte e nordeste, as diferenças são perceptíveis, mas a situação do nordeste é relativamente mais avançada. Alguns estados do Nordeste, como Bahia e Pernambuco, contam com programas de coleta de resíduos eletroeletrônicos mais estruturados, geralmente nas capitais e regiões metropolitanas, embora áreas mais afastadas ainda enfrentem dificuldades. No entanto, a maior proximidade com o Sudeste e o acesso a programas de conscientização de ONGs e outras entidades facilitam a realização dessas atividades.

d) Desafios econômicos e custos da reciclagem de resíduos eletroeletrônicos

O processo de reciclagem de resíduos eletroeletrônicos é complexo e requer investimentos elevados em infraestrutura, tecnologia e mão de obra qualificada. A coleta e transporte de resíduos eletroeletrônicos demandam logística específica, devido à necessidade de destinação apropriada dos componentes perigosos, como chumbo, mercúrio e cádmio. Para cumprir as exigências legais, empresas de reciclagem precisam seguir protocolos de segurança, o que torna o processo ainda mais caro.

e) A estrutura de custos envolve não só o transporte, mas também o tratamento dos resíduos, que é altamente tecnológico. Separar os componentes reutilizáveis exige

equipamentos avançados, como máquinas de fragmentação e sistemas de filtragem, que têm custos altos de operação e manutenção. Além disso, a falta de um mercado amplo para produtos derivados de resíduos eletrônicos, como plásticos e metais reciclados, limita o retorno financeiro, dificultando a sustentabilidade econômica dessas operações.

f) Demanda por produtos reciclados e cultura de consumo

Embora o reaproveitamento de componentes eletrônicos reciclados tenha potencial para reduzir a exploração de recursos naturais e diminuir o impacto ambiental, a demanda por esses produtos ainda é baixa no Brasil. Muitas indústrias e consumidores mantêm uma preferência por produtos novos, tanto por questões culturais quanto por desconhecimento das vantagens do reaproveitamento. Esse baixo interesse por materiais reciclados enfraquece o mercado de recicláveis, dificultando a ampliação de uma cadeia econômica baseada na reciclagem de eletrônicos, o que reduz a competitividade desse tipo de produto frente aos novos, limitando sua presença no mercado.

g) Subsídios e incentivos governamentais para a reciclagem de eletrônicos

No Brasil, há algumas iniciativas governamentais e políticas públicas voltadas para a reciclagem e a logística reversa de resíduos eletroeletrônicos, mas os subsídios específicos e os incentivos fiscais são ainda insuficientes. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, atribuindo a fabricantes, distribuidores, consumidores e poder público o papel de promover o descarte e a reciclagem adequados. Contudo, a política oferece poucos incentivos diretos para as empresas do setor de reciclagem de eletrônicos, em termos de redução de impostos ou subsídios financeiros.

Outros pontuais, como programas de financiamento para empresas que investem em reciclagem e a redução do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) para produtos reciclados, são importantes, mas ainda não suficientes para fomentar um mercado competitivo. Além disso, a implementação de incentivos como créditos fiscais ou isenções tributárias para empresas que utilizam materiais reciclados em seus produtos poderia impulsionar a demanda por eletrônicos reciclados e aumentar a viabilidade econômica do setor de reciclagem.

h) A importância de incentivar o mercado de eletrônicos reciclados

Fomentar a economia circular por meio da reciclagem de resíduos eletroeletrônicos não só ajuda a mitigar os impactos ambientais, como também cria novas oportunidades de emprego e geração de renda. O mercado de eletrônicos reciclados oferece vantagens econômicas, como a redução da importação de matérias-primas, o que contribui para a segurança econômica e diminui a dependência de insumos externos. Contudo, para que o mercado de reciclados se consolide, é fundamental que o governo adote políticas mais amplas de incentivo.

Além disso, campanhas educativas podem aumentar a conscientização da população sobre a importância da reciclagem e criar uma demanda maior por produtos eletrônicos reciclados. Programas de subsídio e incentivos fiscais para empresas que investem em tecnologia de reciclagem e em métodos de reaproveitamento

podem reduzir os custos operacionais e ampliar o mercado de materiais reciclados, tornando-o mais competitivo e atraente para consumidores e fabricantes.

i) Sistema de comando e controle na PNRS

O sistema de “comando e controle” é um dos pilares da PNRS e estabelece obrigações legais para os geradores de resíduos, que incluem fabricantes, distribuidores, comerciantes e consumidores. Por meio desse sistema, a lei define responsabilidades específicas para cada agente envolvido na cadeia produtiva, promovendo o conceito de responsabilidade compartilhada. No caso dos resíduos eletroeletrônicos, os fabricantes e importadores são obrigados a adotar a logística reversa, ou seja, a coleta e o descarte adequado dos produtos ao final de sua vida útil, independentemente de o resíduo ser perigoso ou não.

Esse modelo de comando e controle impõe regras e sanções para as empresas que não cumprirem as exigências, sendo um mecanismo importante para garantir que os resíduos sejam tratados de forma ambientalmente correta. Por meio de instrumentos como licenças ambientais, monitoramento e fiscalização, o governo busca assegurar a conformidade das empresas com os padrões de gestão de resíduos. Contudo, o sistema de comando e controle, por si só, é insuficiente para resolver todos os desafios relacionados aos resíduos eletroeletrônicos, principalmente porque demanda grandes investimentos em infraestrutura e tecnologia, o que nem sempre está ao alcance de pequenas empresas.

j) Flexibilidade tecnológica e incentivos para inovação

A PNRS não especifica as tecnologias que devem ser utilizadas para a gestão de resíduos eletroeletrônicos, o que permite certa flexibilidade para as empresas. Essa ausência de uma diretriz tecnológica detalhada possibilita que o setor privado invista em pesquisa e desenvolvimento de soluções próprias, promovendo a inovação e a criação de tecnologias mais eficientes e economicamente viáveis.

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), por exemplo, oferece financiamento para empresas que investem em sustentabilidade e inovação, incluindo aquelas que trabalham com gestão de resíduos eletroeletrônicos. Iniciativas como o Programa de Apoio à Sustentabilidade das Micro e Pequenas Empresas (Pro Sustentável) do SEBRAE também incentivam a inovação em práticas sustentáveis.

k) Desafios e oportunidades para a inovação privada

Embora haja espaço para inovação, os custos associados ao desenvolvimento de novas tecnologias e processos para o tratamento de resíduos eletroeletrônicos são altos. Empresas que desejam investir em inovação precisam de recursos para financiar pesquisas, adquirir equipamentos avançados e formar mão de obra especializada. Além disso, a demanda por produtos reciclados ou tecnologias de reciclagem ainda é limitada, o que torna o retorno sobre o investimento um desafio para as empresas. Esse cenário leva algumas empresas a evitar investir em inovação, permanecendo com processos convencionais de descarte e gerenciamento de resíduos. Porém, a crescente conscientização ambiental e a demanda do consumidor por práticas mais sustentáveis representam oportunidades para o setor privado.

l) Crescimento populacional e aumento do consumo de eletrônicos

A população mundial ultrapassou oito bilhões de pessoas em 2022, segundo dados da Organização das Nações Unidas – ONU (2023), e essa expansão contribuiu diretamente para o aumento da demanda por produtos eletrônicos. Além disso, com o avanço da conectividade digital, mais pessoas têm acesso a dispositivos eletrônicos, sobretudo em países em desenvolvimento, onde o aumento na renda e a maior acessibilidade dos produtos impulsionam o consumo.

Esse crescimento constante é impulsionado pela rápida substituição de dispositivos, por exemplo, a vida útil média de smartphones sendo de apenas dois a três anos, e muitos dispositivos maiores, como computadores e TVs, também sendo substituídos com frequência.

m) Desafios de gerenciamento e destinação dos resíduos eletroeletrônicos

A gestão de resíduos eletroeletrônicos é desafiadora devido à complexidade dos materiais e componentes presentes nesses dispositivos. Em muitos casos, esses resíduos contêm metais valiosos, como ouro, prata e cobre, que poderiam ser reaproveitados, mas a maioria dos dispositivos eletrônicos também possui substâncias tóxicas, como chumbo, mercúrio e cádmio, que exigem tratamentos específicos e caros para evitar contaminação.

Atualmente, cerca de 17,4% dos resíduos eletroeletrônicos no mundo são reciclados de forma adequada, segundo o Global E-Waste Monitor (2024). Isso significa que mais de 80% dos resíduos eletrônicos acabam em aterros, são incinerados ou descartados de maneira inadequada, gerando danos ambientais significativos. Esse descarte irresponsável libera poluentes que contaminam o solo, a água e o ar, afetando a saúde humana e os ecossistemas. Além disso, muitos países em desenvolvimento não possuem infraestrutura ou regulamentação adequadas para o manejo desses resíduos, o que agrava o problema. Em países como os Estados Unidos e algumas nações da União Europeia, há regulamentações mais rígidas e sistemas de reciclagem mais avançados.

n) Projeções para o futuro e impactos ambientais

As projeções indicam que o volume de resíduos eletroeletrônicos continuará aumentando de maneira expressiva. A estimativa de 74 milhões de toneladas para 2030 é impulsionada tanto pelo aumento da população, quanto pela expansão do acesso a dispositivos eletrônicos nos países em desenvolvimento. A tendência de inovação rápida e de produtos com vida útil curta também contribuiu para essa situação, com novos modelos de celulares, tablets e computadores lançados a cada ano, incentivando o descarte prematuro de produtos ainda funcionais.

o) Necessidade de soluções e políticas globais

Para lidar com o aumento de resíduos eletroeletrônicos, é urgente que países adotem políticas mais eficazes e cooperem para estabelecer normas internacionais de reciclagem e manejo adequado desses resíduos. Políticas de logística reversa, em que fabricantes e distribuidores são responsáveis pelo descarte de seus produtos ao final de sua vida útil, são estratégias que podem reduzir a quantidade de resíduos descartados inadequadamente. Além disso, incentivos para a inovação tecnológica em reciclagem e a criação de infraestrutura para a coleta seletiva de eletrônicos são fundamentais para a mitigação desse problema.

Programas educacionais e de conscientização também desempenham um papel importante para aumentar a taxa de reciclagem e reduzir o consumo desnecessário, incentivando uma economia circular na qual os produtos sejam reparados, reutilizados e reciclados de maneira eficiente. Iniciativas globais, como as metas da ONU para o desenvolvimento sustentável e o apoio a práticas de economia circular, podem auxiliar na coordenação desses esforços e reduzir as disparidades entre os países em termos de capacidade de gestão de resíduos eletroeletrônicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir de uma política séria e de valorização e incentivo às práticas de coleta, reaproveitamento e destinação dos resíduos eletroeletrônicos, pode-se obter o caminho ideal para a diminuição desse material no ambiente, pois sugere uma dinâmica socioambiental mais articulada com a sustentabilidade.

O incentivo às práticas sustentáveis da reutilização e reciclagem de resíduos eletroeletrônicos para a fabricação de outros itens, ou ainda para outras funcionalidades, diminuiria a necessidade de novas matérias-primas.

O instrumento da logística reversa é de fundamental importância para a concretização das metas previstas na Lei dos resíduos, por obrigar os atores (produtores e consumidores) a cumprirem com as suas responsabilidades e reconhecerem que a participação de todos é necessária para garantir o sucesso do gerenciamento.

O aumento crescente da produção de resíduos eletroeletrônicos no Brasil acendeu um alerta para o surgimento e/ou agravamento de problemáticas socioambientais que, se não forem diagnosticadas e tratadas, poderão causar danos irreversíveis ao planeta.

O aproveitamento energético por meio do reaproveitamento das matérias-primas presentes nos resíduos eletroeletrônicos para a fabricação de novos produtos vem se mostrando uma alternativa rentável e viável para empresários desse ramo.

A inserção de uma economia mais sustentável trouxe a possibilidade de reciclar e vender artigos oriundos de um resíduo eletroeletrônico, surgindo uma nova categoria de comércio que valoriza esse tipo de material, agregando valor e fazendo convergir para as premissas de uma economia verde, ainda que em desenvolvimento.

A dinâmica socioambiental, aliada ao processo de logística reversa de produtos do comércio eletroeletrônico, apresenta alguns desafios: muitos produtos retornam de forma indevida ou sem necessidade ao ambiente; após o retorno, os produtos são triados de forma inadequada e sem controle de gestão; e o tempo no processo de recuperação de valor do produto é excessivo.

O crescimento desenfreado dos resíduos eletroeletrônicos no mundo representa um dos principais desafios ambientais e sociais da atualidade. Com estimativas de geração de milhões de toneladas por ano, a gestão sustentável desses resíduos é essencial para proteger o meio ambiente e a saúde pública.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Pedro Henrique. *Impactos ambientais da disposição inadequada de resíduos eletroeletrônicos no estado do Pará*. 2021. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2021.

ALVES, Lidiane Aparecida; SILVA, Adriano Reis de Paula e; PIMENTEL, Luana Rodrigues. Resíduos eletroeletrônicos: considerações sobre a logística reversa e sobre a política nacional de resíduos sólidos. *Boletim de Geografia*, v. 34, n. 3, p. 16-29, 2 maio 2017.

ARAÚJO, Ana Carolina de; MATSUOKA, Érica Mayumi; UNG, July Ellen; HILSDORF, Wilson de Castro; SAMPAIO, Mauro. Logística reversa no comércio eletrônico: um estudo de caso. *Gestão e Produção*, São Carlos, v. 20, n. 2, p. 303-320, 2013.

Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos (ABETRE). *Panorama nacional da produção de resíduos eletrônicos no Brasil*. Disponível em: <http://www.abetre.org.br/>. Acesso: 02 out. 2023.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil- 2014*. Disponível em: www.abrelpe.org.br. Acesso em: 26 out. 2023.

AQUINO, Ítalo Ruan Barbosa de; SILVA JUNIOR, Josenildo Ferreira da; GUARNIERI, Patrícia; CAMARA E SILVA, Lúcio. A Proposição de um Modelo Matemático para a Localização de Pontos de Coleta de Resíduos Elétricos e Eletrônicos. *Sustentabilidade* 13, n. 1: 224, 2021.

BALBUENO, Lais Ribeiro, TIBURTINO-SILVA, Lorene Almeida; NOGUEIRA, Micaella Lima; MACIEL, Josemar de Campos; COSTA, Reginaldo Brito da. Tratamento de resíduos sólidos no município de Bonito, Mato Grosso do Sul, Brasil, correlacionado com dados externos. *Interações: Revista Internacional de Desenvolvimento Local*, Campo Grande, MS, v. 22, n. 3, p. 883-905, jul./set. 2021.

BALDÉ, Cornelis P.; KUEHR, Ruediger; YAMAMOTO, Tales; MCDONALD, Rosie; D'ANGELO, Elena; ALTHAF, Shahana; BEL, Garam; DEUBZER, Otmar; FERNANDEZ-CUBILLO, Elena; FORTI, Vanessa; GRAY, Vanessa; HERAT, Sunil; HONDA, Shunichi; IATTONI, Giulia; KHETRIWAL, Deepali S.; CORTEMIGLIA, Vittoria Luda di; LOBUNTSOVA, Yuliya; NNOROM, Innocent; PRALAT, Noémie; WAGNER, Michelle. International Telecommunication Union (ITU) and United Nations Institute for Training and Research (UNITAR). *Global E-waste Monitor*, Geneva/Bonn, 2024. Disponível em: <https://unitar.org/about/news-stories/press/global-e-waste-monitor-2024-electronic-waste-rising-five-times-faster-documented-e-waste-recycling> . Acesso em: 26 jan. 2025.

BRASIL. LEI Nº 9795, de 27 de abril de 1999. *Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências*. Brasília, DF, 1999.

BRASIL. LEI Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei 9605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências*. Brasília, DF, 2010.

BRASIL. LEI Nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília: DOU 11/01/2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). *Plano Nacional de Resíduos Sólidos*, 2012. Disponível em: https://sinir.gov.br/images/sinir/Arquivos_diversos_do_portal/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf. Acesso em: 22 mar. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). *Resíduos Sólidos*, 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos>. Acesso em: 27 out. 2021.

COÊLHO, Diego Henrique Damasceno; CORRÊA, Camila Braga; RIBEIRO, Flávio Carvalho; COHEN, Claude Adélia Moema Jeanne. Capitalismo verde e Justiça distributiva no descarte de resíduos eletroeletrônicos. *Research, Society and Development*, v. 10.3, 2021.

FORTI, V., BALDÉ, C. P., KUEHR, R., e BEL, G. *The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows, and the circular economy potential*. United Nations University, International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association, 2020. Disponível em: <https://www.ewastemonitor.info/>. Acesso em: 31 out. 2024.

GONÇALVES, Marcelo; SANTOS, Ana Cláudia. *Gestão de resíduos eletroeletrônicos: desafios e perspectivas no Brasil*. 2. ed. São Paulo: Editora Sustentabilidade, p. 250, 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Pesquisa Industrial Mensal Produção Física – Regional (PIM-PF)*, 2017. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/industria/pimpf/regional/>. Acesso em: 27 out. 2023.

International Telecommunication Union (ITU). *Environmental Sustainability & E-waste Management*, 2021. Disponível em: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Pages/ewaste.aspx>. Acesso em: 31 out. 2024.

LAURENT, Alexis; BAKAS, Ioannis; CLAVREUL, Julie; BERNSTAD, Anna; NIERO, Monia; GENTIL, Emmanuel; HAUSCHILD, Michael Z.; CHRISTENSEN, Thomas H.. Review of LCA studies of solid waste management systems – Part I: Lessons learned and perspectives. *Waste Management*, n. 34, p. 573–588, 2014. Disponível em: www.elsevier.com/locate/wasman. Acesso em: 27 out. 2024.

LIZ, Mariane Souza Melo de; NUNES, Aline; TEDESCO, Mariana; JAINES, Hayana dos Santos. Responsabilidade socioambiental da coleta seletiva de resíduos sólidos no município de Lages/sc. *Revista Geográfica Acadêmica*, Santa Catarina, ed. 13.1, p. 74-89, 2019.

MANZINI, E.; VEZZOLLI, C. *O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005.

MARX, Karl. *O Capital: Crítica da economia política: Livro I: O processo de produção do capital*. Tradução: Rubens Enderle. -2. ed. – São Paulo: Boitempo, 2017.

MENIKPURA, S. N. M.; SANTO, Atsushi; HOTTA, Yasuhiko. Assessing the climate co-benefits from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) recycling in Japan. *Journal of Cleaner Production*, 2014.

ORLINS, Sabrina; GUAN, Dabo. China's toxic informal e-waste recycling: local approaches to a global environmental problem. *Journal of Cleaner Production*, v. 114, p.71-80, 2016.

RICHTER, Marc François et al. RESÍDUOS ELETRÔNICOS: Efeitos na saúde humana, impacto ambiental e potencial econômico. *HOLOS*, v. 5, 2022.

ROCHA, Tiago Barreto; PENTEADO, Carmenlucia Santos Giordano. Impactos e benefícios ambientais do gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos. *LALCA: Revista Latino-Americana em avaliação do ciclo de vida* 1.2 Esp. 78, 2017.

ROSA, R.de A. *Gestão Logística*. Brasília: CAPES, 2010.

SANTOS, Jaqueline Leal dos; SANTOS, Crislaine Aparecida Pereira dos. Educação ambiental como instrumento do saneamento em comunidade quilombola, entre rios – BA. *Rev. Geogr. Acadêmica*, p. 121 – 134, v. 15, n. 2, 2021.

SPITZCOVSKY, Débora. ONU lança primeiro mapa global de lixo eletrônico. Exame, Dez. 2013. *Coluna mundo*. Disponível em: <https://exame.com/mundo/onu-lanca-primeiro-mapa-global-de-lixo-eletronico/>. Acesso em: 18 out. 2024.

SHUAIB, N.; MATIVENGA, P. (2016). Energy demand in mechanical recycling of glass fibre reinforced thermoset plastic composites. *Journal of Cleaner Production*, 120, 198-206. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.01.070.

SILVA, João Paulo; COSTA, Maria Clara. A logística reversa de resíduos eletroeletrônicos no contexto da economia circular. *Revista de Gestão Ambiental*, v. 12, n. 4, p. 345-360, 2022.

SILVA, Eduardo José. Políticas públicas para o tratamento de resíduos eletroeletrônicos no Brasil. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE SUSTENTABILIDADE*, 7., 2023, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: CBS, p. 120-130, 2023.

SINGH, N., HUI, D., SINGH, R., AUJA, I. P. S., FEO, L., e FRATERNALI, F. Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. *Composites Part B*, 115(C), 409-422. DOI: 10.1016/j.compositesb.2016.09.013, 2017.

SOUZA, Neemias Silva de; FELIPE, Renata Carla Tavares dos Santos; FELIPE, Raimundo Nonato Barbosa; LIMA, Nathana Luíza Pinto de. Resíduos Sólidos Industriais: Compósito com resíduos de plástico reforçado com fibra de vidro. *Research, Society and Development*, 2020: E520997136. Acesso em: 10 mar. 2024.

SOUZA, Camila; OLIVEIRA, Fernanda. A reciclagem de resíduos eletroeletrônicos e seus benefícios econômicos e ambientais. *Revista Eletrônica de Sustentabilidade*, v. 8, n. 2, p. 98-112, 2023. Disponível em: <https://revistasustentabilidade.com.br/v8n2/reciclagem.html>. Acesso em: 15 out. 2024.

SUGAHARA, Cibele Roberta; FERREIRA, Denise Helena Lombardo; PRANCIC, Eduard. Saneamento básico em tempos de pandemia de covid-19 no Brasil. *Geoambiente On-line* 41 (2021): *Geoambiente On-line*, 2021-12-08 (41). Disponível em: <https://portalufj.jatai.ufg.br/>. Acesso em: 15 out. 2024.

THOMAS, Jennifer Ann. *Lixo eletrônico: O que é e como descartá-lo corretamente*. Um só planeta, Consumo Consciente, online, novembro, 2021.

TURNER, Andrew; FILELLA, Montserrat. Bromine in plastic consumer products – Evidence for the widespread recycling of electronic waste. *Science of the Total Environment*, v. 601-602, p. 374-379, 2017.

United States Environmental Protection Agency (EPA). *Clean Electronics Production and E-Waste*, 2020. Disponível em: <https://www.epa.gov/international-cooperation/clean-electronics-production-and-e-waste>. Acesso em: 10 out. 2024.

VÍTOR, GA.; LANDO, GA.; DUARTE, C. de AL.; MARQUES, D. de AV.; D'ANGELO, IB de M.. Título saúde e saneamento no Brasil: uma revisão narrativa sobre a associação das condições de saneamento básico com doenças de veiculação hídrica. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, [S. l.], v. 10, n. 15, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i15.22913. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/22913>. Acesso em: 15 mar. 2024.

WIDMER, R. (et al.). Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review (Elsevier)*, v. 25, p. 436-458, 2006.

World Health Organization (WHO). Children and Digital Dumpsites: E-waste exposure and child health. *World Health Organization*, 2021. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240023901>. Acesso em: 25 out. 2024.

World Economic Forum (WEF). (2019). A New Circular Vision for Electronics – *Time for a Global Reboot*, 2019. Disponível em: <https://www.weforum.org/reports/a-new-circular-vision-for-electronics-time-for-a-global-reboot>. Acesso em: 25 out. 2024.

ZENG, Xianlai; YANG, Congren; CHIANG, Joseph F.; LI, Jinhui. Innovating e-waste management: From macroscopic to microscopic scales. *Science of the Total Environment*, v. 575, p.1-5, 2017.