

LIXO ELETRÔNICO: RISCOS, OPORTUNIDADES E PROPOSTAS DE SOLUÇÕES

ELECTRONIC WASTE: RISKS, OPPORTUNITIES AND PROPOSED SOLUTIONS

Rui Árabe Saraiva*  E-mail: ruiarabe@id.uff.br
Iara Tammela*  E-mail: iaratammela@id.uff.br
Flávio Silva Machado*  E-mail: flaviomachado@id.uff.br
Guido Vaz Silva*  E-mail: guido_vaz@id.uff.br
*Universidade Federal Fluminense (UFF), Rio das Ostras, RJ, Brasil.

Resumo: O lixo eletrônico é considerado um dos tipos de resíduos que mais cresce no mundo, e traz preocupações por possuir componentes tóxicos, que podem causar doenças e contaminar o meio ambiente, caso não tenha o tratamento adequado, por outro lado pode trazer benefícios com a reciclagem e reinserção na cadeia produtiva. O objetivo desta pesquisa é apresentar os riscos, oportunidades e as soluções encontradas em diversas regiões do Brasil e de outros países para lidar com este problema, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). O trabalho está subdividido em quatro partes: a) introdução – traz uma visão geral do tema; definições dos principais termos; leis importantes voltadas para resíduos sólidos e lixo eletrônico; as causas da aceleração da geração desses resíduos; identificação de lacunas e o objetivo da pesquisa; b) metodologia – é apresentada a metodologia escolhida – Revisão Sistemática da Literatura; c) apresentação dos resultados - após definidos os textos selecionados para leitura integral, é realizada a análise desses textos para se encontrar: concordâncias, divergências, aspectos únicos sobre o tema pesquisado e explorar algumas lacunas da literatura; e d) finalmente são apresentadas as considerações finais da pesquisa, com as limitações e sugestões para pesquisas futuras.

Palavras-chaves: Lixo eletrônico. Resíduos Sólidos. Reciclagem. Gestão do lixo eletrônico

Abstract: E-waste is considered one of the fastest growing types of waste in the world, and it raises concerns because it has toxic components, which can cause disease and contaminate the environment, if it is not properly treated, on the other hand it can bring benefits such as recycling and reintegration into the production chain. The objective of this research is to present the risks, opportunities and solutions found in different regions of Brazil and other countries to deal with this problem, through a Systematic Literature Review (SLR). The work is subdivided into four parts: a) introduction – provides an overview of the theme; definitions of key terms; important laws focused on solid waste and e-waste; the causes of the acceleration of the generation of this waste; identification of gaps and the purpose of the research; b) methodology – the chosen methodology is presented – Systematic Literature Review; c) presentation of the results - after defining the selected texts for full reading, the analysis of these texts is carried out to find: agreements, divergences, unique aspects about the researched theme and to explore some gaps in the literature; and d) finally, the final considerations of the research are presented, with limitations and suggestions for future research.

Keywords: Electronic waste. Solid Waste. Recycling. Electronic Waste Management.

1 INTRODUÇÃO

O consumo de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (EEE) teve um crescimento acentuado nos últimos anos, em função do avanço da tecnologia, o que permitiu a produção de equipamentos com ciclos de vida mais curtos por inovações seguidas, que favorecem a troca por produtos mais atualizados. O mercado para novos produtos alcançou uma escala global, devido a evolução rápida da eletrônica, tecnologia de informação e telecomunicações. A consequência dessa busca interminável, por equipamentos mais tecnológicos e inovadores, é o descarte daqueles itens que podem ainda estar operacionais, mas que já não atendem às necessidades dos consumidores. Esses equipamentos descartados (inservíveis ou obsoletos) são denominados lixo eletrônico ou **e-waste** ou ainda resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos - **Waste Eletric and Eletronic Equipment** (WEEE) (Azevedo *et al.*, 2017; Kumar *et al.*, 2017, Tansel, 2017).

De acordo com a publicação especializada “**The-Global-E-waste-Monitor**”, houve um crescimento da geração de lixo eletrônico no mundo de 9,2 Mt (Mega tonelada) de 2014 a 2019, passando de 44,4 Mt para 53,6 Mt. O problema do lixo eletrônico tem uma abrangência global e o Brasil tem uma colocação de destaque na geração desses resíduos na América do Sul, com 2.143 kt (quilo tonelada) em 2019, sendo o maior gerador dessa região (Forti *et. al.*, 2020).

Em agosto de 2010, foi promulgada no Brasil a Lei 12.305 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Brasil, 2010). A PNRS engloba o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações aplicadas pelo governo federal, de forma individual ou em regime de cooperação com estados, distrito federal, municípios ou particulares, com objetivo de se implementar a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos (ABDI, 2013).

Mais recentemente, com a publicação do decreto nº 10.240 (Brasil, 2020), que estabelece normas para a implementação de sistema de logística reversa obrigatória de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes, pôde-se iniciar uma nova fase na coleta, tratamento e destinação desse tipo de resíduo sólido.

Conforme observado por Oliveira *et al.* (2021), o descarte incorreto dos resíduos sólidos, de forma geral, se apresenta como um grande problema em função de prejudicar a saúde humana e contaminar o meio ambiente.

Segundo Borthakur (2020), há uma escassez de estudos sobre governança de lixo eletrônico e quando existem, estão limitados a alguns poucos países desenvolvidos que passam a ser como **benchmark** para os países emergentes ou em desenvolvimento.

Nota-se também que muitos países em desenvolvimento ainda sofrem com grandes quantidades de lixo eletrônico exportados para seus países, oriundos de países desenvolvidos (Kumar *et al.*, 2017). A infraestrutura para coleta e separação de lixo eletrônico não é adequada; há grande presença de empresas informais, com risco às pessoas e ao meio ambiente; faltam incentivos financeiros para as empresas formais de reciclagem, que não conseguem competir com as informais; falta regulamentação adequada; há geração de grandes volumes e grande variedade de lixo eletrônico (Tansel, 2017; Liu *et al.* 2016; Işildar *et al.* 2018).

Assim sendo, percebe-se que existe uma lacuna de estudos e pesquisas referentes à governança do lixo eletrônico, principalmente em países em desenvolvimento, como o Brasil, levando a seguinte pergunta da pesquisa: Como podemos diminuir a lacuna de conhecimento da gestão de lixo eletrônico em países em desenvolvimento, especialmente no Brasil?

O objetivo geral desse artigo é buscar na literatura informações sobre os riscos, oportunidades e propostas de soluções para lidar com o problema do lixo eletrônico, para aplicação local, nos municípios brasileiros, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Para alcançar este objetivo geral foi definido o seguinte objetivo específico: identificar os modelos de gestão (fluxos e esquemas) e iniciativas para o tratamento adequado do lixo eletrônico no Brasil e em outros países.

Este artigo foi desenvolvido a partir da realização de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre o tema do lixo eletrônico, em função da identificação da sua relevância e da oportunidade de disseminar conhecimento no mundo acadêmico e trazer benefícios para a sociedade local. A RSL visa encontrar o máximo possível de publicações relevantes para as questões de pesquisa específicas. Em resumo, a RSL tem como principais características: a) métodos explícitos e transparentes; b) um conjunto padrão de estágios; c) é responsável, replicável e atualizável; d) há um requisito de envolvimento do pesquisador para garantir que os relatórios sejam relevantes e úteis (EPPI CENTRE; 2022).

Esta pesquisa se justifica por trazer contribuições nas áreas: acadêmica e prática. A contribuição acadêmica visa lançar luz sobre um problema que ainda é crescente em nosso país e no mundo, principalmente nos países em desenvolvimento, que é a geração de lixo eletrônico, e pode servir como referência para outros estudos sobre o tema através de uma RSL. Há uma contribuição prática para a sociedade, porque busca informações capazes de auxiliar nas ações do poder público, para permitir formas viáveis de entrega ou coleta dos recicláveis e assim evitar danos ao meio ambiente e às pessoas, bem como ajudar os municípios brasileiros a realmente implementar a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), promulgada em 2010.

O problema de como lidar com equipamentos eletroeletrônicos em fim de vida útil, é urgente, pois volumes cada vez maiores de resíduos são gerados, e caso não sejam descartados corretamente, podem trazer riscos de contaminação ao meio ambiente e causar doenças nas pessoas.

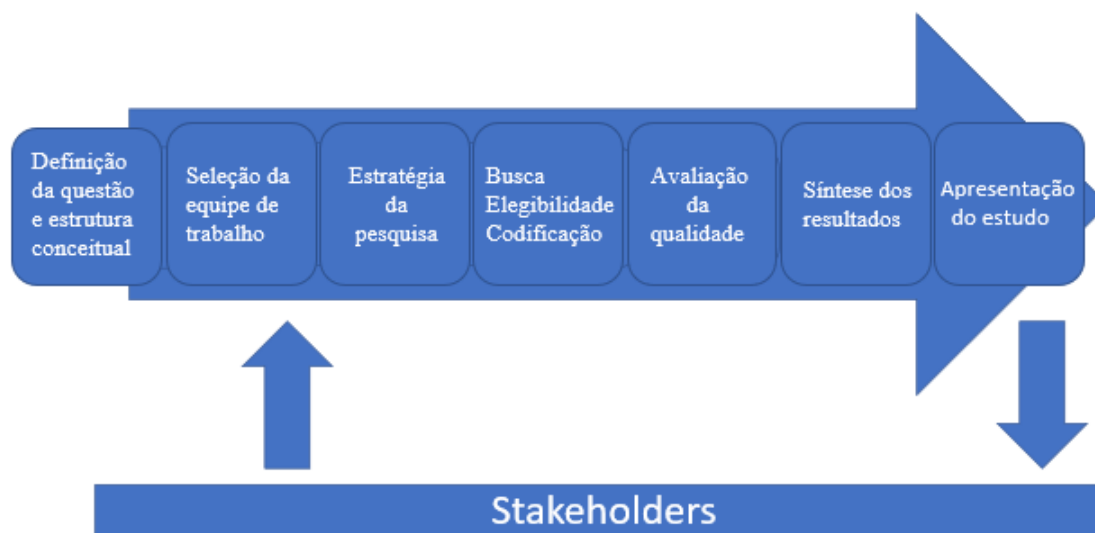
Neste artigo serão apresentados os resultados e achados identificados na RSL, por meio de: a) informações sobre riscos e oportunidades; b) modelos de logística reversa; c) soluções globais; d) proposições de soluções para o Brasil. Finalmente serão feitas as considerações finais, com a contribuição trazida pela pesquisa, suas limitações e propostas para pesquisas futuras.

2 METODOLOGIA

A RSL é um estudo secundário, porque tem por base a revisão de estudos primários sobre determinado assunto. A partir de uma sequência estruturada de passos, permite a comparação dessas pesquisas anteriores para se encontrar congruências, divergências e possíveis lacunas em relação ao tema pesquisado. Também por meio da RSL é possível avaliar a qualidade dos textos analisados (Eppi Centre; 2022; Kitchenham, 2004; Tranfield *et al.* 2003). A pesquisa é denominada sistemática porque é realizada de acordo com um método explícito, planejado, responsável e justificável, à semelhança das expectativas dos estudos primários (Dresch *et al.*, 2015). As vantagens da metodologia de revisão sistemática residem no rigor e na transparência do processo (Dixon-Woods *et al.* 2006).

Para o desenvolvimento da RSL foram aplicadas as 7 etapas propostas por Dresch *et al.* (2015), conforme figura 1.

Figura 1 – Método para RSL



Fonte: (Dresch *et al.*, 2015, p. 132).

- Etapa 1: Nesta etapa, foram definidos: o tema central, a estrutura conceitual e a questão central da pesquisa. A estrutura conceitual da pesquisa, cujo tema é o lixo eletrônico, foi desenvolvida a partir da leitura das primeiras publicações que traziam alguns pontos recorrentes, tais como: a crescente geração de lixo eletrônico, os problemas relacionados ao risco às pessoas e ao meio ambiente, a possibilidade de reciclagem e geração de valor, as legislações e o comportamento do consumidor (Parajuly, *et al.*, 2020; Wang *et al.* 2016; Forti *et al.*, 2020; Ahirwar *et al.*, 2021; Rautela *et al.*, 2021; Brasil, 2010).

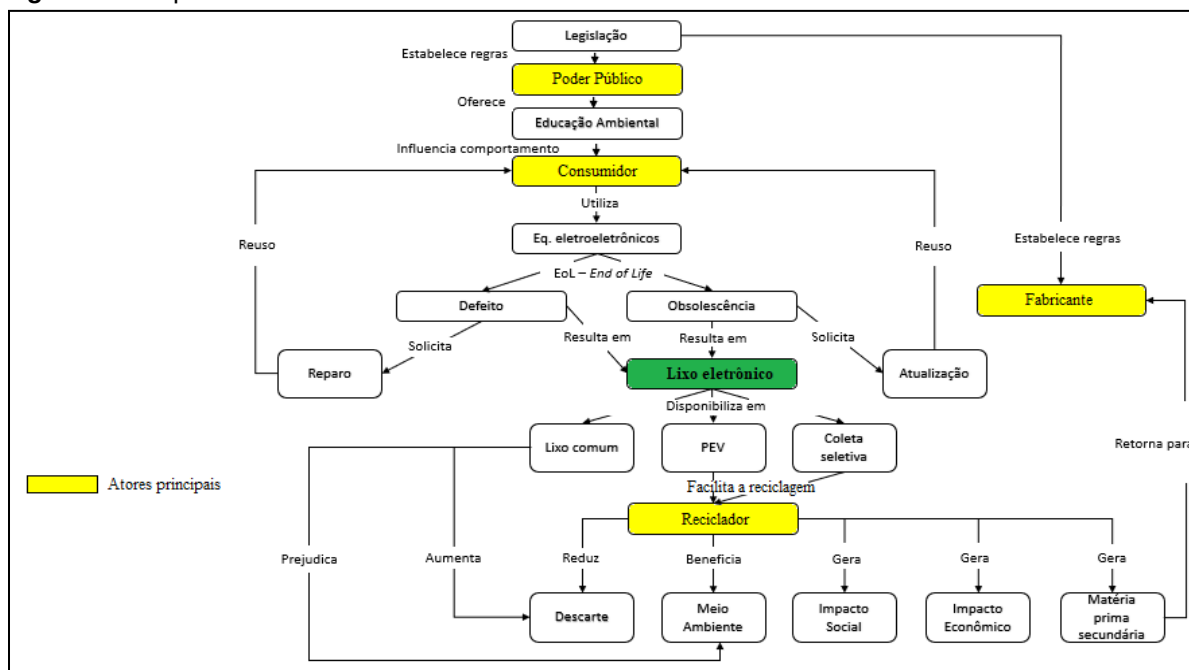
Foi apresentada a questão central da pesquisa: Como podemos diminuir a lacuna de conhecimento da gestão de lixo eletrônico em países em desenvolvimento, especialmente no Brasil?

- Etapa 2: A equipe de trabalho, foi constituída pelo próprio autor da pesquisa e professores, com a função de orientação, formalizados pela universidade.

Foi elaborado um mapa conceitual como uma forma de se fazer associações das diversas relações entre os principais públicos de interesse e indicar ações necessárias e possíveis, para se chegar a um entendimento de quais fatores ou aspectos seriam mais relevantes para as buscas na literatura. Com o exercício da

construção do mapa conceitual da figura 2 foram definidas as palavras-chaves e conectores booleanos mais adequados para começar a RSL.

Figura 2 – Mapa Conceitual do Lixo Eletrônico



Fonte: Autoria própria.

•Etapa 3: Foi elaborado o quadro 1 (Apêndice A), com o protocolo para estratégia de busca, conforme abordagem de Dresch *et al.* (2015). Em outubro de 2021 foram realizadas quatro buscas na base Scopus com palavras-chaves alinhadas com o foco em alternativas para a gestão correta do lixo eletrônico, a saber: a) 1ª busca: “e-waste” or. “WEEE”; b) 2ª busca: “e-waste” or. “WEEE” and “polic*” or “strateg*”; c) 3ª busca: “e-waste” or. “WEEE” and “Brazil”; d) 4ª busca: “e-waste management” or. “WEEE management”.

•Etapa 4: Foi realizada uma seleção dos 20 textos mais citados, extraídos da Base Scopus por ciclo de busca. Foram excluídas as publicações em duplicidade e após as leituras dos títulos e resumos e leitura integral dos textos, foram excluídos aqueles que não apresentaram relevância para a pesquisa (Tabela 1). O quadro 2 (Apêndice B), apresenta a codificação elaborada com as principais perguntas relacionadas ao tema. Após os textos selecionados terem sido lidos de forma integral, foi identificado a quais perguntas cada texto satisfaz. O preenchimento do quadro foi concluído com a totalização de publicações, que responderam positivamente a cada questão.

Tabela 1- Resumo das quantidades de documentos selecionados

Resultados das buscas sobre e-waste - Base Scopus						
Palavras-chaves	Data da consulta	Total de textos	Textos pré-selecionadas	Seleção sem duplicadas	Seleção (após leitura do título e resumo)	Seleção após leitura integral
E-waste or WEEE	11/10/2021	7682	20	20	16	9
E-waste or WEEE and polic* or strateg*	11/10/2021	1456	20	15	12	10
E-waste or WEEE and Brazil	11/10/2021	72	20	19	15	15
"E-waste management" or "WEEE and management"	12/10/2021	576	20	8	8	5
Total	-	9786	80	62	51	39

Fonte: Autoria própria.

•Etapa 5: Foram avaliados possíveis vieses por meio da comparação de textos correlatos para se identificar se houve algum tipo de tendência na condução do texto, seja por localização geográfica (nações em desenvolvimento ou desenvolvidas), autores reconhecidos ou novatos, entre outros. Depois foi avaliada a qualidade dos documentos, em relação ao propósito da pesquisa e fundamentação nas questões criadas para o guia de códigos da etapa 4. Ainda, na etapa 5, foi realizada uma combinação dos resultados obtidos, pelas leituras dos documentos selecionados e posterior comparação, para se fazer uma apuração de similaridades e identificar discrepâncias, além de possíveis lacunas nos conteúdos estudados, por meio dessa análise qualitativa dos conteúdos (Dresch *et al.* 2015).

Todos os 39 artigos selecionados trouxeram contribuições, com apresentação de soluções, para o problema do lixo eletrônico. A maioria respondeu a pelo menos 4 perguntas das 5 elaboradas. Pode-se concluir pela análise do quadro 2 (Apêndice B), que o conteúdo selecionado está de acordo com o objetivo proposto.

•Etapa 6: Foram analisadas as evidências identificadas na etapa anterior e pela avaliação dos dados extraídos, foram feitas a interpretação e a síntese do que foi obtido.

•Etapa 7: Com os dados consolidados na etapa anterior, foram apresentados os resultados da pesquisa, na seção 3 deste artigo.

3 RSL - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Após a leitura final das 51 publicações, restaram 39 textos (Apêndice C) para desenvolvimento do trabalho. As 39 publicações selecionadas trouxeram dados e informações relevantes, para lidar com o problema do lixo eletrônico. Nesta seção, os textos foram analisados e avaliados, com sua interpretação e síntese, conforme proposto por Dresch *et al.* (2015).

3.1 Síntese dos artigos encontrados na RSL

3.1.1 Lixo eletrônico – Riscos e Oportunidades

Os riscos e oportunidades associados ao lixo eletrônico são apresentados na tabela 2. Alguns metais, plásticos, vidro e elementos raros estão presentes no lixo eletrônico, que são recursos secundários valiosos. A riqueza do lixo eletrônico não deve ser ignorada. Estimativas sugerem que um tubo de raios catódicos típico de TV carrega aproximadamente 450 g de Cu, 227 g de Al e 5,6 g de Au (Zeng *et al.*, 2018, *apud* Ahirwar *et al.*, 2021). Da mesma forma, uma tonelada métrica de resíduos de computadores pessoais pode gerar mais ouro do que a recuperada de 17 toneladas métricas de minério de ouro (Bleiwas; Kelly *Apud* Ahirwar *et al.*, 2021).

As atividades convencionais de reciclagem de lixo eletrônico têm como objetivo principal a recuperação de materiais úteis e facilmente extraíveis, como metais que estão presentes em um conteúdo relativamente alto (Baccini; Brunner, 2012 *apud* Ahirwar *et al.*, 2021). Apesar dos desafios na gestão eficaz do lixo eletrônico, a reciclagem do lixo eletrônico tem beneficiado tanto o meio ambiente quanto a saúde humana (Ahirwar *et al.*, 2021).

Tabela 2 - Oportunidades e problemas para o desenvolvimento de uma gestão sustentável do e-waste

Item	Oportunidades e benefícios	Problemas e riscos
1	O lixo eletrônico é uma rica fonte de até 60 metais valiosos e preciosos, incluindo Au, Ag, Cu, Pd, Al e Fe	Alto volume e complexidade do lixo eletrônico: eliminação inadequada do lixo eletrônico junto com o lixo doméstico pode contaminar o meio ambiente através da lixiviação do lixo eletrônico no solo e na água, ou emissão de contaminantes no ar durante a incineração
2	Criar trabalhos adicionais para apoiar a economia	Falta de conscientização ambiental e conhecimento sobre coleta de lixo eletrônico
3	Os graus médios de metal em vários itens eletrônicos são melhores do que em minérios escavados em minas	Forte controle da “coleta formal externa” ou atuação do setor informal no lixo eletrônico doméstico, que normalmente tem menor eficiência e maiores custos ambientais
4	Prevenir a poluição ambiental, mantendo componentes perigosos do lixo eletrônico longe dos aterros sanitários, e, assim diminuir os riscos associados com o descarte	Falta de políticas sobre eficiência da coleta e reciclagem de resíduos na maioria dos países
5	Reduzir o acúmulo de lixo eletrônico, promovendo coleta, reutilização e reciclagem	Implementação ineficaz de regulamentos promulgados e estrutura legislativa sobre gestão de lixo eletrônico
6	Reduzir o esgotamento rápido dos recursos naturais, fornecendo matérias-primas secundárias	Falta de instalações formais de reciclagem em número suficiente ao redor do globo
7	Reduzir as emissões de gases de efeito estufa e pegada de carbono e fornecer economia significativa de energia com a redução da mineração virgem	Faltam vantagens competitivas para o setor formal em relação ao informal
8	Oferecer gestão ambientalmente correta de resíduos	Projeto complexo e fabricação compacta de EEE

Fonte: Adaptado de Kumar *et al.*, (2017); Wang *et al.*, (2017) apud Ahirwar *et al.* (2021, p. 8).

Conforme mostrado na tabela 2, apesar de apresentar diversos problemas e riscos, tanto no manuseio, quanto em seu processo de coleta e reciclagem, o lixo eletrônico possui diversos componentes que podem ser valiosos, entre plásticos e vários metais, inclusive alguns raros. A tabela 3 apresenta um levantamento feito em 2016 (Baldé *et al.* 2017) com as quantidades e valores potenciais das matérias-primas contidas em resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos. Abaixo é ressaltado o potencial positivo do lixo eletrônico:

“Até 60 elementos da tabela periódica podem ser encontrados em equipamentos eletrônicos complexos e muitos deles são tecnicamente recuperáveis, embora existam limites econômicos definidos pelo mercado. WEEE contém metais preciosos, como

ouro, prata, cobre, platina e paládio, mas também incluem materiais volumosos e valiosos, como ferro e alumínio, bem como plásticos, que podem ser reciclados. No geral, a ONU avalia a perspectiva de recuperação de recursos de matérias-primas secundárias, contidas em resíduos de equipamentos produtos elétricos e eletrônicos no valor de 55 bilhões de euros (Balde *et al.* 2017, p. 54)”

Tabela 3- Valor presente no fluxo do lixo eletrônico

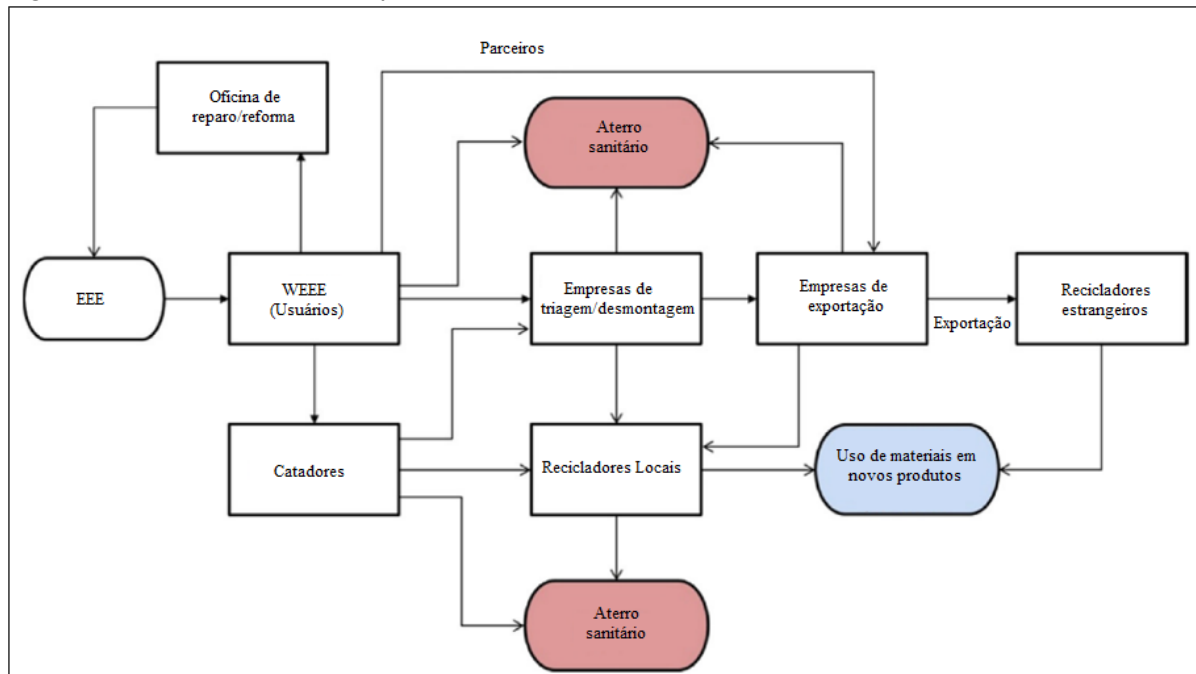
Material	Quantidade (kt)*	Valor (milhões de Euros)
Ferro	16.283	3.582
Cobre	2.164	9.524
Alumínio	2.472	3.585
Prata	1,6	884
Ouro	0,5	18.840
Paládio	0,2	3.369
Plásticos	12.230	15.043

Fonte: Adaptado de Baldé *et al.* (2017, p. 54). *kt (kilotonnes = quilotonelada = 10³ t).

3.1.2 Lixo eletrônico – Modelos

O modelo de Dias *et al.* (2018) apresentado na figura 3, traz os possíveis caminhos para o lixo eletrônico no Brasil, divididos entre usuários, catadores, empresas e recicladores.

Figura 3 – Possíveis caminhos para o lixo eletrônico no Brasil

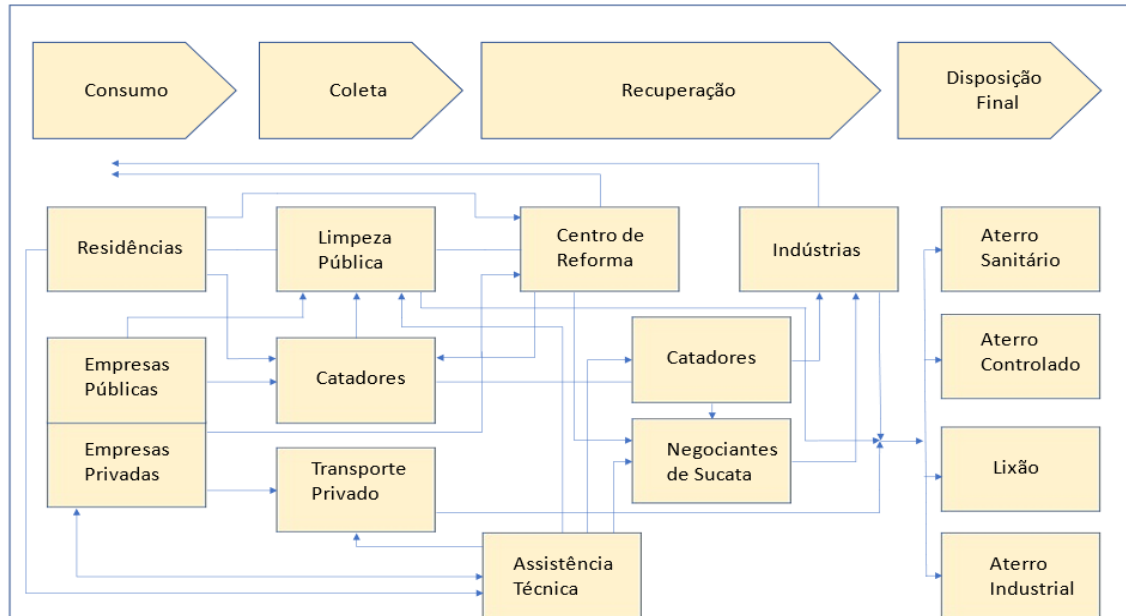


Fonte: Adaptado de Dias *et al.* (2018).

Guarnieri *et al.* (2016) apresentaram um esquema de logística reversa para o lixo eletrônico (figura 4), onde pode-se observar semelhanças em relação ao fluxo

apresentado por Dias *et al.* (2018) para tratamento do lixo eletrônico. Nos dois fluxogramas há a presença da oficina de reparo ou assistência técnica para buscar a recuperação do equipamento defeituoso, ou desatualizado.

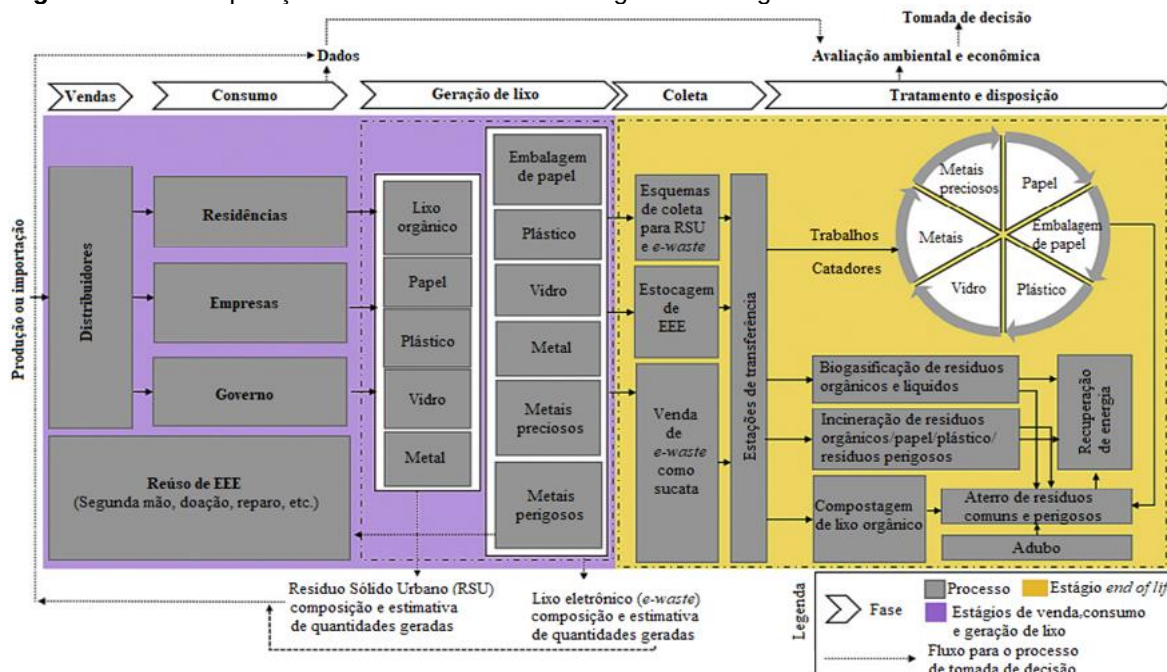
Figura 4 - Logística reversa de **e-waste** no Brasil.



Fonte: Adaptado de FEAM (2009) apud Guarnieri et.al. (2016).

Ikhlayel (2018) fez uma proposição de um sistema de coleta e tratamento integrado de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e *e-waste* (lixo eletrônico) pelos municípios, com foco em países em desenvolvimento (figura 5). A vantagem deste sistema, é que pode ser aproveitada toda a infraestrutura existente no município, tais como: coleta, aterros sanitários e instalações de reciclagem.

Figura 5 – Proposição de um sistema integrado de gerenciamento de RSU e e-waste

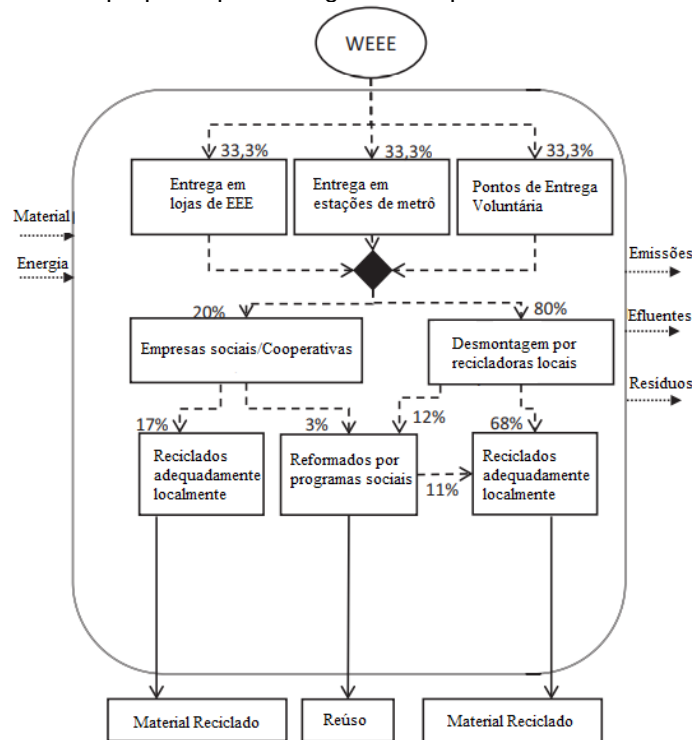


Fonte: Adaptado de Ikhlal (2018).

Souza *et al.* (2016) propõem um sistema híbrido para coleta e pré-tratamento de WEEE na região metropolitana do Rio de Janeiro (figura 6), com três entradas definidas: pontos em lojas de varejo, estações de metrô e pontos de entrega voluntária nas vizinhanças do centro.

Na configuração idealizada pelos autores, todas empresas do processo seriam formais e todo o processo de reciclagem seria executado no Brasil, inclusive aqueles mais refinados, como é o caso das placas eletrônicas – *Printed Circuit Boards* – PCBs. Entretanto, o Brasil ainda não possui tecnologia para esse tipo de reciclagem, sendo necessária a exportação desses componentes para países que a possuem.

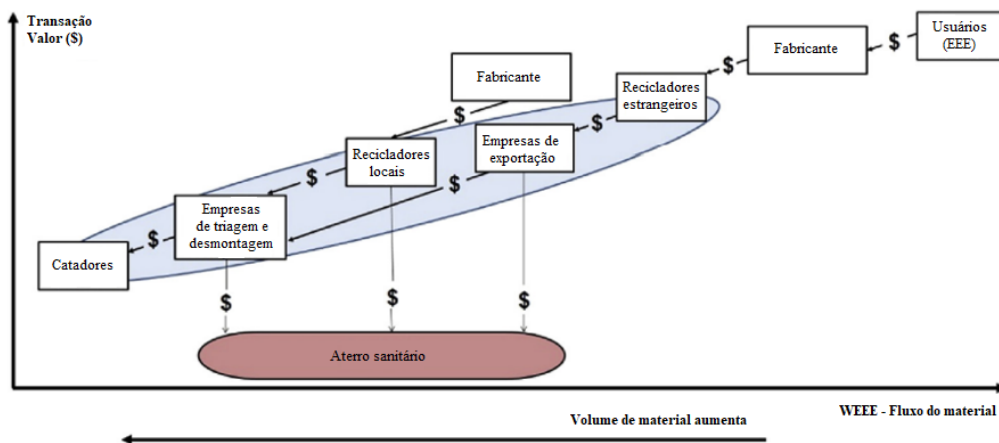
Figura 6 - Fluxo proposto para a região metropolitana do Rio de Janeiro



Fonte: Adaptado de Souza *et al.* (2016).

O gráfico apresentado na figura 7, demonstra que cada vez que o fluxo de WEEE vai seguindo para a direita, a quantidade de material vai diminuindo, porque os resíduos eletrônicos vão sendo separados pelos diversos agentes envolvidos no processo, mas o valor vai aumentando, em função da dificuldade de extração dos metais preciosos, que é feito por recicladores estrangeiros que possuem os recursos necessários.

Figura 7 – Relacionamento dos agentes envolvidos no fluxo de WEEE no Brasil



Fonte: Adaptado de Dias *et al.* (2018).

No quadro 3 é apresentado um resumo, com os autores e respectivos modelos, destacando pontos relevantes de cada um deles.

Quadro 3 - Comparação entre modelos apresentados para o lixo eletrônico

Autor	Modelo	Destaques
Dias <i>et al.</i> (2018)	Fluxograma para o lixo eletrônico no Brasil	• Fluxo resumido com os principais agentes envolvidos na geração e reutilização ou reciclagem do lixo eletrônico (usuários, oficinas de reparo, catadores, recicladores e exportadores); • Não é abordada a participação do poder público no fluxo.
FEAM (2009) apud Guarnieri <i>et al.</i> (2016).	Logística reversa de e-waste no Brasil	• Divide a logística reversa em etapas: consumo, coleta, recuperação e disposição final; • Destaca além dos pequenos consumidores, as empresas públicas e privadas; • Apresenta, além de catadores, o sistema de limpeza pública e transporte privado, como agentes de coleta; • Não entra no detalhe da necessidade de exportação de determinados resíduos eletrônicos mais complexos.
Ikhlayel (2018)	Proposição de um sistema integrado de gerenciamento de RSU e e-waste	• Fluxograma detalhado, destacando as fases da logística reversa, os principais estágios e o fluxo de informações para o processo de tomada de decisão; • Propõe a integração do sistema de coleta convencional de RSU com o lixo eletrônico, de forma a aproveitar toda a infraestrutura existente no município.
Souza <i>et al.</i> (2016)	Fluxo para o lixo eletrônico proposto para a região metropolitana do Rio de Janeiro	• Fluxograma com proposição de sistema híbrido de coleta e reciclagem • Modelo contempla três entradas principais para entrega do lixo eletrônico pela população; • Divisão do volume de resíduos por agentes definidos para triagem e posterior reforma e reuso ou reciclagem.
Dias <i>et al.</i> (2018)	Relacionamento dos agentes envolvidos no fluxo de WEEE no Brasil.	• Apresenta uma relação de “rendimento x volume”, em função da necessidade do uso de tecnologia para recuperar a riqueza de componentes complexos, como placas eletrônicas; • Estabelece uma relação entre vários agentes que se beneficiam com as trocas, dentro do fluxo do lixo eletrônico; • Destaca a importância do Brasil se atualizar para implementar tecnologias existentes em outros países para evitar a exportação e obter melhor rendimento do lixo eletrônico.

Fonte: Elaboração própria

3.1.3 Lixo eletrônico – Soluções globais

Os pensamentos e soluções propostas para as questões do lixo eletrônico pesquisados nas diversas publicações selecionadas foram comparados, com o objetivo de se encontrar pontos em comum, discordâncias, ou lacunas, que possam ser preenchidas por este trabalho ou por trabalhos futuros. Uma questão que ficou

clara é o destaque dado para a importância da busca de tecnologia para reciclagem das placas eletrônicas - Printed Circuit Boards (PCBs). O Brasil consegue reciclar apenas componentes de equipamentos eletroeletrônicos mais simples e com um menor valor de retorno. Com o domínio da tecnologia de reciclagem de Printed Circuit Boards (PCBs), o Brasil poderia aumentar suas vantagens econômicas e ambientais na gestão de resíduos eletrônicos (Neto *et al.*, 2017; Dias *et al.*, 2018; Demajorovic *et al.*, 2016).

Segundo Kumar *et al.* (2017), o sistema oficial de take-back (devolução) do lixo eletrônico é o método mais comum em países desenvolvidos para o retorno de equipamento no final da sua vida útil. O lixo eletrônico é coletado pela administração pública dos municípios, porta-a-porta, ou levado pelos consumidores a Pontos de Entrega Voluntária (PEVs), ou por meio de varejistas, ou por sistemas de coleta comercial. Em seguida esses resíduos são enviados para processamento adicional para diferentes centros.

Países como: Coreia do Sul, Japão e Taiwan, seguiram uma tendência de “sistema de devolução” - “take-back” - semelhante à União Europeia, de forma a garantir a responsabilidade do fabricante ao estabelecer uma meta de 75% de reciclagem de sua produção anual (İşildar *et al.*, 2018).

Já nos países em desenvolvimento, é mais frequente que o lixo eletrônico seja misturado ao lixo residencial comum e vá para aterros sanitários ou seja incinerado, com pouca chance de separação. Como consequência ocorre a lixiviação tóxica em um aterro, ou emissões no ar, se incinerados (Kumar *et al.*, 2017).

Ainda nos países em desenvolvimento é comum a prevalência de coleta e reciclagem informais, onde trabalhadores autônomos em condições precárias realizam a coleta porta-a-porta e descartam itens de menor valor diretamente em lixões, ou queimam esses resíduos a céu aberto, trazendo danos ao meio ambiente, a eles próprios e à população ao redor (Kumar *et al.*, 2017).

A política existente para o lixo eletrônico nas economias emergentes, que são hoje os principais centros de atividades de mercado no mundo, é praticamente ignorada. Os países em desenvolvimento ou emergentes quase não possuem políticas relacionadas ao lixo eletrônico, quando as possuem, muitas vezes são reproduções de alguns países desenvolvidos (Borthakur, 2020).

Uma abordagem recorrente nos estudos analisados é a questão da responsabilidade estendida do produtor - *Extended Producer Responsibility* – EPR, apontada como chave para o sucesso em termos de gestão de resíduos eletrônicos (Garlapati, 2016; Ilankoon *et al.*, 2018). Entretanto, em países em desenvolvimento há muita dificuldade para sua implementação devido a: a) falta de instalações de tratamento formal; b) um setor informal estabelecido; c) grandes quantidades de lixo eletrônico importadas ilegalmente; d) produtos importados de fabricantes estrangeiros; e) produtos elétricos sem marca; f) e ameaças aos mercados locais de reutilização.

A EPR é um princípio poderoso contido na lei WEEE *directive* (2002/96/EC) cujo objetivo é incentivar desde o projeto a facilitação para manutenção, atualização, reutilização, desmontagem e reciclagem. Os produtores devem ser responsáveis pelo financiamento da gestão dos resíduos de seus produtos eletroeletrônicos. Esse princípio projetado para gerenciar WEEE, é implementado com sucesso em países como Japão e Suíça (Garlapati, 2016; Salhofer *et al.*, 2016; Ilankoon *et al.*, 2018).

Segundo Islam *et al.* (2018), há lacunas nos estudos baseados na estrutura conceitual dos processos de logística reversa de reutilização e reparo. O impacto dessas duas alternativas no gerenciamento geral de logística reversa organizada pelos fabricantes poderia ser uma direção interessante para pesquisas futuras.

Um outro ponto a ser destacado é o movimento do lixo eletrônico de países desenvolvidos para países em desenvolvimento. Para tratar desse problema de movimentos transfronteiriços foi instituída a Convenção da Basileia. A Convenção da Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Descarte foi adotada em 22 de março de 1989 pela Conferência de Plenipotenciários em Basileia, Suíça, em resposta a um clamor público após a descoberta, na década de 1980, de depósitos de resíduos tóxicos importados do exterior, na África e em outras partes do mundo em desenvolvimento (Basel Convention, 1992).

Embora todos os países da África tenham ratificado a Convenção de Basileia, a maioria deles, incluindo a África do Sul, ainda não aprovou formalmente uma lei de lixo eletrônico. A África do Sul tem diversas leis relacionadas a resíduos e ao meio ambiente, que fornecem diretrizes para gerenciar o lixo eletrônico produzido no país,

mas essas legislações têm lacunas e suas implementações não são monitoradas (Borthakur, 2020).

Em relação à tecnologia, estudos trazem soluções para a gestão do lixo eletrônico com a utilização da *Internet of Things* (IoT) e *Big Data*, sendo feita a identificação dos produtos eletroeletrônicos por meio do uso de etiquetas eletrônicas - *Radio Frequency Identification* (RFID), que permitem o monitoramento durante todo o ciclo de vida do produto e tratamento dos dados (GU *et al.*, 2017).

A China precisava desenvolver sua própria abordagem para a reciclagem de REEE; e não teria sido viável tentar duplicar experiências ou processos de outros países, portanto utiliza a melhor tecnologia disponível e as melhores práticas ambientais - *best available technology and best environmental practices* (BAT e BEP) para gestão de seus resíduos eletrônicos, que são predominantemente baseadas em tecnologia disponível localmente (ZENG *et al.*, 2017b).

Já na visão de Guarnieri *et al.* (2016) a solução é propor ações mais abrangentes na área econômica com a criação de políticas de reaproveitamento de materiais; economia com o uso de materiais reciclados; receitas com a venda de lixo eletrônico; criação de publicidade, campanhas e instalação de pontos de coleta de lixo eletrônico, criação de incentivos fiscais para empresas que operam logística reversa de resíduos.

3.1.4 Lixo eletrônico – Proposições para o Brasil

Foram identificadas diversas categorias de abordagem para as soluções propostas pelos autores estudados na RSL e nos demais documentos usados na pesquisa. Dentre elas foram destacadas algumas consideradas mais relevantes e de maior frequência, conforme quadro 4, que podem servir de referência para a proposição de soluções para o Brasil: a) legislação; b) comportamento do consumidor; c) logística reversa; d) educação ambiental; e) reciclagem; f) produtor/fabricante; g) tecnologia; h) reparo.

Guarnieri *et al.* (2016) propõe parcerias entre governo e empresas (produtores, distribuidores, importadores, varejistas, third-party reverse logistics provider - 3PRLP e ONGs) de forma que possibilitem a coleta de lixo eletrônico a um custo e eficiência aceitáveis, por meio de incentivos às empresas: como incentivos fiscais e facilidades de crédito.

Já na visão de Demajorovic *et al.* (2016), o setor empresarial brasileiro tem pouca disponibilidade para trabalhar em parceria com cooperativas, pois consideram que essas organizações têm deficiências de gestão e são despreparadas para trabalhar com Resíduos de Equipamentos Eletro-Eletrônicos (REEE). Devido a essas situações, os referidos autores preveem muitas dificuldades para implementação da lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), a não ser que haja ações do governo para promover incentivos financeiros e programas de treinamento para as cooperativas de catadores.

Em relação ao meio ambiente, Guarnieri *et al.* (2016) propõem ações para a promoção da educação ambiental nas escolas para fomentar cidadãos e consumidores mais conscientes; criação de políticas de economia de recursos naturais e criação de políticas para o correto descarte de lixo eletrônico pelas empresas, tornando-as explícitas para consumidores por meio de campanhas publicitárias.

Araújo *et al.* (2017), coadunam da mesma opinião e propõem em seu estudo realizado em Fernando de Noronha – PE, a implementação de programas de educação ambiental, como prioridade, naquela localidade. Ressaltam a importância da adoção de um serviço adequado de envio de EEE para reparo no continente, a fim de evitar a troca rápida por novos itens e um aumento na geração de REEE na ilha.

Segundo Azevedo *et al.* (2017) a gestão da logística reversa e a reciclagem de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, será de responsabilidade da entidade gestora a ser formada pelos fabricantes/importadores no Brasil. Echegaray (2016) defende que a responsabilidade do produtor se estenda além da logística reversa para incluir um **design** de produto mais duradouro.

Quadro 4 - Resumo das soluções propostas para o lixo eletrônico por categoria

Autores	Categorias principais
a) Guarnieri <i>et al.</i> (2016); b) Ghisolfi <i>et. al.</i> (2017); c) Echegaray (2016); d) Demajorovic <i>et al.</i> (2016); e) Azevedo <i>et al.</i> (2017); f) Borthakur (2020) g) Garlapati (2016); h) Islam <i>et al.</i> (2018); i) Ilankoon <i>et al.</i> (2018); j) Işildar <i>et al.</i> (2018); k) Awasthi <i>et al.</i> (2017); l) Zeng <i>et al.</i> (2017a); m) Salhofer <i>et al.</i> (2016); n) Zeng <i>et al.</i> (2017b); o) Islam <i>et al.</i> (2020); p) Bakhiyi <i>et al.</i> (2018); q) Cao <i>et al.</i> 2016.	> Legislação: a); b); d); e) lei 12.305/2010 - Brasil; c); f); g); h); p); q) <i>Extended Producer Responsibility</i> (EPR); i) <i>The Basel Convention</i> ; <i>The European Union's WEEE Directive</i> ; EPR; j) <i>Basel Convention, Extended Producer Responsibility</i> (EPR), "take back"; k) A implementação de leis e políticas de gerenciamento de lixo eletrônico; l) a UE estabeleceu muitas diretivas ou legislação sobre lixo eletrônico e design de produtos desde 2002; m) Implementação de leis na China para a gestão do WEEE doméstico; implementação de leis na Europa para WEEE; n) "Old-for-New" na China; o) fluxograma com a política de gerenciamento do lixo eletrônico para Bangladesh.

a) Echegaray (2016); b) Rodrigues <i>et al.</i> (2020); c) Echegaray <i>et al.</i> (2017); d) Wang <i>et al.</i> (2016); e) Borthakur <i>et al.</i> (2017); f) Garlapati (2016)	> Comportamento do Consumidor: a) obsolescência psicológica; b) entender como as pessoas compram, usam, armazenam, doam e descartam EEE, e o que eles valorizam; c) ação de comunicação pode potencializar o peso das normas sociais para deslegitimar práticas inadequadas voltadas para o desperdício; d) descobrir os fatores de influência que afetam a intenção de reciclagem dos moradores da China; e) comportamento do consumidor no Japão e na China; f) construção da conscientização do consumidor indiano e definição dos seus papéis sobre descarte de lixo eletrônico.
a) Souza <i>et al.</i> (2016); b) Guarnieri <i>et al.</i> (2016); c) Caiado <i>et al.</i> (2017); d) Abbondanza <i>et al.</i> (2019); e) Ottoni <i>et al.</i> (2020); f) Vieira <i>et al.</i> 2020; g) Araújo <i>et al.</i> (2017); h) Kumar <i>et al.</i> (2017); i) Nascimento <i>et al.</i> (2019); j) Islam <i>et al.</i> (2018); k) Salhofer <i>et al.</i> (2016); l) Ikhlayel (2018).	> Logística reversa: a) Construir um esquema híbrido de coleta de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE); b) instalação de pontos de coleta de lixo eletrônico; c) <i>Reverse logistics credits</i> (RLC) d) método para estimar a geração de REEE nos municípios; e) definição de rotas de logística reversa do lixo eletrônico para a região metropolitana do estado do Rio de Janeiro; f) Identificação de barreiras e proposições de soluções; g) instalação de pontos de coleta de lixo eletrônico e construção de infraestrutura para estação de transferência da ilha de Fernando de Noronha para o continente; h) melhorar a coleta de lixo eletrônico para maximizar a reciclagem potencial.; i) modelo circular para reaproveitamento de dispositivos eletrônicos de sucata; j) Logística reversa e rede de suprimento de malha fechada - <i>Closed-Loop Supply Chain</i> (CLSC) para lixo eletrônico; k) soluções da Europa: sistemas de coleta de eletroeletrônicos com parcerias; l) gestão integrada de resíduos - <i>Integrated E-Waste Management</i> (IEWM).
a) Guarnieri <i>et al.</i> (2016); b) Araújo <i>et al.</i> (2017); c) Awasthi <i>et al.</i> (2017).	> Educação ambiental: a) criação de políticas de conscientização pública e fomento de cidadãos e consumidores mais conscientes; b) os programas de educação ambiental devem ser uma prioridade para a Ilha de Fernando de Noronha; c) Educar melhor os consumidores sobre os perigos da contaminação de lixo eletrônico.
a) Guarnieri <i>et al.</i> (2016); b) Neto <i>et al.</i> (2017); c) Dias <i>et al.</i> (2018); d) Demajorovic <i>et al.</i> (2016); e) Azevedo <i>et al.</i> (2017); f) Kumar <i>et al.</i> (2017); g) Zeng <i>et al.</i> (2016); h) Heacock <i>et al.</i> (2016); i) Liu <i>et al.</i> (2016); j) Işildar <i>et al.</i> (2018); k) Awasthi <i>et al.</i> (2017); l) Zeng <i>et al.</i> (2017a).	> Reciclagem: a) Uso de materiais reciclados; venda de lixo eletrônico; b); c); d); e) investir em reciclagem de <i>Printed Circuit Board</i> (PCB) no Brasil; f) introduzir plantas móveis e sistemas portáteis de reciclagem; g) empresas formais de reciclagem na China; h) “Best-of-2-Worlds”; i); k) reciclador formal x informal; j) reciclagem formal de REEE para recuperação de metais valiosos; l) gerenciamento de lixo eletrônico nos níveis de material e substância.
a) Echegaray (2016); b) Tansel (2017); c) Heacock <i>et al.</i> (2016); d) Awasthi <i>et al.</i> (2017).	> Produtor/Fabricante: a); c); d) ciclo de vida do produto; b) Design do produto.
a) Gu <i>et al.</i> (2017); b) Zeng <i>et al.</i> (2017b); c) Tan <i>et al.</i> (2016).	> Tecnologia: a) uso de tecnologia, como <i>Internet of Things</i> (IoT) e <i>Big Data</i> para trazer soluções para a gestão do lixo eletrônico; b) <i>best available technology and best environmental practices</i> (BAT e BEP); c) componente eletrônico biodegradável.

a) Echegaray (2016); b) Araújo <i>et al.</i> (2017).	> Reparo: a) alavancar o valor de dispositivos mais duradouros e melhorar a facilidade com que produtos podem ser reparados, atualizados e como uma política pública poderia oferecer uma resposta, ainda que limitada, ao problema do aumento do lixo eletrônico; b) É importante que haja um serviço adequado de envio de EEE para reparo no continente, a fim de evitar a troca rápida por novos itens e um aumento na geração de REEE na ilha.
--	---

Fonte: Autoria própria.

3.2 Resumo dos Resultados e Achados

Na seção 3.1.1 foram abordados os riscos e oportunidades associados ao lixo eletrônico. Diversos danos às pessoas e ao meio ambiente podem ser causados, se não houver uma política adequada para o tratamento de resíduos eletroeletrônicos. Foram destacados problemas, desde o projeto de equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE), que dificulta a sua desmontagem e encaminhamento para reciclagem; passando pelo descarte do lixo eletrônico junto com o lixo doméstico, causando a lixiviação do lixo eletrônico tóxico no solo e na água, ou emissão no ar durante a incineração; até a falta de consciência ambiental e falta de políticas para eficiência de coleta e reciclagem de resíduos na maioria dos países.

Por outro lado, existem oportunidades na reciclagem do lixo eletrônico, por ser uma fonte rica de mais de 60 metais valiosos e preciosos. Segundo a ONU há a perspectiva de recuperação de recursos de matérias-primas secundárias contidas nos resíduos eletroeletrônicos da ordem de 55 bilhões de euros, que podem ser utilizadas na fabricação de novos produtos e assim reduzir o esgotamento dos recursos naturais. (Balde *et al.*, 2017, p. 54). Além da possibilidade de criação de trabalhos adicionais para apoiar a economia e prevenir a poluição ambiental.

Na seção 3.1.2 foram apresentados alguns modelos de logística reversa de resíduos eletroeletrônicos, aplicados ou sugeridos para aplicação, tendo como relevância para a pesquisa, a constatação de que a abordagem dos autores apresenta os agentes e suas atribuições nesse processo, e assim permite que os municípios interessados em iniciar um processo de logística reversa tenham como referência algumas das possibilidades apresentadas. Outro ponto de destaque nessa seção, foi a apresentação dos agentes envolvidos no processo de logística reversa e o retorno financeiro recebido em cada etapa.

Na seção 3.1.3 foram identificadas algumas soluções desenvolvidas em diversos países, por meio de iniciativas ou leis específicas sobre o lixo eletrônico. Um ponto de destaque é a aplicação da responsabilidade estendida do produtor – *Extended Producer Responsibility* (EPR). A EPR é um princípio poderoso contido na lei WEEE *directive* (2002/96/EC) cujo objetivo é incentivar desde o projeto, a facilitação para manutenção, atualização, reutilização, desmontagem e reciclagem. Os produtores devem ser responsáveis pelo financiamento da gestão dos resíduos de seus produtos eletroeletrônicos.

Uma questão relevante abordada, é a concordância de alguns autores pesquisados sobre a importância de o Brasil desenvolver tecnologia para reciclagem de placas eletrônicas - *Printed Circuit Boards* (PCBs) e trazer um melhor valor agregado do que é conseguido hoje com a exportação, para países que possuem essa tecnologia.

Outro ponto que merece destaque é a falta de estudos, levantada por um dos autores, para sistemas conceituais de logística reversa que abordem a reutilização e o reparo, em vez de reciclar somente.

Um movimento importante foi iniciado com a convenção da Basiléia, onde houve um acordo entre diversos países, que restringiu a movimentação de resíduos perigosos, como o lixo eletrônico, de países ricos, para países em desenvolvimento.

Dentro da seção 3.1.4 foram abordadas as proposições de soluções para o Brasil e apresentadas por meio do quadro 4. Este quadro traz os principais assuntos abordados em cada categoria. Nesse sentido, pode-se perceber que os fatores relevantes para sustentar a proposta de um modelo para o Brasil seriam baseados em: 1) legislação – federal (PNRS), estadual e municipal; 2) educação ambiental e 3) plano de gestão integrada de resíduos sólidos – contando com um modelo de logística reversa adequado para o município, prevendo a possibilidade de reutilização e reparo de equipamentos eletroeletrônicos, em fim de vida útil, antes de direcionar para reciclagem, com participação do poder público, empresas, população e outras partes interessadas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desse artigo, foi buscar na literatura, informações sobre os riscos, oportunidades e propostas de soluções para lidar com o problema do lixo eletrônico,

para aplicação local, nos municípios brasileiros, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Para alcançar este objetivo geral, foi necessário identificar os modelos de gestão (fluxos e esquemas) e iniciativas para o tratamento do problema do lixo eletrônico.

A pergunta da pesquisa: Como podemos diminuir a lacuna de conhecimento da gestão de lixo eletrônico em países em desenvolvimento, especialmente no Brasil? Foi respondida de forma consistente pela apresentação de conceitos, informações e dados suficientes para influenciar pesquisadores da comunidade acadêmica a buscarem desenvolver novas pesquisas, e para a sociedade de forma geral a pensar criticamente sobre sua responsabilidade no consumo e consequente geração e destinação dos resíduos sólidos, com destaque para o lixo eletrônico.

A contribuição desta pesquisa se mostra mais relevante no sentido de acender um sinal de alerta, para o mundo acadêmico e para a sociedade, sobre o problema relacionado ao lixo eletrônico. Se de alguma forma, as leis, normas, ou políticas ajudarem a reduzir o consumo de produtos novos, ou incentivarem o reparo, estimularem a indústria a produzir bens mais duráveis, ou a receberem de volta os produtos inservíveis para entrar novamente no ciclo de fabricação, em qualquer uma dessas situações pode-se entender que houve um avanço para a redução do lixo eletrônico.

Os resultados apresentados nesta pesquisa, indicam que se não houver leis adequadas para a gestão do lixo eletrônico, não haverá formas de coibir as ações que trazem danos ao meio ambiente e às pessoas, tais como: descarte incorreto; queima de fios e placas eletrônicas para se extrair metais e exportação irregular de lixo eletrônico. Por outro lado, as leis também podem beneficiar as ações positivas, por meio de incentivos à criação de cooperativas de catadores, redução de impostos para empresas formais de reciclagem e incentivos aos consumidores conscientes.

Além da legislação, verificou-se que a educação ambiental também influencia o comportamento do consumidor, e deve estar contida na legislação relacionada ao descarte correto de lixo eletrônico, não só para municípios brasileiros, mas para qualquer plano de gestão de resíduos no mundo.

Um outro ponto de destaque são os modelos e esquemas de logística reversa para o lixo eletrônico. Os modelos encontrados na RSL apresentam semelhanças e mostram a integração dos diversos “atores”: governo, consumidores, fabricantes,

varejistas, importadores e distribuidores para que as políticas, leis e os planos de gestão dos resíduos sólidos possam ocorrer de forma efetiva.

Nesse sentido, percebe-se que existe a necessidade de ampliar e aplicar melhor a lei federal de Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) para o lixo eletrônico no Brasil. Foram identificados poucos municípios que realmente aplicam uma política de gestão efetiva para resíduos eletroeletrônicos, dentre os mais de cinco mil municípios existentes no país.

Em função de se observar lacunas relacionadas à gestão do lixo eletrônico e contribuir com insumos baseados em experiências de sucesso no Brasil e no exterior, é possível propor ao poder público, alinhado ao objetivo principal desta pesquisa, ações por meio de um plano de gestão integrada de resíduos sólidos para contemplar os resíduos eletroeletrônicos, juntamente com programas de educação ambiental para sensibilização da população sobre o que está em jogo, quando equipamentos com componentes tóxicos são descartados sem os cuidados necessários, e assim implementar um sistema de logística reversa de eletroeletrônicos, conforme previsto no decreto federal 10.240/2020 (BRASIL, 2020).

As limitações deste trabalho ocorrem devido ao intervalo temporal da pesquisa de cinco anos, em função do tema estar muito atrelado à legislação, o que pode ter excluído de análise alguns textos relevantes sobre o tema. Outra limitação se deu pela opção de escolha dos textos com maior número de citações, o que pode ter deixado de fora algumas publicações mais recentes, que ainda não foram bem divulgadas.

Para pesquisas futuras podem ser explorados aspectos de gestão do lixo eletrônico de abrangência mais regionalizada, com a elaboração e proposição de diretrizes para cidades brasileiras de pequeno e médio portes, e assim auxiliar na elaboração de políticas públicas em conjunto com a sociedade, para fazer frente aos desafios impostos pela crescente geração de lixo eletrônico.

REFERÊNCIAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. ***Logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos – análise de viabilidade técnica e econômica***. 2013. Disponível em: <https://www.abdi.com.br>. Acesso em: 25 maio 2021.

AHIRWAR, Rajesh; *et al.* E-waste management: A review of recycling process, environmental and occupational health hazards, and potential solutions.

Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management Journal, v. 15, art. 100409, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100409>

ARAÚJO, D. R. R.; *et al.* Generation of domestic waste electrical and electronic equipment on Fernando de Noronha Island: qualitative and quantitative aspects. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 19703–19713, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9648-3>

AZEVEDO, Luís Peres; *et al.* E-waste management and sustainability: a case study in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 24, n. 32, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0099-7>

BASEL CONVENTION. **Overview**. 1992. Disponível em: <https://www.basel.int/TheConvention/Overview>. Acesso em: 10 abr. 2022.

BORTHAKUR, A.; GOVIND, M. Emerging trends in consumers' E-waste disposal behaviour and awareness: A worldwide overview with special focus on India. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 117, p. 102–113, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.11.011>

BORTHAKUR, Anwisha. Policy approaches on E-waste in the emerging economies: A review of the existing governance with special reference to India and South Africa. **Journal of Cleaner Production**, v. 252, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119885>

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 23 jul. 2021.

BRASIL. Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020. **Estabelece normas para a implementação de sistema de logística reversa obrigatória de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2020/decreto/D10240.htm. Acesso em: 03 abr. 2021.

DEMAJOROVIC, J. *et al.* Reverse logistics of e-waste in developing countries: challenges and prospects for the Brazilian model. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 2, p. 117-136, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC141545V1922016>

DIAS, Pablo; *et al.* Waste electric and electronic equipment (WEEE) management: A study on the Brazilian recycling routes. **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 7-16, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.219>

DIXON-WOODS, M.; *et al.* How can systematic reviews incorporate qualitative research? A critical perspective. **Qualitative Research**, v. 6, n. 1, p. 27–44, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1177/1468794106058867>

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J. A. V. **Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement**. Cham: Springer, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-07374-3_6

ECHEGARAY, Fabian. Consumers' reactions to product obsolescence in emerging markets: the case of Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 134, parte A, p. 191-203, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.119>

ECHEGARAY, Fabian; *et al.* Assessing the intention-behavior gap in electronic waste recycling: the case of Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, parte 1, p. 180-190, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.064>

EPPI CENTRE. **What is a systematic review?** Disponível em: <https://eppi.ioe.ac.uk/cms/Default.aspx?tabid=67>. Acesso em: 06 abr. 2022.

FORTI, V.; BALDÉ, C. P.; KUEHR, R.; BEL, G. **The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows, and the circular economy potential**. 2020. Disponível em: <https://unu.edu>. Acesso em: 11 set. 2021.

GARLAPATI, Vijay Kumar. E-waste in India and developed countries: Management, recycling, business and biotechnological initiatives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 46-56, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.106>

GHISOLFI, Verônica; *et al.* System dynamics applied to closed loop supply chains of desktops and laptops in Brazil: A perspective for social inclusion of waste pickers. **Waste Management**, v. 60, p. 14-31, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.018>

GU, Fu; *et al.* Internet of things and Big Data as potential solutions to the problems in waste electrical and electronic equipment management: An exploratory study. **Waste Management**, v. 68, p. 434-448, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.037>

GUARNIERI, Patricia; *et al.* Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis methodology: A Brazilian case. **Journal of Cleaner Production**, v. 133, p. 1105-1117, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.025>

IKHLAYEL, Mahdi. An integrated approach to establish e-waste management systems for developing countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 170, p. 119-130, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.137>

ILANKOON, I. M. S. K.; *et al.* E-waste in the international context – A review of trade flows, regulations, hazards, waste management strategies and technologies for value recovery. **Waste Management**, v. 82, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.018>

IŞILDAR, Arda; *et al.* Electronic waste as a secondary source of critical metals: Management and recovery technologies. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, p. 296-312, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.031>

KITCHENHAM, Barbara; *et al.* **Procedures for Performing Systematic Reviews**. Keele: Keele University, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.009>

KUMAR, Amit; *et al.* E-waste: An overview on generation, collection, legislation and recycling practices. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 122, p. 32-42, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.018>

LIU, Huihui; *et al.* A dual channel, quality-based price competition model for the WEEE recycling market with government subsidy. **Omega**, v. 59, parte B, p. 290-302, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2015.07.002>

NETO, Geraldo Cardoso de Oliveira; *et al.* Economic and environmental assessment of recycling and reuse of electronic waste: Multiple case studies in Brazil and Switzerland. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 42-55, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.011>

OLIVEIRA, L. P.; *et al.* Diagnóstico das práticas de descarte dos resíduos sólidos em comunidades. **Revista Produção Online**, v. 21, n. 3, p. 930–950, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v21i3.4349>

PARAJULY, K.; *et al.* Behavioral change for the circular economy: A review with focus on electronic waste management in the EU. **Resources, Conservation & Recycling: X**, v. 6, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2020.100035>

RAUTELA, R.; *et al.* E-waste management and its effects on the environment and human health. **Science of The Total Environment**, v. 773, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145623>

SALHOFER, S.; *et al.* WEEE management in Europe and China – A comparison. **Waste Management**, v. 57, p. 27-35, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.014>

SOUZA, Ricardo Gabbay de; *et al.* Sustainability assessment and prioritisation of e-waste management options in Brazil. **Waste Management**, v. 57, p. 46-56, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.034>

TANSEL, Berrin. From electronic consumer products to e-wastes: Global outlook, waste quantities, recycling challenges. **Environment International**, v. 98, p. 35-45, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2016.10.002>

TRANFIELD, David; *et al.* Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British Journal of Management**, v. 14, p. 207-222, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>

WANG, J.; *et al.* Determinants of residents' e-waste recycling behaviour intentions: Evidence from China. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 850-860, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.155>

ZENG, Xianlai; *et al.* Uncovering the recycling potential of “new” WEEE in China. **Environmental Science & Technology**, v. 50, n. 3, p. 1347-1358, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.5b05446>

ZENG, Xianlai; *et al.* Innovating e-waste management: From macroscopic to microscopic scales. **Science of The Total Environment**, v. 575, p. 1-5, 2017a. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.078>

ZENG, Xianlai; *et al.* Examining environmental management of e-waste: China's experience and lessons. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, p. 1076-1082, 2017b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.015>

WANG *et al.* Determinants of residents' e-waste recycling behaviour intentions: Evidence from China. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, n. 2 p. 850-860, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.155>

Biografia dos Autores

Rui Árabe Saraiva

Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense (2023). Possui MBA em Logística Empresarial (2010). Graduado em Administração pela Universidade Federal Fluminense (2000). Tem experiência como instrutor na área técnica e experiência profissional nas áreas de manutenção, planejamento, logística e SMS (Segurança, Meio Ambiente e Saúde). Desde 2024, desenvolve um Blog sobre segurança fora do ambiente de trabalho e assuntos relacionados à sustentabilidade.

Iara Tammela

Mestre e Doutora em Engenharia de Produção pela COPPE/UFRJ na área de Gestão de Operações e Graduada em Engenharia Mecânica pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). É Professora Associada da Universidade Federal Fluminense do Curso de Graduação em Engenharia de Produção do Campus de Rio das Ostras e do Mestrado Profissional em Engenharia de Produção e Sistemas Computacionais. Atualmente é vice-presidente do Global Manufacturing Research Group (GMRG)-Brasil e aluna de Pós-Doutorado na PUC-Rio, no Departamento de Engenharia Industrial na área de Logística. Atuou como consultora em diversas organizações, além de ter participado de projetos na Anvisa, Furnas, Avaliação do Prêmio Nacional de Inovação (2016/2017); Avaliação do Prêmio Nacional de Inovação (2018/2019); Desdobramento e Operacionalização de Estratégias para FINEP (2017/2018); e do Projeto de Realinhamento do Planejamento Estratégico da ANTT (2019) em parceria com a UFF. Atualmente coordena o Projeto de Pesquisa Aplicada de Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção Baseada em Condição para BOP em parceria UFF/Petrobras (2018/2022). Suas áreas de atuação e pesquisa compreendem a Gestão de Operações e Produção, Operações Ágeis e Responsivas, Pesquisa Operacional, Logística e Cadeia de Suprimentos, Cadeias de Suprimentos Verdes e Sustentáveis, Processos e Materiais para a Indústria de Petróleo e Gás. Cabe o prêmio recebido em 2014: Awards for Excellence - Highly Commended Paper, Emerald Group Publishing.

Flávio Silva Machado

Graduação em Licenciatura em Matemática pela Fundação Educacional Rosemar Pimentel (2000), graduação em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal Fluminense (1991), Mestrado e Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (2002 e 2009). Atualmente é professor da Universidade Federal Fluminense no Instituto de Ciências e Tecnologia de Rio das Ostras. Já atuou como professor na Escola Técnica Pandiá Calógeras, Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, Centro Universitário de Volta Redonda e Centro Universitário de Barra Mansa. Tem experiência nas áreas de Engenharia de Materiais/Metalúrgica e Meio Ambiente, com ênfase em Gestão Ambiental,

Energias Renováveis e Resíduos Industriais. Atuando principalmente nos seguintes temas: Energias Renováveis, Gestão Ambiental, Manutenção e Resíduos Industriais e Urbanos.

Guido Vaz Silva

Possui graduação em Administração pela Universidade Federal Fluminense (2005), mestrado em Administração de Empresas pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2008) e doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2013). Atuou em diversas pesquisas e projetos de extensão, principalmente, nas áreas de engenharia de processos, projeto organizacional, gestão de sourcing e desenvolvimento da gestão pública. Atualmente é Professor Adjunto no Departamento de Engenharia do Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) da Universidade Federal Fluminense.



Artigo recebido em: 09/01/2023 e aceito para publicação em: 25/06/2025

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v25i3.4814>

APÊNDICE A - QUADRO 1 - PROTOCOLO DE ESTRATÉGIA DE BUSCA

Protocolo da RSL	
Protocolo de estratégia de busca	
Estrutura conceitual	A estrutura conceitual da pesquisa foi estabelecida, com a ênfase na gestão correta do lixo eletrônico.
Contexto	A pesquisa foi desenvolvida no Brasil e no mundo com o foco nos resíduos sólidos, especificamente o lixo eletrônico, para propor soluções empíricas.
Horizonte	Estudos publicados entre 2016 e 2021, em função de ser um tema muito sensível a frequentes estabelecimentos de novas leis, diretrizes, normas e diretivas.
Correntes teóricas	Não há limitação de corrente teórica. Entretanto, foram focalizados aspectos de gestão dos processos e não de execução dos processos. Exemplo: Assunto de interesse: fluxogramas de separação, coleta e destinação do lixo eletrônico. Assunto que não é o foco da pesquisa: como é o processo químico de separação de metais de componentes eletrônicos em uma usina de reciclagem?
Linguagens	Inglês e português
Perguntas da Revisão	a) os textos contemplam definições de lixo eletrônico? b) os documentos tratam dos perigos e benefícios possíveis do lixo eletrônico? c) os documentos trazem a evolução da geração de lixo eletrônico regional ou global? d) os textos apresentam as legislações sobre o lixo eletrônico? e) os documentos tratam de soluções para o problema do lixo eletrônico?
Estratégia de revisão	Agregativa
Critérios de pesquisa	Critérios de inclusão: Documentos selecionados de acordo com o tema da pesquisa: lixo eletrônico (e-waste) e questões associadas, tais como: legislação, políticas, normas, procedimentos, fluxos, desenhos, esquemas e fluxogramas; Os vinte primeiros documentos mais citados, por base dos últimos cinco anos (2016 a 2021); Critérios de exclusão: Documentos em duplicidade; Ausência de relevância verificada pelo título e resumo; Ausência de relevância verificada após leitura integral; Documentos não disponíveis para download gratuito
Termos de pesquisa	Serão realizadas quatro buscas com utilização de palavras-chave e expressões chaves associadas por operadores booleanos
Fontes de Pesquisa	Base de dados Scopus; livros, Internet (dados governamentais, dados da ONU e de publicações nacionais e internacionais com o panorama da evolução dos números e estatísticas sobre o tema).

Fonte: Adaptado de Dresch et al (2015, p.142)

APÊNDICE B - QUADRO 2 – CODIFICAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DA ROBUSTEZ DOS TEXTOS

Item	Pergunta	Quant.	Autores
1	O texto contempla definições de lixo eletrônico?	15	1.Guarnieri <i>et al.</i> (2016); 2.Dias <i>et al.</i> (2018); 3.Echegaray (2016); 4.Ottoni <i>et al.</i> (2020); 5.Azevedo <i>et al.</i> (2017); 6.Kumar <i>et al.</i> (2017); 7.Tansel (2017); 8.Heacock <i>et al.</i> (2016); 9.Echegaray <i>et al.</i> (2017); 10.Liu <i>et al.</i> (2016); 11.Garlapati (2016); 12.Illankoon <i>et al.</i> (2018); 13.Işildar <i>et al.</i> (2018); 14.Bakhiyi <i>et al.</i> (2018); 15.Cao <i>et al.</i> (2016)
2	O documento trata dos perigos e benefícios possíveis do lixo eletrônico?	33	1.Souza <i>et al.</i> (2016); 2.Guarnieri <i>et al.</i> (2016); 3.Ghisolf <i>et al.</i> (2017); 4.Netto <i>et al.</i> (2017); 5.Dias <i>et al.</i> (2018); 6.Caiado <i>et al.</i> (2017); 7.Abbondanza <i>et al.</i> (2019); 8.Demajorovic <i>et al.</i> (2016); 9.Ottoni <i>et al.</i> (2020); 10.Azevedo <i>et al.</i> (2017); 11.Kumar <i>et al.</i> (2017); 12.Tansel (2017); 13.Zeng <i>et al.</i> (2016); 14.Heacock <i>et al.</i> (2016); 15.Echegaray <i>et al.</i> (2017); 16.Liu <i>et al.</i> (2016); 17.Garlapati (2016); 18.Islam <i>et al.</i> (2018); 19.Illankoon <i>et al.</i> (2018); 20.Işildar <i>et al.</i> (2018); 21.Awasthi <i>et al.</i> (2017); 22.Zeng ¹ <i>et al.</i> (2017); 23.Wang <i>et al.</i> (2016); 24.Gu <i>et al.</i> (2017); 25.Salhofer <i>et al.</i> (2016); 26.Kumar <i>et al.</i> (2018); 27.Zeng ² <i>et al.</i> (2017); 28.Borthakur <i>et al.</i> (2017); 29. Islam <i>et al.</i> (2020); 30.Tan <i>et al.</i> (2016); 31.Bakhiyi <i>et al.</i> (2018); 32.Ikhlayel (2018); 33.Cao <i>et al.</i> (2016)
3	O documento traz a evolução da geração de lixo eletrônico regional ou global?	28	1.Souza <i>et al.</i> (2016); 2.Guarnieri <i>et al.</i> (2016); 3.Ghisolf <i>et al.</i> (2017); 4.Dias <i>et al.</i> (2018); 5.Echegaray (2016); 6.Abbondanza <i>et al.</i> (2019); 7.Ottoni <i>et al.</i> (2020); 8.Azevedo <i>et al.</i> (2017); 9.Kumar <i>et al.</i> (2017); 10.Tansel (2017); 11.Zeng <i>et al.</i> (2016); 12.Heacock <i>et al.</i> (2016); 13.Echegaray <i>et al.</i> (2017); 14.Liu <i>et al.</i> (2016); 15.Garlapati (2016); 16.Illankoon <i>et al.</i> (2018); 17.Işildar <i>et al.</i> (2018); 18.Awasthi <i>et al.</i> (2017); 19.Zeng ¹ <i>et al.</i> (2017); 20.Wang <i>et al.</i> (2016); 21.Gu <i>et al.</i> (2017); 22.Salhofer <i>et al.</i> (2016); 23.Kumar <i>et al.</i> (2018); 24.Zeng ² <i>et al.</i> (2017); 25.Borthakur <i>et al.</i> (2017); 26.Islam <i>et al.</i> (2020); 27.Bakhiyi <i>et al.</i> (2018); 28.Cao <i>et al.</i> (2016)
4	O texto apresenta legislações sobre o lixo eletrônico?	35	1.Souza <i>et al.</i> (2016); 2.Guarnieri <i>et al.</i> (2016); 3.Ghisolf <i>et al.</i> (2017); 4.Netto <i>et al.</i> (2017); 5.Dias <i>et al.</i> (2018); 6.Echegaray (2016); 7.Caiado <i>et al.</i> (2017); 8.Abbondanza <i>et al.</i> (2019); 9.Demajorovic <i>et al.</i> (2016); 10.Ottoni <i>et al.</i> (2020); 11.Azevedo <i>et al.</i> (2017); 12.Rodrigues <i>et al.</i> (2019); 13.Kumar <i>et al.</i> (2017); 14.Tansel (2017); 15.Zeng <i>et al.</i> (2016); 16.Heacock <i>et al.</i> (2016); 17.Echegaray <i>et al.</i> (2017); 18.Liu <i>et al.</i> (2016); 19.Garlapati (2016); 20.Islam <i>et al.</i> (2018); 21.Illankoon <i>et al.</i> (2018); 22.Işildar <i>et al.</i> (2018); 23.Awasthi <i>et al.</i> (2017); 24.Zeng ¹ <i>et al.</i> (2017); 25.Wang <i>et al.</i> (2016); 26.Gu <i>et al.</i> (2017); 27.Salhofer <i>et al.</i> (2016); 28.Kumar <i>et al.</i> (2018); 29.Zeng ² <i>et al.</i> (2017); 30.Borthakur <i>et al.</i> (2017); 31.Islam <i>et al.</i> (2020); 32.Bakhiyi <i>et al.</i> (2018); 33.Bakhiyi <i>et al.</i> (2018); 34.Ikhlayel (2018); 35.Cao <i>et al.</i> (2016)
5	O documento trata de soluções para o problema do lixo eletrônico?	39	1.Souza <i>et al.</i> (2016); 2.Guarnieri <i>et al.</i> (2016); 3.Ghisolf <i>et al.</i> (2017); 4.Netto <i>et al.</i> (2017); 5.Dias <i>et al.</i> (2018); 6.Echegaray (2016); 7.Caiado <i>et al.</i> (2017); 8.Abbondanza <i>et al.</i> (2019); 9.Demajorovic <i>et al.</i> (2016); 10.Ottoni <i>et al.</i> (2020); 11.Azevedo <i>et al.</i> (2017); 12.Rodrigues <i>et al.</i> 2019; 13.Vieira <i>et al.</i> 2020; 14.Borthakur (2020); 15.Araújo <i>et al.</i> (2017); 16.Kumar <i>et al.</i> (2017); 17.Tansel (2017); 18. Nascimento <i>et al.</i> (2019); 19.Zeng <i>et al.</i> (2016); 20.Heacock <i>et al.</i> (2016); 21.Echegaray <i>et al.</i> (2017); 22.Liu <i>et al.</i> (2016); 23.Garlapati (2016); 24.Islam <i>et al.</i> (2018); 25.Illankoon <i>et al.</i> (2018); 26.Işildar <i>et al.</i> (2018); 27.Awasthi <i>et al.</i> (2017); 28.Zeng ¹ <i>et al.</i> (2017); 29. Wang <i>et al.</i> (2016); 30.Gu <i>et al.</i> (2017); 31.Salhofer <i>et al.</i> (2016); 32.Kumar <i>et al.</i> (2018); 33.Zeng ² <i>et al.</i> (2017); 34.Borthakur <i>et al.</i> (2017); 35.Islam <i>et al.</i> (2020); 36.Tan <i>et al.</i> (2016); 37.Bakhiyi <i>et al.</i> (2018); 38.Ikhlayel (2018); 39.Cao <i>et al.</i> (2016)

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE C - TEXTOS SELECIONADOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA RSL

Item	Autor	Título
1	Kumar <i>et al.</i> (2017)	E-waste: An overview on generation, collection, legislation, and recycling practices
2	Tansel (2017)	From electronic consumer products to e-wastes: Global outlook, waste quantities, recycling challenges
3	Nascimento <i>et al.</i> (2019)	Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context A business model proposal
4	Zeng <i>et al.</i> (2016)	Uncovering the Recycling Potential of “New” WEEE in China
5	Heacock <i>et al.</i> (2016)	E-Waste and Harm to Vulnerable Populations: A Growing Global Problem
6	Echegaray <i>et al.</i> (2017)	Assessing the intention-behavior gap in electronic waste recycling: the case of Brazil
7	Liu <i>et al.</i> (2016)	A dual channel, quality-based price competition model for the WEEE recycling market with government subsidy
8	Garlapati (2016)	E-waste in India and developed countries: Management, recycling, business and biotechnological initiatives
9	Islam <i>et al.</i> (2018)	Reverse logistics and closed-loop supply chain of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)/E-waste: A comprehensive literature review
10	Ilankoon <i>et al.</i> (2018)	E-waste in the international context – A review of trade flows, regulations, hazards, waste management strategies and technologies for value recovery
11	Işıldar <i>et al.</i> (2018)	Electronic waste as a secondary source of critical metals: Management and recovery technologies
12	Awasthi <i>et al.</i> (2017)	Management of electrical and electronic waste: A comparative evaluation of China and India
13	Zeng <i>et al.</i> (2017a)	Innovating e-waste management: From macroscopic to microscopic scales
14	Wang <i>et al.</i> (2016)	Determinants of residents' e-waste recycling behaviour intentions: Evidence from China
15	Gu <i>et al.</i> (2017)	Internet of things and Big Data as potential solutions to the problems in waste electrical and electronic equipment management: An exploratory study
16	Salhofer <i>et al.</i> (2016)	WEEE management in Europe and China – A comparison
17	Kumar <i>et al.</i> (2018)	An analysis of barriers affecting the implementation of e-waste management practices in India: A novel ISM-DEMATEL approach
18	Zeng <i>et al.</i> (2017b)	Examining environmental management of e-waste: China's experience and lessons
19	Borthakur <i>et al.</i> (2017)	Emerging trends in consumers' E-waste disposal behaviour and awareness: A worldwide overview with special focus on India
20	Souza <i>et al.</i> (2016)	Sustainability assessment and prioritisation of e-waste management options in Brazil

21	Guarnieri <i>et al.</i> (2016)	Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis methodology: A Brazilian case
22	Ghisolfi <i>et al.</i> (2017)	System dynamics applied to closed loop supply chains of desktops and laptops in Brazil: A perspective for social inclusion of waste pickers
23	Neto <i>et al.</i> (2017)	Economic and environmental assessment of recycling and reuse of electronic waste: Multiple case studies in Brazil and Switzerland
24	Dias <i>et al.</i> (2018)	Waste electric and electronic equipment (WEEE) management: A study on the Brazilian recycling routes
25	Echegaray (2016)	Consumers' reactions to product obsolescence in emerging markets: the case of Brazil
26	Caiado <i>et al.</i> (2017)	A characterization of the Brazilian market of reverse logistic credits (RLC) and an analogy with the existing carbon credit market
27	Abbondanza <i>et al.</i> (2019)	Estimating the generation of household e-waste in municipalities using primary data from surveys: A case study of Sao Jose dos Campos, Brazil
28	Demajorovic <i>et al.</i> (2016)	Logística reversa de REEE em países em desenvolvimento: Desafios e perspectivas para o modelo brasileiro
29	Otoni <i>et al.</i> (2020)	A circular approach to the e-waste valorization through urban mining in Rio de Janeiro, Brazil
30	Azevedo <i>et al.</i> (2017)	E-waste management and sustainability: a case study in Brazil
31	Rodrigues <i>et al.</i> (2020)	Domestic flow of e-waste in São Paulo, Brazil: Characterization to support public policies
32	Vieira <i>et al.</i> 2020	Prioritizing Barriers to Be Solved to the Implementation of Reverse Logistics of E-Waste in Brazil under a Multicriteria Decision Aid Approach
33	Borthakur (2020)	Policy approaches on E-waste in the emerging economies: A review of the existing governance with special reference to India and South Africa
34	Araújo <i>et al.</i> (2017)	Generation of domestic waste electrical and electronic equipment on Fernando de Noronha Island: qualitative and quantitative aspects
35	Islam <i>et al.</i> (2020)	Advances in sustainable approaches to recover metals from e-waste-A review
36	Tan <i>et al.</i> (2016)	Biodegradable electronics: cornerstone for sustainable electronics and transient applications
37	Bakhiyi <i>et al.</i> (2018)	Has the question of e-waste opened a Pandora's box? An overview of unpredictable issues and challenges
38	Ikhlayel (2018)	An integrated approach to establish e-waste management systems for developing countries
39	Cao <i>et al.</i> (2016)	Extended producer responsibility system in China improves e-waste recycling: Government policies, enterprise, and public awareness

Fonte: Autoria própria