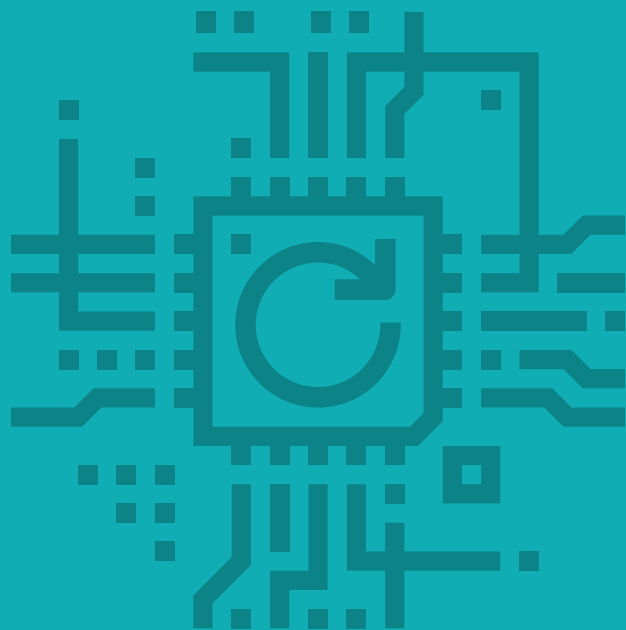
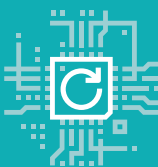




SÉRIE DOCUMENTOS TÉCNICOS

JANEIRO DE 2024 – Nº 35



Reciclagem e reúso de equipamentos eletroeletrônicos

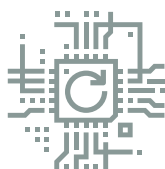


Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação



cggee

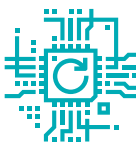
Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação



Reciclagem e reúso de equipamentos eletroeletrônicos

BRASÍLIA – 2024

*Organização social supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)
Instituição interveniente: Ministério da Educação (MEC)*



© Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) é uma associação civil sem fins lucrativos e de interesse público, qualificada como organização social pelo executivo brasileiro, sob a supervisão do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Constitui-se em instituição de referência para o suporte contínuo de processos de tomada de decisão sobre políticas e programas de ciência, tecnologia e inovação (CT&I). A atuação do Centro está concentrada nas áreas de prospecção, avaliação estratégica, informação e difusão do conhecimento.

DIRETOR-PRESIDENTE

Fernando Cosme Rizzo Assunção

DIRETORES

Ary Mergulhão Filho (até 16/11/2023)

Carlos Roberto Fortner

EDIÇÃO | *Laís Ribeiro (iComunicação)*

DIAGRAMAÇÃO | *Raones Ramos (iComunicação)*

CAPA | *Fernando Lopes (iComunicação)*

PROJETO GRÁFICO E INFOGRÁFICOS | *Núcleo de design gráfico do CGEE*

COORDENAÇÃO DA COMUNICAÇÃO INTEGRADA | *Jean Marcel da Silva Campos*

APOIO TÉCNICO AO PROJETO | *Larissa Azevedo Soares*

Catálogo na fonte

C389r

Reciclagem e reúso de equipamentos eletroeletrônicos. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2024.

177 p. il.

ISBN 978-65-5775-078-0 (eletrônico)

1. Computadores. 2. Inclusão digital. 3. Resíduo de equipamentos eletroeletrônicos. 4. Políticas Públicas. I. CGEE. II. Título.

CDU 027.332:621.3.038

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, SCS Qd 9, Bl. C, 4º andar, Ed. Parque Cidade Corporate, 70308-200, Brasília, DF, Telefone: (61) 3424.9600

 @CGEE_oficial |  www.cgEE.org.br |  @CGEE

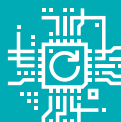
 @CGEE_oficial |  @Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

Referência bibliográfica:

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Reciclagem e reúso de equipamentos eletroeletrônicos**. Brasília, 2024. 177 p.

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do 3º Contrato de Gestão CGEE 2º Termo Aditivo/Ação: Informação Estratégica para o Programa de Computadores para Inclusão – 1.10.05.01.01.02/MCTI/MEC/2023.

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos nesta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada a fonte.



Reciclagem e reúso de equipamentos eletroeletrônicos

SUPERVISÃO

Fernando Cosme Rizzo Assunção

COORDENAÇÃO

Carlson Batista de Oliveira

EQUIPE TÉCNICA DO CGEE

Egmar Alves da Rocha

Arthur de Oliveira Dias

Carlos Duarte de Oliveira Júnior

Guilherme Dias Barbosa

Rayany de Oliveira Santos

Rogério da Silva Castro

EQUIPE TÉCNICA DA UFPR

Aguinaldo dos Santos

Ricardo Sastre

Renato Bertão

Isabella Rodrigues da Cunha

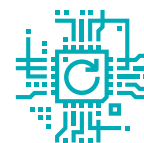
Maria Eduarda Dunker

Yasmine Rudek Rodrigues



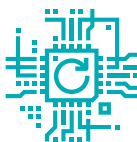
Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Onde o futuro está presente



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	9
RESUMO EXECUTIVO	11
1. CONTEXTO	13
Profissionais e pesquisadores entrevistados	14
2. MÉTODO DE PESQUISA	17
3. INTRODUÇÃO	21
3.1. Definição de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEEs)	21
3.2. Cenário atual e tendências para REEEs	23
3.3. Composição material do REEE	26
3.4. Impactos ambientais do REEE	27
3.5. Impactos sociais do REEE	28
3.6. Impactos econômicos do REEE	30
4. POLÍTICAS ASSOCIADAS AO REEE	33
4.1. Evolução histórica	33
4.2. Política de prevenção de REEEs	39
4.3. Política voltada à minimização da ocorrência de REEEs	40
4.4. Política voltada à reutilização de REEEs	42
4.5. Política voltada ao reparo de REEEs	43
4.6. Política voltada à reciclagem de REEEs	45
4.7. Política voltada à recuperação energética de REEEs	46



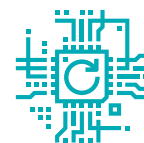
4.8. Política de tratamento e destinação de REEEs	47
4.9. Política de planejamento e governança de REEEs	48
4.10. Política para a sustentabilidade econômica da gestão de REEEs	49
4.11. Política para a promoção de comportamentos e o desenvolvimento de competências associadas a REEEs	50
4.12. Política de inclusão social por meio da gestão de REEEs	52
4.13. Política de integração da TIC na gestão de REEEs	53
4.14. Lacunas e oportunidades de avanço na política nacional de REEEs	54

5. ABORDAGENS PARA A PROMOÇÃO DO REÚSO E REPARO DE REEEs

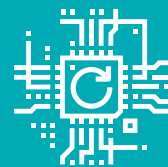
	59
5.1. Implementação de legislação/regulamentação acerca do direito ao reparo	59
5.2. Aplicação compreensiva da responsabilidade estendida do produtor	60
5.3. Incentivos financeiros, fiscais e subsídios	62
5.4. Disponibilização e intercambialidade de dados e informações	64
5.5. Campanhas sistemáticas e regulares de conscientização	66
5.6. Integração de educação e capacitação a serviços de reparo/reúso de REEEs	68
5.7. Design de produtos orientados ao reúso/reparo	70
5.8. Incentivo a programas e projetos de voluntariado voltados a REEEs	71
5.9. Garantia de qualidade ao usado/reparado	73
5.10. Serviços de certificação da limpeza dos dados no REEE	74
5.11. Implantação de <i>marketplaces</i> com ou sem fins lucrativos	76
5.12. Amostra de implicações para a política nacional de desfazimento	78

6. TECNOLOGIAS DE RECICLAGEM DE REEEs

	81
6.1. Desmantelamento	81
6.2. Trituração e classificação mecânica	83
6.3. Processos hidrometalúrgicos	87



6.4. Processos pirometalúrgicos	89
6.5. Processos eletroquímicos	91
6.6. Processos biotecnológicos	94
6.7. Tecnologias de reciclagem emergentes	97
7. BENCHMARKING INTERNACIONAL	99
7.1. Estados Unidos	99
7.2. Inglaterra	105
7.3. Japão	110
7.4. Dinamarca	115
7.5. Considerações sobre a situação brasileira	119
CONCLUSÃO	129
REFERÊNCIAS	133
LISTA DE FIGURAS	172
LISTA DE QUADROS	172
LISTA DE CASOS	173
SIGLAS E ABREVIATURAS ENCONTRADAS NESTA PUBLICAÇÃO	174



APRESENTAÇÃO

O projeto Informações Estratégicas para o Programa Computadores para Inclusão foi estruturado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) com vistas a atender a uma demanda do Departamento de Projetos de Infraestrutura e de Inclusão Digital (Depin) vinculado à Secretaria de Telecomunicações do Ministério das Comunicações.

A demanda trazia dois eixos norteadores. O primeiro tratava da necessidade de entender qual é o estado da arte no que se refere ao tratamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEEs). O segundo eixo objetivava a busca por soluções tecnológicas que pudessem apoiar o Programa nos processos operacionais dos parceiros e oferecessem aos gestores do Programa Computadores para Inclusão informações estratégicas para o processo de gestão e para a tomada de decisões.

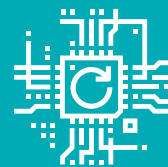
O primeiro eixo foi o que conduziu à realização do estudo aqui apresentado, no qual se investigou como outros países – os poderes públicos, a legislação e a sociedade – lidam com a problemática dos REEE. Os pesquisadores buscaram então as referências em território nacional e em outras nações, concentrando o foco em quatro países (Estados Unidos, Inglaterra, Japão e Dinamarca) para a construção de um *benchmarking*, além de levantar e propor possíveis indicadores estratégicos para o Programa.

Os resultados obtidos a partir do estudo revelaram um panorama promissor para o contexto nacional, mas, ao mesmo tempo, mostraram a necessidade de se implementar políticas públicas voltadas ao aperfeiçoamento das práticas adotadas no Brasil.

Como consequência do esforço empreendido na realização deste trabalho espera-se o aproveitamento do conhecimento aqui trazido para o aperfeiçoamento dos processos e das políticas adotadas, tanto no contexto do serviço público quanto na iniciativa privada.

Fernando Cosme Rizzo Assunção

Diretor-presidente do CGEE



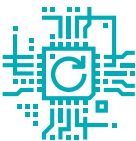
RESUMO EXECUTIVO

O estudo aqui apresentado tem como pano de fundo o projeto **Informação Estratégica para o Programa Computadores para Inclusão** (BRASIL, 2012), executado numa parceria entre o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) e o Ministério das Comunicações, com o suporte do Núcleo de Design e Sustentabilidade da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Resíduo de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) é definido, neste estudo, como produtos com campo eletromagnético/correntes elétricas que foram descartados, não havendo a intenção de reuso; que estão fora de operação devido a demanda de reparo; e/ou que se encontram no final de seu ciclo de vida. O texto apresenta, de forma concisa, os principais elementos que constituem REEE, incluindo materiais ferrosos, não ferrosos, cerâmicos e poliméricos, entre outros, ressaltando que cada componente eletroeletrônico apresenta materiais típicos (ex.: berílio e cobre na placa-mãe; cádmio e cloro nos cabos).

São revisados os principais impactos de REEEs: a) ambientais (ex.: presença de substâncias perigosas, como chumbo, mercúrio, cádmio); b) sociais (ex.: riscos à saúde humana ocasionados pela ingestão, inalação ou absorção pela pele, com repercussões como dificuldade respiratória, tremores e problemas neurológicos); c) econômicos (ex.: extração de materiais como cobre, ouro e prata e sua reintrodução no circuito econômico). O cenário é crítico e demanda ações urgentes: a longevidade de equipamentos eletroeletrônicos vem diminuindo na mesma proporção em que o seu consumo vem aumentando (atualmente, é o tipo de resíduo urbano que se acumula com mais rapidez [7,3 kg/pessoa/ano], sendo que apenas cerca de 20% dele é tratado por setores formais de reciclagem).

O documento técnico procura estabelecer encadeamento internacional e nacional em termos de convenções, legislações e normas, desde a Convenção da Basileia, passando pela Lei dos Resíduos, até o recente decreto sobre mecanismos de crédito, apontando temas em que haja a necessidade de avanços no arcabouço brasileiro, como ecodesign e reuso. Embasando os argumentos mais utilizados na literatura contemporânea, as várias dimensões que deveriam compor uma política voltada a resíduos são apresentadas: a) políticas de prevenção, tratando da concepção e implementação de programas, projetos e ações para a prevenção da ocorrência de REEE; b) mitigação da demanda por recursos em todas as etapas do ciclo de vida; c) implementação de estratégias que facilitam e estimulam o reuso; d) restauração ou atualização de eletroeletrônicos; e) reciclagem de materiais

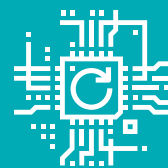


presentes em REEEs; f) recuperação energética; g) tratamento e destinação de REEEs que não podem ser reutilizados, reparados ou reciclados; h) planejamento e governança, com instrumentos para a gestão de REEE ao longo de toda a cadeia de valor; i) sustentabilidade econômica, com estratégias para a viabilização da gestão de REEE; j) promoção de comportamentos e desenvolvimento de competências associadas a REEEs; k) inclusão social por meio da gestão do REEE; l) integração de TIC para apoiar os processos voltados a REEEs.

Como o estudo tem como alvo os programas e projetos orientados à Política de Desfazimento dos REEEs oriundos do Estado, dedica-se um capítulo à revisão de estratégias de apoio às atividades de reúso e reparo, o que inclui: a) implementação de legislação/regulamentação acerca do direito ao reparo; b) aplicação compreensiva da responsabilidade estendida do produtor; c) incentivos financeiros, fiscais e subsídios; d) disponibilização e intercambialidade de dados e informações; e) campanhas sistemáticas e regulares de conscientização; f) integração de educação e capacitação a serviços de reparo/reúso; g) design de produtos orientados ao reúso/reparo; h) incentivo a programas e projetos de voluntariado; i) garantia de qualidade ao usado/reparado; j) serviços de certificação da limpeza dos dados; k) implantação de *marketplaces* com ou sem fins lucrativos; l) amostra de implicações para a Política Nacional de Desfazimento.

A definição da tecnologia a ser utilizada em um processo de reciclagem depende de vários fatores, desde a definição do material de interesse até a escala de processamento esperada. Para oferecer apoio aos tomadores de decisão, foram revisadas as principais definições e características, assim como as vantagens/desvantagens e os critérios de seleção para: a) desmantelamento; b) trituração e classificação mecânica; c) processos hidrometalúrgicos; d) processos pirometalúrgicos; e) processos eletroquímicos; f) processos biotecnológicos. A seção conclui com a revisão de algumas das principais tecnologias emergentes para a reciclagem de REEE.

Por fim, o texto apresenta o ponto de referência internacional entre Estados Unidos, Inglaterra, Japão e Dinamarca, abordando características e paradigmas presentes nas legislações, visão geral do sistema de cada país, financiamentos, responsabilidades e participação dos atores da cadeia de valor, mecanismos de controle e monitoramento, educação do consumidor e abordagens quanto ao design de equipamentos eletrônicos. São apresentadas reflexões obtidas a partir da comparação das práticas desses países com o sistema brasileiro de gestão de REEE.



1. CONTEXTO

O estudo é resultado de uma das iniciativas do projeto **Informação Estratégica para o Programa Computadores para Inclusão** (BRASIL, 2012), executado numa parceria entre o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) e o Ministério das Comunicações.

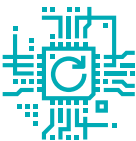
Na realização do estudo, o CGEE contou com o apoio do Núcleo de Design & Sustentabilidade da Universidade Federal do Paraná (UFPR), no âmbito de um contrato de pesquisa que teve como objetivo geral a realização de “estudos relacionados ao tratamento de resíduos eletroeletrônicos, em especial equipamentos de tecnologia da informação, com vistas ao diagnóstico da situação atual e *benchmarking* com países de referência, mapeamento de certificações e elaboração de indicadores e respectivo painel de visualização para suportar o programa Computadores para Inclusão”.

O programa Computadores para Inclusão é uma ação do governo federal, executada pelo Ministério das Comunicações, para implementação de políticas de inclusão digital por meio de parcerias com Organizações da Sociedade Civil (OSC) e de outras esferas de governo.

O projeto Informação Estratégica para o Programa Computadores para Inclusão teve como objetivo dar suporte à Secretaria de Telecomunicações do Ministério das Comunicações na produção de informação gerencial e estratégica para acompanhamento e avaliação do Programa Computadores para Inclusão. Adicionalmente, proporcionou a realização de estudos técnicos da situação atual no tratamento de resíduos eletroeletrônicos, mapeou certificações relevantes e realizou levantamento para estabelecer um ponto de referência (também conhecido como *benchmarking*) internacional buscando a construção de um panorama evolutivo para o programa Computadores para Inclusão.

O estudo apresentado nesse documento técnico buscou estabelecer o estado da arte acerca das políticas, estratégias e soluções vinculadas à gestão da reciclagem de equipamentos de TI, incluindo:

- O tratamento dos resíduos resultantes (Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos – REEE);
- A evolução histórica do tema;
- Os diferentes paradigmas teórico-práticos;



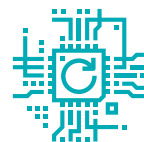
- Indicadores de acompanhamento e avaliação;
- As práticas de sucesso mais difundidas e soluções emergentes;
- Legislação relevante.

A dimensão dos indicadores é tratada em profundidade em outro estudo. Importante destacar que o relatório tem alinhamento teórico com o conteúdo de estudo anterior acerca da gestão de resíduos em cidades, realizado pelo Núcleo de Design & Sustentabilidade da UFPR no âmbito do projeto [Observatório de Inovação para Cidades Sustentáveis](#), intitulado “[Políticas e soluções para cidades sustentáveis: resíduos sólidos](#)” (CGEE, 2022).

Finalmente, ressalta-se que a primeira versão do relatório contou com a colaboração, por meio de entrevistas, dos profissionais e pesquisadores listados a seguir. Essa primeira versão foi, então, submetida à apreciação dos participantes do workshop de validação realizado em 26 de julho de 2023, tendo sido absorvidas e integradas ao estudo as contribuições recebidas.

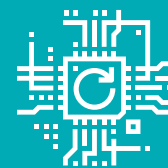
Profissionais e pesquisadores entrevistados

- Ademir Brescansin – GreenEletron
- Andrea Moura Bernardes – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
- Angela Maria de Macêdo – CRC/Recife
- Humberto Gracher Riella – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
- Julio Cesar Hessel – CRC/Instituto Nova Ágora de Cidadania
- Lisete Celina Lange – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
- Paulo Roberto Nunes Corrêa – CRC/Núcleo Comunitário e Cultural Belém Novo
- Vilmar Simion Nascimento – CRC/Programando o Futuro
- Wanda Maria Risso Günther – Universidade de São Paulo (USP)



Participantes do workshop de validação

- Ademir Brescansin - GreenEletron
- Gustavo André Fernandes Lima - Ministério das Comunicações (MCom)
- Helen Souza Brito - Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos (Abree)
- José Luís Neves Xavier - Ministério do Meio Ambiente (MMA)
- Levi Santos Duarte - Ministério da Gestão e Inovação em Serviços Públicos (MGI)
- Lucia Helena da Silva Maciel Xavier - Centro de Tecnologia Mineral (Cetem/MCTI)
- Maximiliano Martinhão - Ministério das Comunicações (MCom)
- Paulo Germano Fonteles Bezerra - CRC/Instituto Idear
- Vilmar Simion Nascimento - CRC/Programando o Futuro



2. MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa foi realizada utilizando como método de pesquisa principal a revisão bibliográfica sistemática (RBS), apoiada de forma complementar pela revisão bibliográfica assistemática e, também, pela realização de processo de *benchmarking*.

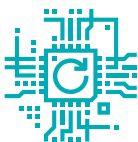
Na etapa de planejamento, buscou-se refinar o escopo da pesquisa, dado ser esse um fator determinante do tempo de realização da RBS (TRANFIELD *et al.*, 2003). Esse refinamento partiu da pergunta principal da pesquisa: “Qual o estado da arte sobre a gestão da reciclagem de equipamentos de tecnologia da informação?”, tendo como interesse principal o conhecimento pertinente ao Programa Computadores para Inclusão (BRASIL, 2012). A etapa incluiu a catalogação das fontes primárias; a definição de *strings* de busca (combinações de palavras-chave); e os critérios de inclusão e qualificação de conteúdo. O Quadro 1, a seguir, apresenta a estrutura geral do protocolo de pesquisa adotado na RBS.

Quadro 1: Planejamento da RBS

COMPONENTE	CRITÉRIO
Objetivo da pesquisa	Revisão do estado da arte sobre a gestão da reciclagem de equipamentos de tecnologia da informação
Palavras-chave	<i>E-waste, management, design, sustainability, life cycle, circular economy, policy, eco-friendly, electronics, government, electronic waste, legislation, circular design, recycling, end-of-life, ICT, waste management, information technology, IT, electronic waste, e-waste management</i>
Âmbito da pesquisa	Periódicos internacionais revisado por pares, língua inglesa
Crítérios de pesquisa	30 primeiros resultados em ordem de relevância a partir da aplicação de <i>strings</i> de busca
Período de busca	5 anos (2018 a 2023)
Crítérios de exclusão	<i>Material science, electronic engineering, solar panels</i>
Crítérios de inclusão	<i>Government, management, policy, programs, sustainability</i>
Plataforma de busca	www.periodicos.capes.gov.br ; Google Scholar
Campos de busca	Qualquer campo

Fonte: Elaboração própria.

As buscas realizadas na literatura seguiram a proposição de Conforto, Amaral e Silva (2011), na qual se utilizam três filtros de leitura para identificar os principais artigos (filtro 1: leitura do título, das palavras-chave e do resumo; filtro 2: leitura da introdução e da conclusão do artigo e releitura

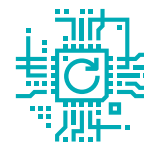


do título, das palavra-chave e do resumo; filtro 3: leitura completa do texto). O quadro a seguir descreve os *strings* de busca utilizados ao longo desse processo, sendo que na última coluna é descrito o número de artigos que passaram pelo filtro 1. Os artigos que passaram pelos filtros 1 e 2 foram arquivados no Google Drive e Mendeley e registrados em uma planilha de controle. Na mesma planilha, os trechos relevantes identificados em cada artigo foram devidamente codificados de maneira a facilitar o agrupamento de conteúdos e a saturação teórica, sendo, mais tarde, utilizados no conteúdo do presente estudo.

Quadro 2: Resultados da aplicação dos *strings* de busca no filtro 1 da RBS

N	STRINGS DE BUSCA			RESULTADO	FILTRO 1
1	waste	electronic	management	24.371	27
2	e-waste	policy	circular	129	20
3	e-waste	monitoring	strategy	28	7
4	electronic	waste	reduction	7.838	5
5	consumption	sustainability	e-waste	105	15
6	disposal	e-waste	collection	314	12
7	eletronic	circular	design	6.318	14
8	eletronic	waste	trade	879	6
9	policy	electronic	life cycle	1.622	3
10	elecronics	recycling	schemes	8.570	6
11	regulation	electronic	life cycle	17.100	3
12	e-waste	circular	economy	1.840	8
13	e-waste	data	management	1.041	17
14	waste	electronic	end-of-life	692	15
15	e-waste	regulation	public	80	9
14	electronic	design	circularity	224	8
15	electronic	reuse	management	2.804	16
16	e-waste	disposal	program	74	16
17	e-waste	monitoring	strategy	29	5
18	strategy	e-waste	government	56	8
19	framework	management	e-waste	183	9
20	e-waste	policy	government	101	16
21	e-waste	legislation	program	13	7
22	e-waste	project	program	23	3
23	electronics	standards	initiative	1.397	0
				75.831	255

Fonte: Elaboração própria.



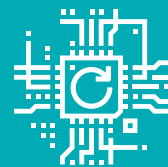
Importante notar que a formulação dos primeiros *strings* empregou tanto resultados iniciais e sugestões advindas da plataforma da Capes e do Google Scholar como do conhecimento da equipe de pesquisa e de respostas a perguntas feitas às inteligências artificiais do ChatGPT (2023), Ora (2023) e Atlas.ti (2023).

A revisão bibliográfica sistemática (RBS) foi complementada com a revisão bibliográfica assistemática (RBA), que se deu principalmente por meio da busca das referências-chave citadas pelos artigos revisados a partir do filtro 2. Essas referências adicionais incluíram não somente artigos de periódicos revisados por parceiros, mas, também, relatórios de pesquisa, publicações de organismos internacionais, livros, dissertações e teses, além textos de blogs, websites e podcasts.

Tendo em vista a ênfase nas estratégias de reúso e reparo, que são os temas de maior interesse do Programa Computadores para Inclusão (BRASIL, 2012), buscou-se identificar casos de sucesso no âmbito internacional que tivessem características inovadoras e relevantes para o escopo do projeto. Esse *benchmarking* contribuiu para a validação externa dos resultados teóricos obtidos e para a ampliação da compreensão e ilustração das implicações práticas das postulações contidas no relatório.

A análise da revisão bibliográfica sistemática/assistemática, associada aos resultados obtidos no *benchmarking*, seguiu processo análogo à *grounded theory* (SANTOS, 2018). Ela incluiu ciclos repetidos de revisão, comparação e síntese, que resultaram na estrutura do presente relatório. O cruzamento entre a teoria e os casos revisados seguiram, portanto, um processo de abstração e saturação teórica cumulativa, resultando na elucidação do estado da arte pretendido no objetivo estabelecido para esta pesquisa.

A busca da validação interna e externa dos resultados do estudo incluiu a realização de duas etapas de avaliação: a) workshop de análise e proposição de metacenários para ações de extensão do ciclo de vida de computadores não mais utilizados pelo Estado; b) workshop de apresentação dos resultados para o CGEE e múltiplas partes envolvidas (*stakeholders*), com o prévio encaminhamento da versão 1.0 do documento técnico.



3. INTRODUÇÃO

3.1. Definição de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEEs)

Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEEs) contemplam todos os tipos de equipamentos eletroeletrônicos descartados, para os quais já não se tenha demanda de uso, que estejam fora de operação devido a demanda de reparo e/ou que se encontrem no final de seu ciclo de vida (UNEP, 2007; DIAS *et al.*, 2018; SRIVASTAV *et al.*, 2023).

Os problemas decorrentes do surgimento desses resíduos eletrônicos estão relacionados à diversidade de materiais que apresentam risco ao meio ambiente, como chumbo, mercúrio, cádmio e cromo, entre outros. Sob o ponto de vista da saúde humana, as substâncias perigosas liberadas pelos REEEs apresentam características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade (AWASTHI *et al.* 2016; ZENG *et al.* 2013; ZHANG *et al.* 2012; BRASIL, 2010).

No escopo desses resíduos estão incluídos aparelhos domésticos de pequeno porte a grandes equipamentos utilizados no setor corporativo, como equipamentos hospitalares, automotivos, esportivos e de entretenimento (LI *et al.*, 2007; CHEN *et al.*, 2015), assim como subsistemas e componentes variados (ex.: baterias, fiação elétrica, circuitos impressos, invólucros de plástico, capacitores e vidro ativado) (LAMBERT *et al.*, 2015; ILANKOON *et al.*, 2018; SRIVASTAV *et al.*, 2023). A Diretiva 2012/19/UE da Comunidade Econômica Europeia estabelece dez categorias de resíduos eletroeletrônicos (EU, 2012), conforme Figura 1 a seguir:

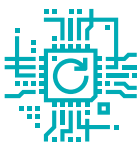
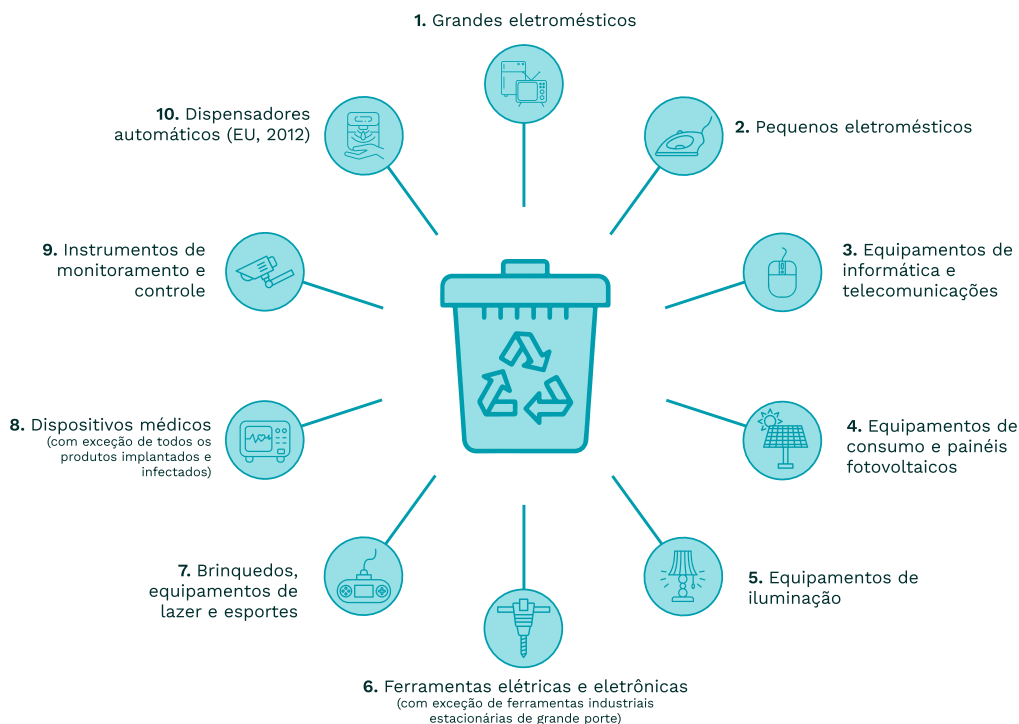


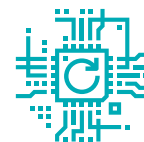
Figura 1: Categorias de REEE de acordo com a Diretiva 2012/10/UE



Fonte: Elaboração própria.

Baldé *et al.* (2017) apresenta classificação alternativa, propondo seis categorias de REEE:

- i Equipamentos de troca de temperatura: refrigeradores, freezers, aparelhos de ar-condicionado, bombas de calor;
- ii Telas e monitores: televisores, monitores, notebooks, tablets;
- iii Lâmpadas: lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de LED, lâmpadas de descarga de alta intensidade;
- iv Equipamentos de grande porte: máquinas de lavar roupas, secadoras de roupas, fogões elétricos, grandes impressoras e copiadoras, painéis fotovoltaicos;
- v Pequenos equipamentos: aspiradores de pó, torradeiras, micro-ondas, ventiladores, balanças, calculadoras, rádio, barbeadores elétricos, chaleiras, câmeras, brinquedos, ferramentas eletrônicas, dispositivos médicos, equipamentos de monitoramento e controle;



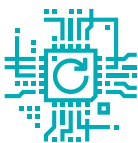
- vi Pequenos equipamentos de informática e telecomunicações: telefones celulares, GPS, calculadoras de bolso, roteadores, computadores pessoais, impressoras, telefones.

Ao mesmo tempo em que REEEs oferecem riscos ambientais, também apresentam oportunidades de natureza econômica, pois configuram-se como fontes potenciais de recursos materiais valiosos e/ou críticos, como ouro, paládio, prata, índio e terras raras (BAHERS; KIM, 2018). A recuperação desses materiais e sua reintrodução no circuito econômico contribui para o alcance de modelos econômicos mais sustentáveis para o setor. Entre as oportunidades econômicas geradas pelas atividades associadas à extensão do ciclo de vida dos REEEs está a ampliação das oportunidades de geração de renda, tanto informais como formais e a contribuição para a implementação e consolidação de associações e cooperativas de catadores, com potencial de oferta de serviços com maior valor agregado (OLIVEIRA, 2016).

3.2. Cenário atual e tendências para REEEs

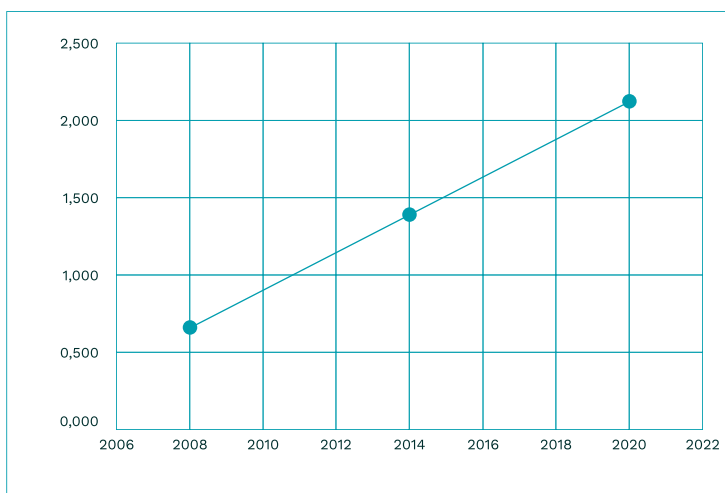
O comércio de equipamentos eletroeletrônicos (EEE) cresce globalmente, impulsionado tanto pela aceleração da inovação tecnológica como pela velocidade com que esses aparelhos se tornam obsoletos estética e funcionalmente. No âmbito global, a sua longevidade tem reduzido de 10 para 2 anos para grandes EEs e de 24 para 9 meses para o caso de telefones celulares, por exemplo (KASPER *et al.*, 2011; ZHANG *et al.*, 2012; ONGONDO *et al.*, 2015; OLIVEIRA, 2016; KUMAR *et al.*, 2017; FETANAT *et al.*, 2021). Nesse cenário, o REEE consiste no resíduo de maior e mais rápido aumento entre os urbanos, chegando a 8% do total em economias desenvolvidas (FETANAT *et al.*, 2021; ALBLOOSHI *et al.*, 2022) e cerca de 5% de todos os resíduos sólidos gerados globalmente (BAHERS e KIM, 2018; ULLAH *et al.* 2019; PALANISAMY; SUBBURAJ, 2023).

Em 2019, o mundo gerou 53,6 milhões de toneladas métricas de REEEs, refletindo uma média global de 7,3 kg/pessoa/ano (VAN YKEN *et al.*, 2021; ATTIA *et al.*, 2021), sendo que, desse total, apenas 17,4% foram coletadas e recicladas (SRIVASTAV *et al.*, 2023). Estima-se que, até 2030, sejam alcançados cerca de 74,7 milhões de toneladas métricas de REEEs e, até 2050, 78 milhões (ASEFI, SHAHPARVARI e CHHETRI, 2019; ALBLOOSHI *et al.*, 2022; KUMAR *et al.*, 2022). As taxas de reciclagem de REEEs, porém, não estão aumentando na mesma proporção. Em 2020, apenas 20% do resíduo eletrônico produzido internacionalmente foi tratado por setores formais de reciclagem (BALDÉ *et al.*, 2017). Conforme Lase *et al.* (2021) a Europa recicla cerca de 42,5% dos seus resíduos, seguida pela Ásia, com 11,7%, a América, com 9,4%, a Oceania, com 8,8%, e a África, com 0,9%.



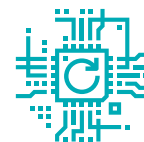
No Brasil, a dispersão dos agentes envolvidos e carência generalizada de infraestrutura para coleta e reciclagem torna difícil estimar a quantidade gerada de REEEs. De todo modo, em 2008, a estimativa nacional foi de 710 mil toneladas por ano, sendo que, em 2014, atingimos 1,42 milhão de toneladas, um aumento de 100% em 6 anos, que se contrapõe de forma severa com os 6,8% de aumento da população no mesmo período (IBGE, 2007; 2014; ARAÚJO *et al.*, 2012; UNU, 2014; DIAS *et al.*, 2018). Os dados do Global E-Waste Monitor apontam que, em 2020, o Brasil gerou 2,143 milhões de toneladas de REEEs, confirmando que o ritmo de crescimento mantém-se elevado (vide Figura 2). O mesmo relatório mostra que o país apresenta uma taxa de 10,2 kg/ano de REEEs por pessoa (FORTI *et al.*, 2020), enquanto a média global é de 7,3 kg/ano (SHITTU *et al.*, 2021).

Figura 2: Geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) no Brasil (2008 - 2020) (milhões de toneladas/ano)



Fonte: IBGE, 2014; DIAS *et al.*, 2018; SHITTU *et al.*, 2021.

Dias *et al.* (2022) estima que o Brasil recicle cerca de 77 quilotoneladas por ano (1 quilotonelada = 1.000 toneladas), o que representa apenas 3,6% do total de REEEs gerados. A infraestrutura para gestão do ciclo de vida do REEE é deficiente, sendo que a maioria das instalações (51,4%) processa ≤ 10 t por mês, fazendo uso de ferramentas manuais para desmontagem. Já as grandes instalações (≥ 100 t por mês), com processos avançados e automatizados, representam apenas 11,4% do total, mas são responsáveis pelo processamento de 70,5% dos resíduos. A infraestrutura existente ainda não permite a recuperação de materiais preciosos de REEEs (ex.: ouro, prata, terras raras), o que

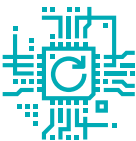


faz com que precisemos encaminhar para o exterior (principalmente EUA e Europa) os resíduos contendo esses materiais (DIAS *et al.*, 2022).

O rápido crescimento da geração de REEEs tem colocado o Brasil em primeiro lugar no ranking latino-americano, o que repercute de forma direta na preocupação, em todas as esferas da sociedade, com a gestão adequada desse resíduo no país. De fato, observa-se um crescimento na quantidade de iniciativas, tanto no âmbito do governo e sociedade civil quanto no âmbito do setor privado, voltadas para a promoção da gestão responsável do REEE (ex.: novos pontos de coleta, ampliação da capacidade de reciclagem). Contudo, como demonstra o conteúdo deste documento, alcançar efetividade e eficiência nessa gestão requer avanços em várias frentes. Os desafios incluem desde a ampliação e consolidação de arcabouço legal específico e compreensivo para o tema até a implantação de infraestrutura descentralizada e/ou distribuída para gestão eficiente de REEEs, além de esforços direcionados à educação e conscientização da população e do empresariado.

Globalmente, a expectativa é de que haja a continuidade do crescimento da produção de EEEs. Esse fenômeno decorre, em parte, do barateamento da produção associado aos avanços tecnológicos, responsáveis pela criação da inteligência artificial (IA), dos e-têxteis (têxteis inteligentes e vestíveis) e de produtos médico-hospitalares inovadores, pela automatização da agricultura e pela descoberta de fontes de energia renovável. Além disso, esse aumento deve ser impulsionado por um maior acesso das várias camadas econômicas da população a produtos como TVs 3D, comunicações celulares 5G, sistemas de realidade virtual, dispositivos de tela flexível e veículos elétricos. A rápida obsolescência estética e tecnológica, a miniaturização dos EEEs e as repercussões da Internet das Coisas devem manter-se como impulsionadores dos ciclos de vida curtos dos EEEs. Ao mesmo tempo, a escassez de alguns materiais, como térbio, ítrio e cobalto, assim como o aumento da demanda por níquel, devem impactar a ampliação dos esforços de promoção da mineração urbana e de ampliação da otimização do consumo material nos projetos de produtos eletrônicos (SHITTU *et al.*, 2021).

Este contexto amplia o desafio sobre os sistemas de reúso/reparo e/ou reciclagem, dado que as instalações e competências para esses fins também podem se tornar obsoletas rapidamente. Evitar esse risco demanda atuação com os fabricantes para que o design dos produtos contemple essas atividades. Como exemplos, podemos citar a adoção de soluções modulares, permitindo a fácil desmontagem e atualização, assim como a disponibilização, por parte dos fabricantes de informações, insumos e ferramentas para viabilizar reparos e reúso (SHITTU *et al.*, 2021).



3.3. Composição material do REEE

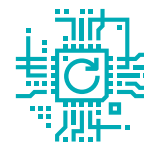
REEEs podem ser classificados de acordo com o material de fabricação, podendo conter mais de 1.000 constituintes diferentes (NEEDHIDASAN *et al.* 2014), alcançando 69 elementos da tabela periódica. Comumente, são formados por **materiais ferrosos, não ferrosos, cerâmicos e poliméricos, entre outros materiais** (SHITTU *et al.*, 2021). No âmbito dos polímeros, por exemplo, têm-se fortemente presentes policarbonatos, polietilenos, poliésteres, polipropilenos e fenol-formaldeídos, sendo este último utilizado em circuitos impressos (HABIB *et al.* 2023; SRIVASTAV *et al.*, 2023).

Cada componente eletroeletrônico apresenta materiais típicos: berílio e cobre na placa-mãe de computadores; cádmio e cloro nos cabos; chumbo na CPU, nos tubos de raios catódicos, nas baterias e nas PCIs; eletrólitos líquidos em capacitores. Cerca de 50% das peças de computadores pessoais contêm mercúrio, arsênio e cromo hexavalente (IŞILDAR *et al.* 2018; FETANAT *et al.*, 2021).

Os materiais presentes em REEEs também podem ser categorizados como **metais preciosos** (platina, ouro, rádio, prata, cobre, irídio, rutênio e ósmio), **matérias-primas críticas** (índio, cobalto, bismuto, paládio, antimônio, germânio, gálio, neodímio, ítrio, európio, lantânio, praseodímio, cério, gadolínio, térbio, disprósio, tântalo e platina) e metais não críticos (ferro e alumínio). Conforme Panchal *et al.* (2021) materiais críticos são encontrados em computadores pessoais, laptops, notebooks, telefones, telefones sem fio, smartphones, aparelhos de televisão, lâmpadas fluorescentes e lâmpadas contendo mercúrio.

Alternativamente, os materiais presentes no REEE podem, também, ser classificados como (i) **substâncias tóxicas** e (ii) **substâncias não tóxicas** (SRIVASTAV *et al.*, 2023). Elementos como arsênio, cádmio, cromo, mercúrio, chumbo e selênio e o lixo eletrônico resistente ao fogo são caracterizados como resíduos tóxicos (YAMANE *et al.*, 2011; WANG *et al.*, 2011; WANG E XU, 2014; AKRAM, *et al.* 2019). Eles estão presentes em amianto, baterias, tubos de raios catódicos, compostos orgânicos clorados e fluorados, plásticos contendo retardadores de fogo halogenados, capacitores, placas de circuito impresso e cartuchos de toner (VAN DER VOET *et al.* 2013).

Devido às suas características de fabricação, os EEs normalmente apresentam, em sua constituição, metais não ferrosos, como cobre e alumínio, além de metais valiosos, como prata, platina, ouro e paládio. Tipicamente, 50% a 60% de sua composição consiste em metais (especialmente ferro e aço), 15 a 21% em polímeros e 13% em metais não ferrosos. Outros elementos, como misturas de plásticos e metal (5%) e PCI (placa de circuito impresso) (2%), também estão presentes. Em PCIs, por exemplo, a presença de metais (ex.: cobre, alumínio, estanho) ocorre na ordem de 28 a 30% (LIU *et al.*, 2008; YAMANE *et al.*,



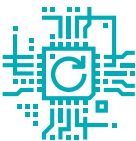
2011; WANG e XU, 2014; ARI, 2016; AKRAM *et al.*, 2019; YONG *et al.*, 2019; DEVAYANI *et al.*, 2020; PALANISAMY e SUBBURAJ, 2023). Esse componente tem mistura de resina reforçada com fibra de vidro e vários tipos de metal, sendo que suas características físicas e químicas especiais, incluindo a presença de muitos materiais tóxicos, como metais pesados, plástico PVC e retardadores de chama bromados (BFR), dificultam a sua reciclagem (LIU *et al.*, 2008). Essa ampla variedade de materiais pode ser encontrada, ainda, em outros componentes de REEEs, a exemplo dos capacitores, feitos de cerâmica, vidro, plástico, alumínio, tântalo, papel metalizado, teflon, poliéster, polipropileno e policarbonato (RAMACHANDRA; VARGHESE, 2004; SCHLUEP *et al.*, 2009; IŞILDAR *et al.*, 2018; IBANESCU *et al.*, 2018).

Importante ressaltar que, com a evolução das tecnologias eletroeletrônicas, os impactos associados aos REEEs também têm sido alterados. Os chips de computador, na atualidade, compreendem, em média, 61 elementos diferentes, em contraposição aos 12 que eram usados na década de 1980 (DENT; WALMER, 2010). Ao mesmo tempo, observa-se a tendência à miniaturização de produtos e, por consequência, a drástica redução do conteúdo material em várias das categorias de REEEs, inclusive na dos materiais preciosos, renováveis e atóxicos.

3.4. Impactos ambientais do REEE

Como demonstrado na seção anterior, o REEE pode ser considerado uma mistura não homogênea e complexa de componentes potencialmente tóxicos (WILLIAMS, 2016; KUMAR *et al.*, 2023), como chumbo, mercúrio, cádmio, cromo, retardadores de chama halogenados ou bromados, substâncias cloradas, bifenilos policlorados (PCB), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e gases de refrigeração (WIDMER *et al.*, 2005; COBBING, 2008; SEPÚLVEDA *et al.*, 2010; DIAS *et al.*, 2016; OLYMPIO *et al.*, 2017; BAHERS; KIM, 2018; LECLER *et al.* 2018; YONG *et al.*, 2019; PALANISAMY; SUBBURAJ, 2023).

Tanto do ponto de vista do meio ambiente como da saúde humana, as substâncias liberadas pelos REEEs podem ser categorizadas em dois tipos: a) **perigosas**: aquelas que apresentam características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, incluindo metais pesados, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, polidibenzofuranos, éteres difenílicos bromados e dibenzo-p-dioxinas policloradas; b) não perigosas: compreendem metais como cobre, selênio, platina e prata, entre outros (AWASTHI *et al.* 2016; ZENG *et al.* 2013; ZHANG *et al.* 2012; BRASIL, 2010). Portanto, fica claro que o grande volume de substâncias perigosas oriundas de REEEs, quando não gerenciado de maneira ambientalmente



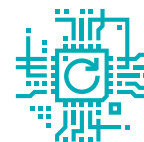
eficiente, dentro de limites permitidos e com estrito controle, representa uma ameaça latente (FETANAT *et al.*, 2021).

Vários resíduos eletrônicos primários perigosos (mercúrio, chumbo, cádmio, PCIs e outros tóxicos secundários de REEEs, incluindo hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, dioxinas e difuranos) são lançados no ambiente durante o próprio processamento para a reciclagem, principalmente por meio de lixiviação e solubilização do solo. Assim, quando usinas de reciclagem não adotam práticas adequadas na gestão de REEEs, elas se tornam uma das principais responsáveis pela **contaminação do solo** no seu entorno, devido à liberação de metais e outros contaminantes em concentrações elevadas (ex.: éteres difenílicos polibromados, dibenzo-p-dioxinas policloradas, dibenzofuranos e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos) (AWASTHI *et al.* 2016; LIU *et al.* 2008; SHEN *et al.* 2009; SRIVASTAV *et al.*, 2023; YONG *et al.*, 2019). A queima de cavacos metálicos e circuitos elétricos libera metais como cádmio, cobre e chumbo. Conforme relata a pesquisa de Luo *et al.* (2009), a contaminação por PBDE (éteres difenílicos polibromados) pode acometer solos agrícolas dentro de um raio de dois quilômetros de distância da usina de reciclagem. Ressalte-se, entretanto, que a exposição a substâncias nocivas pode, ainda, apresentar mais gravidade em atividades realizadas em instalações informais de reparo e reciclagem de REEEs (KIDDEE *et al.*, 2013; ALI; SHIRAZI, 2023).

Quando presentes em aterros sanitários, os contaminantes derivados de REEEs provocam **poluição da água**, afetando diretamente o conteúdo dos lixiviados e atingindo sistemas de esgoto e água subterrâneos (AWUAL *et al.* 2019; AWUAL 2019). Quando contaminantes tóxicos de REEEs invadem o ambiente aquático, ocorre o fenômeno da **bioacumulação** desses resíduos. Nesse processo, as raízes das plantas podem assimilar as toxinas, incluindo metais pesados, transmitindo-as para o seu caule, suas folhas e suas frutas. Essas frutas, por sua vez, podem ser ingeridas pelo ser humano, afetando sua saúde (MENG *et al.* 2014; SRIVASTAV *et al.*, 2023). Note-se que o nível dos impactos ambientais do REEE vai depender da idade de seus componentes, havendo, portanto, variação dentro da mesma categoria de resíduo (SRIVASTAV *et al.*, 2023).

3.5. Impactos sociais do REEE

Programas de reparo/reúso e reciclagem de REEEs, com o intuito de proporcionar inclusão digital às populações com menor condição financeira para adquirir equipamentos eletroeletrônicos novos, podem exercer relevante papel para a redução da desigualdade social. Contudo, alcançar isso pode

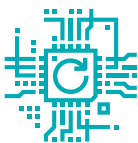


ser particularmente desafiador em uma realidade com um grande volume de organizações operando de maneira informal. Em tais contextos, as medidas de segurança e as condições de trabalho são frequentemente mais precárias, com baixa proteção socioeconômica em caso de enfermidade dos trabalhadores, que, tipicamente, provêm do estrato mais pobre da população (ILO, 2019; ALI; SHIRAZI, 2023; ZAMAN; LEHMANN, 2013).

Quando o REEE não passa por gerenciamento adequado, há impacto direto na saúde humana, principalmente por meio da sua ingestão, inalação ou absorção pela pele (MIELKE; REAGAN 1998; SRIVASTAV *et al.*, 2023). Indícios de intoxicação incluem dificuldade respiratória, desconforto respiratório, tosse, sensação de sufocamento, pneumonia, tremores, problemas neurológicos, coma e até a morte (ADAM *et al.*, 2021). Polímeros halogenados presentes em REEEs emitem fumaça contendo halogênio após incineração ou pirólise, como dioxinas, furanos e bifenilos policlorados, os quais podem causar câncer (LAU *et al.*, 2014; LABUNSKA *et al.*, 2014); altas concentrações de chumbo no sangue danificam o sistema nervoso, o sistema cardiovascular e os rins, afetando o desenvolvimento cerebral de bebês e crianças pequenas (THANOMSANGAD *et al.*, 2020); o cádmio pode provocar câncer nos rins, danos ao sistema nervoso e doenças ósseas (RAMACHANDRA; VAR-GHESE 2004; FETANAT *et al.*, 2021; PALANISAMY; SUBBURAJ, 2023); com a ação de microrganismos, o mercúrio inorgânico pode ser convertido em metilmercúrio, o que amplia o dano ao sistema nervoso humano; compostos de cromo danificam a sequência do nosso DNA e causam doenças respiratórias como a asma; aterros ou queima ilegal de retardadores de chama bromados e plásticos clorados emitem substâncias altamente tóxicas, como as dioxinas (CHIPPERFIELD *et al.*, 2020; LIU *et al.*, 2023).

Crianças e bebês são considerados os mais susceptíveis a patologias derivadas da exposição a contaminantes derivados de REEEs, principalmente devido à alta frequência com que respiram, são amamentados, ingerem alimentos e levam a mão à boca e à sua baixa eficiência da taxa de remoção de elementos tóxicos (GUO *et al.* 2012; XU *et al.*, 2018; SRIVASTAV *et al.*, 2023).

Destaca-se a exposição oral por meio do consumo de água e alimentos afetados por contaminantes oriundos de REEEs (ZENG *et al.* 2013; FU *et al.* 2008; SRIVASTAV *et al.*, 2023). Os metais pesados bioacumulados nos tecidos de plantas cultivadas em solo afetado são os principais responsáveis pelo aumento das concentrações desses compostos em produtos à base de carne (GONZÁLEZ-WELLER *et al.* 2006). Vários tipos de distúrbios podem ser manifestados entre seres humanos, incluindo problemas no sistema nervoso, urinário e cardiovascular, bem como no sangue, no fígado e nos rins, redução da capacidade de aprendizado e câncer (THOMAS *et al.* 2009; SINGH *et al.* 2010; BHUTTA *et al.* 2011; YAN *et al.* 2013; SRIVASTAV *et al.*, 2023).



3.6. Impactos econômicos do REEE

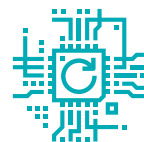
De acordo com o relatório Global E-Waste Monitor, da ONU (FORTI *et al.*, 2020), o consumo de equipamentos eletroeletrônicos (EEEs) está fortemente ligado ao desenvolvimento econômico. Balde *et al.* (2015), em estudo que comparou dados de PIB e população com o volume total de REEE gerado em 50 países, mostrou que esses índices são diretamente proporcionais (ou seja, quando maior o produto interno bruto, maior a quantidade de resíduos). Contudo, as mudanças climáticas e a escassez de recursos vêm impondo a revisão dos padrões de consumo e produção associados aos EEEs. Iniciativas contemporâneas têm buscado a reintrodução dos resíduos gerados, no modelo de economia chamado de circular, conforme exemplificado no Quadro 3, a seguir.

Quadro 3: Exemplificação de potenciais aplicações de materiais oriundos de REEE

MATERIAIS RECUPERADOS	FONTE	EXEMPLOS DE APLICAÇÃO
Metais-base	PCIs	Equipamentos elétricos, baterias, indústria de transporte, produtos para o ambiente construído
Metais preciosos	PCIs, resistores de chips de celulares	Jóias, aplicações odontológicas, eletrônicos, aplicações industriais
Níquel	Baterias de níquel e cádmio	Baterias, ligas metálicas, aço inoxidável, mobiliário, revestimento
Lítio e cobalto	Baterias de Lítio	Galvanoplastia, baterias, imãs, resistências cerâmicas
Metais pesados e fosfato de bário	Tubos de raios catódicos	Aplicações ópticas, painéis solares, ligas de metal, celulares
Cromo	Tubos de raios catódicos e baterias	Aço inoxidável, controle do açúcar no sangue em pessoas com diabetes
Plástico	Cabos e carenagem de computadores	Combustíveis, embalagens, sacolas plásticas
Mercúrio	PCIs e interruptores	Termômetros, ligas, baterias
Cádmio	Semicondutores e resistores de chip	Baterias, revestimentos contra corrosão, pigmentos, estabilizadores de polímeros
Arsênico	Tubos de raios catódicos, PCIs e LCD (Liquid Christal Display)	Semicondutores, vidro
Terras raras	Imãs	Câmeras, lentes de telescópios, imãs, sistemas de refrigeração eficiente

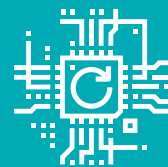
Fonte: DAVE *et al.* (2016); GARLAPATI (2016); ALAM *et al.* (2022).

REEEs representam uma fonte potencial de recursos materiais de grande valor econômico, posto que geralmente contêm materiais valiosos e críticos, como ouro, paládio, prata, índio e terras raras (BAHERS; KIM, 2018). Estima-se que o valor econômico total dos resíduos eletrônicos é de U\$62,5 bilhões por ano, reforçando a relevância das atividades de mineração de materiais (WORLD



ECONOMIC FORUM, 2019; DIAS *et al.*, 2016; DIAZ *et al.*, 2016; NELEN *et al.*, 2014; DIAS *et al.*, 2018). O cobre, elemento mais concentrado em PCBs, e metais preciosos como o ouro e a prata têm justificado economicamente o processo de reciclagem (PALANISAMY; SUBBURAJ, 2023), o que contribui para se alcançarem modelos mais sustentáveis.

Entre as consequências econômicas das atividades associadas à extensão do ciclo de vida dos REEEs está a ampliação das oportunidades de geração de renda, tanto informais como formais e a contribuição para a implementação e consolidação de associações e cooperativas de catadores (OLIVEIRA, 2016). Conforme UNIDO (2009), enquanto o mero descarte de computadores não traz qualquer benefício social, as atividades de reparo e reúso geram 296 postos de trabalho para cada 10 mil toneladas de REEEs/ano. Os serviços realizados passam pela coleta, a triagem, o reparo e a reciclagem, demandando diferentes competências, que vão desde trabalhos manuais (ex.: desmontagem) até aqueles de elevada sofisticação técnica (ex.: classificação de REEE via inteligência artificial).



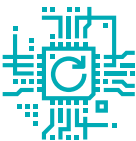
4. POLÍTICAS ASSOCIADAS AO REEE

4.1. Evolução histórica

Dois eventos em 1988 podem ser apontados como acionadores das iniciativas globais associadas ao REEE. O primeiro foi o caso da barcaça de carga Khian Sea, que foi carregada com mais de 14 mil toneladas de cinzas tóxicas na Pensilvânia, Estados Unidos, e recusada em Nova Jersey e no Caribe. Depois de navegar por 16 meses, os resíduos foram despejados como "fertilizantes de solo" no Haiti. Outro incidente no mesmo ano envolveu cinco navios que transportaram 8 mil barris de resíduos perigosos da Itália até a cidade nigeriana de Koko, em troca de um aluguel mensal de 100 US\$, pago a um nigeriano pelo uso de suas terras agrícolas. Esses e outros acontecimentos similares no período levaram à formação da Convenção da Basileia, em 1989, que teve como foco conter o fluxo de substâncias venenosas para fora de países desenvolvidos. Note-se que a gestão dessas substâncias já estava na agenda ambiental internacional desde o início da década de 1980, quando foi incluída como uma das três áreas prioritárias no primeiro Programa de Montevideu sobre Direito Ambiental do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), em 1981 (PATIL; RAMAKRISHNA, 2020).

O esforço global para combater os REEEs foi impulsionado pelo reconhecimento dos riscos ao meio ambiente e à saúde, pela necessidade premente de cooperação e articulação internacional, pela necessidade de adoção e disseminação de mecanismos regulatórios e pela promoção de práticas mais sustentáveis. Neste sentido, a Convenção da Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Descarte, adotada em **1989**, configura-se como um dos principais marcos na introdução desses esforços. A convenção, que tem o Brasil como um de seus signatários, visa, fundamentalmente, minimizar a geração de resíduos eletrônicos perigosos, regular seu movimento transfronteiriço e promover uma gestão ambientalmente mais saudável. O REEE é uma das categorias de lixo cobertas pela Convenção da Basileia, que marcou o início dos diálogos e acordos envolvendo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), a União Internacional de Telecomunicações (ITU) e outras organizações internacionais.

O país é signatário de outras convenções-chave para o contexto do REEE, como a Convenção de Estocolmo (busca eliminar globalmente a produção e o uso de algumas substâncias tóxicas) e a



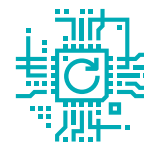
Convenção de Minamata (controle e redução de uma série de produtos, processos e indústrias em que o mercúrio é usado, liberado ou emitido).

No âmbito de alguns países, observa-se a proliferação de iniciativas com uma ampla diversidade de configurações, que vão desde aquelas lideradas por governos até aquelas coordenadas por empresas e comunidades locais. Entre elas, destaca-se o Swico, implantado em **1991** na Suíça. Ele foi o primeiro sistema de reciclagem de lixo eletrônico, tendo começado com a coleta de refrigeradores antigos e passado, gradualmente, a abranger todos os tipos de dispositivos. A organização Swico consiste em uma parceria entre varejistas de produtos de TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação) (DOAN; LEE, 2019). Dentre as iniciativas globais, destaca-se o Global E-Waste Statistics Partnership (Gesp), fundada em **2017** pela União Internacional de Telecomunicações (ITU), a Universidade das Nações Unidas – Programa de Ciclos Sustentáveis (UNU-SCYCLE) – e a Associação Internacional de Resíduos Sólidos (ISWA). O Gesp, agora, é implementado pela ITU e a UNITAR-SCYCLE (GLOBAL E-WASTE STATISTICS PARTNERSHIPS, 2023).

Do ponto de vista das regulamentações voltadas ao REEE, talvez o marco mais importante tenha sido a Diretiva Europeia 2012/19/UE que versa sobre resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. Esse documento converteu-se em lei europeia em fevereiro de **2003**, passando a abranger todos os aspectos da reciclagem de todos os tipos de aparelhos. Cabe mencionar, ainda, a Diretiva Europeia 2011/65/UE, publicada em 2011, que restringe o uso de certas substâncias perigosas em equipamentos eletroeletrônicos colocados no mercado europeu, como chumbo, mercúrio e cádmio (EU, 2011). Concomitante ao seu lançamento, em **2003**, foi publicada a Diretiva de Restrição de Substâncias Perigosas (RoHS) (ex.: chumbo, cádmio, mercúrio, cromo hexavalente, bifenil polibromado e éter difenílico polibromado).

Sob a perspectiva do projeto de EEE, um importante avanço ocorreu em **2009**, com a implantação, na Europa, da Diretiva de Ecodesign 2009/125/EC (EU, 2009a), que cria uma estrutura para definir requisitos para o design ecologicamente correto de produtos que usam energia (EuPs) e de produtos que estão relacionados à energia (ErPs). Em direta conexão com o tema do projeto de EEE está a BS8887-211 (Inglaterra), publicada em 2012, que trata do “design para fabricação, montagem, desmontagem e processamento de fim de vida”, relativamente aos processos de reutilização.

A primeira norma europeia totalmente dedicada à reutilização foi a EN62309, aprovada e publicada em **2004**, introduzindo requisitos e pré-requisitos como forma de verificar a confiabilidade e funcionalidade das peças reutilizadas e permitir a sua utilização em novos produtos. Em se tratando especificamente do REEE, atualmente, tem-se a EN 50614:2020, que trata da preparação do REEE para o reúso.

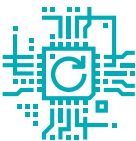


Sob a perspectiva das atividades de reparo/reúso destaca-se a norma PAS 141, publicada em **2011**, na Inglaterra. Ela especifica o gerenciamento do processo de reutilização de equipamentos eletroeletrônicos usados e descartados. Seus objetivos são: a) melhorar os padrões de reutilização e renovação de equipamentos eletroeletrônicos que atingiram o fim de sua primeira vida útil; b) atender à demanda dos consumidores pela garantia de que os produtos elétricos usados adquiridos sejam seguros para uso e adequados para a sua finalidade. Em 2014, a Alemanha implementou a norma VDI2343, que trata da reciclagem e reutilização de equipamentos eletroeletrônicos. Esses dois regulamentos contribuíram para a formulação e publicação, em **2020**, da norma europeia EN 50614: “Requisitos para a preparação para reutilização de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos”.

Esse contexto internacional encontra eco, ainda que com algum atraso, nas políticas e legislações no Brasil. Em 2010, o país implementou a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que estabeleceu diretrizes para a gestão de resíduos em geral, incluindo o REEE. Ela prioriza a redução da produção de lixo, a reciclagem e o descarte adequado. Também incentiva a responsabilidade estendida do produtor (EPR), que responsabiliza fabricantes pela coleta e tratamento adequado dos restos de seus produtos no final de seu ciclo de vida, incluindo aqueles adquiridos pelo Estado.

Como decorrência da assinatura da Convenção de Minamata, foi promulgado o Decreto nº 9.470, de **2018** (BRASIL, 2018a), que proíbe, a partir de 2020, a produção, importação ou exportação de produtos contendo mercúrio (CETEM, 2023). O normativo tem implicação direta nos EEEs, pois o material está presente em produtos como lâmpadas fluorescentes, alguns tipos de interruptores/relés e baterias. Em **2019**, foi publicada a Norma Técnica ABNT NBR IEC 63000 – “Documentação técnica para a avaliação de produtos elétricos e eletrônicos com relação à restrição de substâncias perigosas”(ABNT, 2019) – embasada pela norma europeia EN 50581:2012, que, de maneira similar, influencia, ainda, a criação da Diretiva 2011/65/EU.

Em **2020**, foi promulgado, pelo governo federal, o Decreto nº 10.240 (BRASIL, 2020) que regulamenta o inciso VI do caput do art. 33 e o art. 56 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010) – que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos – e complementa o Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017 (BRASIL, 2017), quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. Nessa regulamentação, fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes são obrigados a implementar e estruturar sistemas de logística reversa para resíduos eletroeletrônicos após o uso pelo consumidor. Associada ao tema tem-se a norma ABNT NBR 16.156:2013, aplicável a organizações que realizam atividades da cadeia de manufatura reversa de resíduos eletroeletrônicos, com vistas à estruturação de um



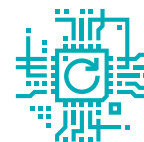
sistema de gestão voltado ao controle e mitigação das ocorrências de agressão ao meio ambiente e aos trabalhadores envolvidos nos processos de reciclagem de REEEs.

Em **2022**, o governo federal promulgou o Decreto nº 10.936, dando nova regulamentação à Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010). Sua principal inovação foi o lançamento do Programa de Logística Reversa, visando melhorar a coleta e a destinação ambientalmente correta do lixo eletrônico. O programa exige que fabricantes, importadores, distribuidores e varejistas implementem sistemas de devolução dessa categoria de produtos. Na perspectiva da PNRS, nasce o Acordo Setorial para Logística Reversa de Eletroeletrônicos, elaborado por entidades representativas do setor eletroeletrônico e o governo federal, com o desafio de implementar um sistema de âmbito nacional. Por meio desse acordo são estabelecidos cronogramas, metas e definições jurídicas, tributárias e ambientais, prevendo que, até 2025, seja feita a coleta e destinação correta de 17% do resíduo eletroeletrônico gerado no Brasil (BRASIL, 2019a).

Mais recentemente, em **2022**, o governo federal promulgou a Lei nº 14.479, que instituiu a Política Nacional de Desfazimento e Recondicionamento de Equipamentos Eletroeletrônicos. (BRASIL, 2022a). Ela inclui como objetivos: a) garantir o pleno exercício do direito ao acesso às tecnologias da informação e comunicação aos cidadãos brasileiros, dispondo-lhes os meios e insumos necessários para produzir, registrar, gerir e difundir conhecimento; b) contribuir para o descarte de equipamentos e bens de informática da Administração Pública direta e das autarquias e fundações, de maneira correta e sustentável; c) contribuir para a qualificação profissionalizante da população brasileira, estimulando a criatividade, a inovação, a geração de renda e o empreendedorismo; d) fomentar a pesquisa e o desenvolvimento de soluções nacionais nas áreas de ciência, tecnologia e inovação.

Em 13 de fevereiro de 2023, o governo federal publicou os Decretos nº 11.413 e 11.414 (BRASIL, 2023a; 2023b) sendo que o primeiro institui três novos instrumentos no âmbito dos sistemas de logística reversa:

- a) **Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa:** documento emitido pela entidade gestora que comprova a restituição, ao ciclo produtivo, da massa equivalente dos produtos ou das embalagens sujeitas à logística reversa;
- b) **Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral:** documento, emitido por entidade gestora, que certifica a empresa como titular de projeto estruturante de recuperação de materiais recicláveis e comprova a restituição, ao ciclo produtivo, da massa equivalente dos produtos ou das embalagens sujeitas à logística reversa e à reciclagem;

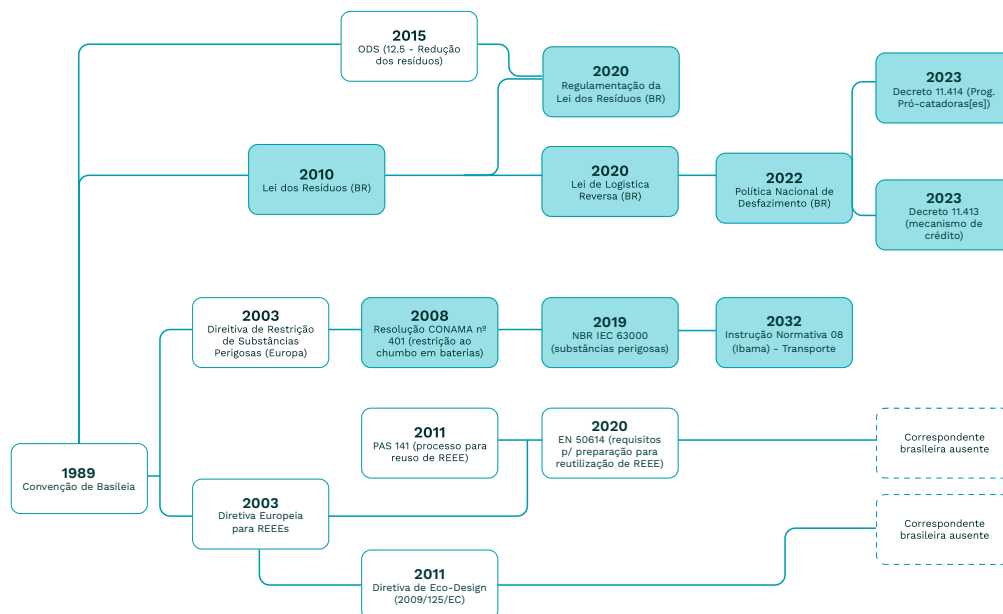


- c) **Crédito de Massa Futura:** documento emitido por uma entidade gestora que permite à empresa obter, antecipadamente, o cumprimento de sua meta de logística reversa, permitindo a implantação de sistemas de reciclagem estruturantes.

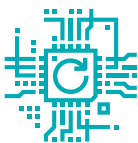
O Decreto nº 11.414/2023 (BRASIL, 2023b) trata de instrumento em prol dos **catadores de recicláveis e reutilizáveis**, instituindo o Programa Diogo Sant'ana Pró-Catadoras e Catadores para a Reciclagem Popular e o Comitê Interministerial para Inclusão Socioeconômica de Catadoras e Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis. Todos os instrumentos estão no âmbito dos sistemas de logística reversa e são regulados pela Política Nacional de Resíduos Sólidos.

O refinamento, a expansão e a consolidação das políticas brasileiras voltadas ao REEE é um desafio permanente. Há substanciais oportunidades de avanço no arcabouço da legislação atual, em temas como projetos de EEE, banimento de substâncias tóxicas e atividades de reuso e reparo, conforme ilustra a Figura 3, a seguir.

Figura 3: Evolução histórica das legislações associadas ao REEE: contexto nacional e internacional



Fonte: Elaboração própria.



Importante notar, na Figura 3, que as políticas associadas ao REEE se integram em diversos dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que constituem a agenda mundial adotada durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável realizada em 2015. Essa agenda é composta por 17 objetivos e 169 metas, a serem atingidos até 2030. A meta ODS 12.5 visa justamente reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio de prevenção, redução, reparo, reciclagem e reutilização.

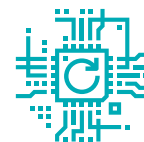
Um dos principais desafios brasileiros em se tratando do REEE é a deficiente aplicação das regulamentações e políticas nacionais (ECHEGARAY; HANSSTEIN, 2017; DOMINGUES *et al.*, 2016) e a incerteza relacionada a questões econômicas na logística reversa (BOUZON *et al.*, 2016; DIAS *et al.*, 2018). Para alcançar efetividade, essas políticas necessitam integrar uma perspectiva de ciclo de vida associada aos EEEs, além de educar os consumidores e adotar práticas de governança, planejamento, inclusão social e integração de tecnologias digitais emergentes no próprio processo de gestão do REEE (CGEE, 2022). É preciso contar, portanto, com uma perspectiva compreensiva e holística das diversas dimensões de uma política voltada ao tema, conforme ilustra a figura a seguir:

Figura 4: Perspectiva multidimensional de uma política compreensiva para REEEs



Fonte: Elaboração própria.

Nas seções subsequentes, essas várias dimensões da política associada ao REEE são apresentadas e debatidas.



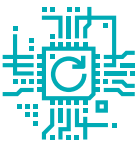
4.2. Política de prevenção de REEEs

Conforme Condemni *et al.* (2019), no nível mais elevado da hierarquia das decisões voltadas ao tema está a prevenção da ocorrência dos resíduos, e não apenas sua mitigação. A esse respeito, a Diretiva 2008/98/EC, da Comunidade Econômica Europeia, inclui, de forma específica, na definição da prevenção de resíduos, a redução da quantidade de substâncias tóxicas em materiais e produtos. Em contrapartida, no Japão, enfatiza-se a redução de resíduos em geral, e não somente das substâncias tóxicas.

Sua elaboração e implementação implica o desenvolvimento de soluções que alterem de forma mais profunda os atuais modos de consumo e produção, resultando em drástica **diminuição da demanda por EEE**. Trata-se, portanto, de repensar as relações de consumo e os estilos de vida mais intimamente associados a produtos eletroeletrônicos. Para que essa política alcance efetividade, é necessária a antecipação de medidas que contemplem os riscos de efeitos colaterais na cadeia de valor, uma vez que, paradoxalmente, os recursos economizados por meio da prevenção podem vir a ser utilizados justamente para ampliar o consumo.

Embora a reutilização e reparo de REEEs sejam essenciais para a economia circular, ao possibilitarem a prolongação da vida útil desses produtos e a redução da demanda por recursos materiais, esforços para se alcançar a efetiva minimização dos índices de consumo devem anteceder essas estratégias (SAKAI *et al.*, 2017; ALI; SHIRAZI, 2023). Isso significa promover o consumo suficiente (ex.: adquirir EEEs estritamente necessários), em oposição ao consumo eficiente (ex.: EEE que demanda menos energia). A mudança central de paradigma nessa política trata da mudança da crença de que crescimento econômico corresponde, necessariamente, a um aumento no consumo (SAKAI *et al.*, 2017). Há, naturalmente, um conflito entre os interesses dessa política e os dos fabricantes e distribuidores, que, via de regra, estão voltados ao aumento do faturamento por meio do aumento da produção e das vendas. E, frequentemente, o estímulo a esse aumento ocorre por meio de práticas como obsolescência tecnológica e estética programada (BARTL, 2014).

Quando não é possível suprimir a demanda por EEE, essa política busca estimular modos de consumo que priorizem estratégias voltadas ao **empréstimo, aluguel, compartilhamento, revenda ou mesmo doação** de EEEs, bem como a aquisição de **produtos mais duráveis**, funcional e esteticamente (HONDA *et al.*, 2016). Embora seu impacto seja limitado, as ações de prevenção podem contemplar desde o perfil dos materiais e os processos de fabricação até as estratégias de final do ciclo de vida. O uso de componentes orgânicos no projeto do EEE, por exemplo, vem sendo



apontado de forma positiva sob o ponto de vista do consumo de recursos, permitindo técnicas de produção mais simples, sem a necessidade de equipamentos específicos, salas esterilizadas ou produtos químicos perigosos.

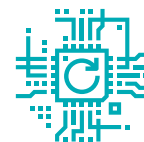
Sakai *et al.* (2017) argumenta que a efetiva promoção da prevenção de resíduos requer que produtos com maior impacto ambiental sejam identificados e priorizados. Outra ação eficaz passa pelo banimento da utilização de substâncias tóxicas ou do seu descarte em aterros sanitários (LIU *et al.*, 2023). Note-se que, no Brasil, o REEE é classificado, pela NBR 10.004, como classe I (perigoso), portanto, não pode ser desprezado com o lixo comum (ABNT, 2004).

Iniciativas que resultem em **produtos mais duráveis**, tanto estética como funcionalmente, constituem em estratégias centrais dessa política. De fato, as ações de reciclagem pós-consumo do REEE não têm se mostrado suficientes para contemplar o desafio ambiental a ele associado. Itens mais duráveis geralmente são desenhados para receber upgrade e manutenção de forma fácil e com baixo custo, o que reduz a demanda por novos EEEs e, por consequência, a quantidade de REEEs gerados.

4.3. Política voltada à minimização da ocorrência de REEEs

Essa política trata do desenvolvimento e implantação de programas, projetos e ações voltados à minimização da geração de REEEs em todas as etapas do ciclo de vida dos EEEs (SLOMSKI *et al.*, 2020). A diminuição na quantidade de matéria-prima empregada, que deve ser prevista desde a etapa de projeto do bem, tem impactos diretos na redução da massa de resíduos gerados. Entre as estratégias que podem permear essa política destacam-se:

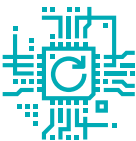
- **Digitalização:** estímulo a ações que possibilitem a disponibilização das funções providas pelo EEE de forma parcial ou integralmente digital e remota. A “virtualização” de estações de trabalho, por exemplo, pode minimizar o uso de recursos não só com EEE, mas também com outras demandas associadas ao ambiente construído e aos sistemas de mobilidade, por exemplo (ROY; BAG, 2009).
- **Miniaturização:** ações para estimular a drástica redução no tamanho dos EEEs e, por consequência, na demanda por recursos ambientais em todas as etapas do seu ciclo de vida. Aqui, inclui-se



a adoção de soluções de design que promovam uma diminuição no consumo de materiais, tanto na produção (ex.: espessuras das paredes de um EEE por meio da adoção de estruturas nervuradas) como na fase de uso (ex.: modo stand-by, em vez de protetores de tela). Discos rígidos menores (por exemplo, 2,5 polegadas) geralmente consomem menos energia do que os maiores. As unidades de estado sólido, em contrapartida, armazenam dados em memória flash ou DRAM. Por não haver partes móveis, o consumo de energia pode ser reduzido para dispositivos baseados em flash de baixa capacidade (ROY; BAG, 2009).

- **Otimização do uso:** estímulo a um uso mais frequente do EEE durante o seu ciclo de vida, por meio de medidas como o provimento de produtos multifuncionais ou o compartilhamento desses bens (LAMBERTON; ROSE, 2012; VASQUES, 2015). A estratégia tem implicações tanto para a prevenção de REEEs, com a supressão da demanda, como para sua minimização.
- **Servitização:** estímulo a modelos de negócios pautados pela promoção de apoio ao ciclo de vida do EEE ou, até mesmo, pela substituição da necessidade de sua aquisição. Aqui está incluída a oferta de Sistema Produto + Serviço (PSS) orientado ao produto (o usuário é proprietário do produto e há a oferta de serviços para apoiar o ciclo de vida do bem. Ex.: aquisição de laptop com pacote de manutenção integrado); PSS orientado ao uso (o usuário não é proprietário do produto, por isso, contrata acesso a uma plataforma de produtos e serviços para satisfazer suas necessidades. Ex.: contrato mensal de acesso a laptop + softwares); PSS orientado ao resultado (o usuário contrata o resultado, que culmina em sua satisfação, não havendo a operação dos produtos do sistema. Ex.: armazenamento de dados na nuvem) (VEZZOLI *et al.*, 2018).
- **Automação e/ou autonomia na operação de EEE:** estimular a adoção de soluções que reduzam o consumo excessivo de recursos, particularmente na fase de uso. Aqui, inclui-se, por exemplo, a adoção de soluções que automatizem ou permitam um aumento na autonomia do EEE para ligar/desligar ou sair do modo stand-by (ROY; BAG, 2009), o que pode demandar o uso de tecnologias de *machine learning* e inteligência artificial.

A minimização dos recursos associados ao REEE requer políticas que vão da interação do usuário com o EEE até perspectivas sociotécnicas e do espaço como um todo. No planejamento urbano, por exemplo, essa política pode culminar em uma dinâmica que resulte em uma intensificação dos serviços e em um aumento da eficiência das atividades da própria gestão do REEE. Essa proximidade dos atores amplia as oportunidades de sinergia entre as fontes geradoras de resíduos e os atores com potencial para absorvê-los ou processá-los.



4.4. Política voltada à reutilização de REEEs

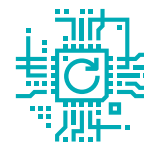
Essa política trata do desenvolvimento e implementação de programas, projetos e ações voltadas a estimular a reutilização de REEEs. A Política Nacional de Resíduos Sólidos [Lei nº 12.305, de 2010 (BRASIL, 2010)] define a reutilização como um processo que não deve demandar transformação biológica, física ou química dos resíduos. Reutilizar, portanto, implica estender a vida útil de bens eletroeletrônicos (ou suas partes) por meio de sua direta reintrodução em contextos de uso, mantendo ou não a sua função original.

Os esforços de reutilização necessitam **priorizar produtos que têm elevado impacto ambiental e econômico na fase de produção**, em comparação com a fase de uso. Na Suíça, a avaliação de cinco dispositivos (máquinas de lavar, geladeiras, televisores, laptops e smartphones) mostrou que, na primeira fase, o impacto ambiental predomina no caso dos smartphones e laptops (HISCHIER; BÖNI, 2021; PALANISAMY; SUBBURAJ, 2023). De maneira similar, o estudo de Intlekofer *et al.* (2010) demonstrou que bens com alto impacto na fase de uso podem se beneficiar de ciclos de vida reduzidos, sendo substituídos por tecnologia de melhor performance.

Uma política voltada à reutilização necessita contemplar a concepção e implantação de sistemas adequados para acomodar os diferentes estágios dos ciclos de vida dos produtos eletroeletrônicos e, ao mesmo tempo, as diferentes características dos atores do sistema. Por exemplo, a vida útil dos computadores pessoais (PCs) é geralmente menor nas grandes corporações/organizações do que em residências. Ao mesmo tempo, pessoas em situação de fragilidade socioeconômica ou instituições educacionais e/ou sem fins lucrativos podem ser os destinatários dos descartes das grandes corporações (INTLEKOFER *et al.*, 2010; GONZÁLEZ *et al.*, 2017).

Johnson *et al.* (2018) propõe que as principais estratégias para promover o reúso de REEE incluam:

- **Modelo da recuperação de equipamentos de rede:** processa REEEs especificamente associados a redes (por exemplo, servidores em rack, roteadores e *switches*), com ênfase naqueles provenientes de prestadores de serviços terceirizados, sendo suas peças e seus componentes redistribuídos para aproveitamento na implantação de redes.
- **Modelo de gerenciamento de ativos de TI:** lida com produtos como desktops, notebooks, tablets e telefones celulares provindos de usuários corporativos comerciais ou empresas de leasing que ofereçam serviço de devolução aos seus clientes.



- **Modelo de inclusão digital:** fornece computadores de mesa e laptops usados a pessoas em situação de vulnerabilidade social (via instituições educacionais e médicas ou organizações não governamentais locais). Os dispositivos para reutilização provêm de doações corporativas ou públicas.
- **Modelo de empresa social:** organizações que adquirem e preparam equipamentos, incluindo computadores e periféricos, para reutilização e venda, no varejo, para usuários individuais, geralmente com o objetivo de criar benefícios sociais (treinamento e criação de empregos para indivíduos desfavorecidos). Elas costumam se concentrar em computadores de mesa e notebooks recebidos como doação ou em produtos da linha branca (geladeiras, máquinas de lavar etc.).

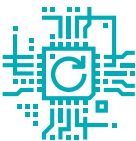
Importante notar que, globalmente, a taxa de reutilização de aparelhos eletroeletrônicos ainda é muito baixa, particularmente quando comparada aos fluxos de reciclagem. No caso da França, por exemplo, essa porcentagem chega a apenas 0,1% dos fluxos (BAHERS; KIM, 2018). Dessa forma, recomenda-se que políticas voltadas ao reuso contemplem o estabelecimento de metas nacionais específicas para o tema, ampliando-se as chances de alcance dos benefícios sociais, econômicos e ambientais esperados (LU *et al.*, 2017; DE OLIVEIRA NETO *et al.*, 2017; BAHERS; KIM, 2018).

4.5. Política voltada ao reparo de REEEs

Essa política tem, no seu escopo, programas, projetos e ações voltadas a reparar REEEs, de forma a possibilitar a extensão da sua vida útil, restabelecendo a sua funcionalidade parcial ou total ou renovando sua estética¹. Portanto, as ações de reparo de EEEs viabilizam o retorno de um produto funcional ao próprio usuário ou, alternativamente, seu repasse a outra pessoa.

Contemporaneamente, essa política está vinculada ao conceito de “direito ao reparo”, que tem permeado o conteúdo de regulamentações que buscam dar aos consumidores a possibilidade de reparar ou modificar seus próprios produtos. Essa ideia pressupõe que os proprietários dos bens não sejam obrigados a utilizar os serviços dos fabricantes (GOV UK, 2021; ALI; SHIRAZI, 2023).

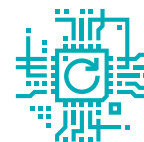
¹ Embora internacionalmente o termo “repair” (reparo) seja mais utilizado, no Decreto nº 10.936/2022 ele está ausente, sendo utilizados os termos “reutilização” e “recuperação”.



O conceito de “direito ao reparo” implica na utilização de soluções de design que resultem em uma maior manutenibilidade, com **a disponibilização de informações, softwares, peças e ferramentas, incluindo aquelas demandadas para diagnóstico, e a permissão do desbloqueio do REEE para a instalação de softwares personalizados.** Ademais, fabricantes de produtos eletrônicos necessitam **serviços de suporte** a esses procedimentos de manutenção (WORLD ECONOMIC FORUM, 2019; ALI; SHIRAZI 2023). De acordo com essa lógica, os fabricantes de EEEs devem fornecer aos consumidores os incentivos e a tecnologia necessários para garantir que seus produtos possam ser consertados de forma a durar mais tempo (DIAS *et al.*, 2018). Assim, o autorreparo requer que os equipamentos sejam desenhados com um elevado grau de “reparabilidade” (CHATTERJI, 2021), permitindo, inclusive, a atualização de hardware e software após determinado período de tempo (ALI; SHIRAZI, 2023).

Iniciativas e negócios de reparo/reutilização são usualmente mais benéficos para o meio ambiente do que os de reciclagem, já que esta tipicamente demanda elevado consumo de energia e/ou água e/ou químicos. Contudo, consertar REEEs para reutilização pode ser uma atividade complexa, desafiando os paradigmas convencionais do mercado. De fato, muitos equipamentos eletroeletrônicos foram fabricados com vistas a uma obsolescência estética ou tecnológica planejada, buscando estimular vendas futuras. Ainda é pequena a fração de bens do setor projetados visando ao reparo. Aliás, muitos chegam a dificultar a troca de componentes com defeito. Um dos motivos para isso é que ações destinadas a estender o ciclo de vida dos produtos podem levar a reduções no faturamento da empresa, se esta não migrar para modelos de negócio mais orientados para serviços. Há, também, o risco de se demandarem novos recursos e infraestrutura para o provimento de reparos em grande escala, o que pode contrabalançar os ganhos ambientais da atividade (ALI; SHIRAZI 2023).

Outro desafio que necessita ser considerado é a dificuldade dos fabricantes de fornecer componentes extras a terceiros ou a produtos de concorrentes, sendo relativamente baixo o seu nível de controle sobre a qualidade dos serviços de reparo. Como resultado, os clientes têm acesso limitado a esses serviços, além de custos totais elevados, o que, muitas vezes, torna o conserto economicamente inviável. Portanto, para a redução dos REEEs ser efetiva, é necessário que os artefatos associados ao restauro sejam acessíveis e apropriados não só para os clientes, mas para os prestadores de serviço e outros atores na cadeia de valor (ALI; SHIRAZI 2023). De outro modo, os custos de reparo podem superar os de um novo produto, tendo em vista que podem ser afetados pela mão de obra, pela logística excessivamente cara ou, ainda, pela indisponibilidade de peças de reposição (STEP, 2015).



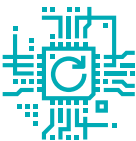
4.6. Política voltada à reciclagem de REEEs

Essa política contempla programas, projetos e ações voltadas a estender a vida dos REEEs que já não têm condições de reparo ou reúso, por meio da separação e do processamento de seus componentes, de forma a a viabilizar seu retorno à cadeia de valor. Sua aplicação contribui de forma direta para reduzir a demanda por matéria-prima virgem, mitigando a emissão de gases do efeito de estufa (FOELSTER *et al.*, 2016; DIAS *et al.*, 2018). Essa política pode, também, contribuir para a conservação da energia primária presente em EEEs. De fato, conforme Cui e Forssberg (2003), são armazenados até 95%, 85% e 74% de energia ao se reciclar alumínio, cobre e ferro/aço, respectivamente, em comparação com a sua geração a partir de matéria-prima virgem.

Seguindo o disposto na Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), essa política é baseada no reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como bem econômico de valor social, capaz de gerar trabalho e renda e de promover a cidadania. Integra, portanto, a “**economia circular**”, em que resíduos passam a ser compreendidos como recursos com valor passíveis de reingresso no ciclo econômico (GHARFALKAR *et al.*, 2016). Um sistema voltado ao REEE maximiza a quantidade de recursos materiais valiosos que voltam para a produção, gerando uma cadeia de suprimentos reversa (WORLD ECONOMIC FORUM, 2019).

No âmbito das cidades, uma política de reciclagem pode integrar o conceito de “**mineração urbana**”, que compreende diferentes processos tecnológicos com a finalidade de reinserir materiais secundários em cadeias produtivas (CETEM, 2023). A mineração urbana tem obtido frações significativas de prata, ouro e paládio em todo o mundo, sendo a própria indústria eletrônica a sua principal usuária (FETANAT *et al.*, 2021).

Dessa forma, o escopo das iniciativas vinculadas a essa política inclui desde a definição dos parâmetros e da dinâmica da infraestrutura de coleta e reciclagem até as **restrições a substâncias perigosas** e a **definição das responsabilidades** pelo financiamento, monitoramento e operação das atividades. Assim, são desenvolvidas estruturas legais e regulamentações para prevenir o despejo irregular de REEEs e definir padrões para as instalações e operações de reciclagem e para os controles de exportação e importação desses resíduos.



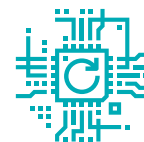
4.7. Política voltada à recuperação energética de REEEs

Essa política trata do desenvolvimento e implementação de programas, projetos e ações voltados à recuperação e aproveitamento energéticos de REEEs, contribuindo, assim, para a diversificação da matriz do país. A Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010) já estabelece que poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos. Para tanto, é necessária a comprovação da viabilidade ambiental e a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado por órgão ambiental. Note-se que a energia oriunda dos REEEs pode ser direcionada para o próprio processamento dos resíduos.

As políticas associadas à recuperação da energia presente no REEE podem incluir o estabelecimento de metas mínimas de geração de energia a partir do resíduo, contribuindo para reduzir o envio indevido para aterros sanitários. Parcerias público-privadas, bem como incentivos à pesquisa relacionada ao tema, podem ser estimuladas para o desenvolvimento de projetos.

Aqui, incluem-se as iniciativas de implantação de instalações, como incineração, gaseificação e pirólise, especializadas na geração de energia a partir de REEEs. A definição de parâmetros para a seleção das tecnologias mais apropriadas reside no centro das decisões dessa política. A gaseificação, por exemplo, tem vantagem sobre a pirólise, pois pode processar facilmente o plástico com diferentes composições ou misturado com outras matérias-primas. Seu maior desafio é a geração de alcatrão. Portanto, o produto gasoso precisa estar limpo para ser usado como matéria-prima para a geração de energia ou produção química. Em contrapartida, a energia necessária para o processo de gaseificação é maior do que na pirólise. Esta, por sua vez, é mais potente em relação à pirólise catalítica, à gaseificação e à tecnologia de fluido supercrítico (JADHAO *et al.*, 2022).

O estudo de soluções de geração de energia a partir de REEEs segundo modelos mais distribuídos é um paradigma emergente para o alcance de sustentabilidade, sendo necessário refletir sobre sua pertinência em dados locais. Sua adoção demanda a opção por soluções de menor escala, passíveis de serem operadas segundo as competências e infraestrutura local. O estudo de Bukhari *et al.* (2022), por exemplo, investigou o uso de nanogerador triboelétrico (TENG) para a criação de energia a partir de resíduos de plásticos e eletrônicos. Independentemente da configuração, é importante ressaltar que as definições tecnológicas necessitam contemplar uma abordagem integrada que permita, ainda, a recuperação de metais, conforme argumenta Jadhaio *et al.* (2022).



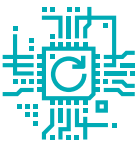
4.8. Política de tratamento e destinação de REEEs

Essa política trata do desenvolvimento e implementação de programas, projetos e ações para o tratamento de REEEs que não podem ser reutilizados, reparados ou reciclados, de maneira a eliminar ou mitigar seus impactos ambientais. A coleta inadequada desses resíduos e o despejo ou a queima descontrolados de REEEs ainda são uma realidade no país, com repercussões na poluição da água, do ar e do solo (DIAS *et al.*, 2018). Conforme a Abrelpe (2022), mais de 5.600 municípios brasileiros ainda descartam seus resíduos de forma irregular. Assim como em outras políticas associadas, é necessária a determinação de responsabilidades e penalidades para cada um dos atores. Como exemplo é possível apontar a estratégia da “**Responsabilidade Estendida do Produtor** (EPR)” (OECD, 2016), que atribui aos fabricantes a responsabilidade pela gestão do fim da vida útil dos produtos eletrônicos que produzem, desencorajando o uso de aterros.

A relevância dessa política reside no fato que o descarte inadequado de REEEs em aterros sanitários resulta na lixiviação, para o solo, de produtos químicos perigosos, como ácidos e metais pesados (como chumbo, mercúrio, cádmio, lítio e berílio), contaminando outros resíduos biodegradáveis. O impacto pode se estender a toda a cadeia alimentar devido à bioacumulação dos componentes perigosos na água e nas plantas (FU *et al.* 2008; LUO *et al.* 2011; CHAKRABORTY *et al.*, 2018; OHAJINWA *et al.*, 2018; PATIL; RAMAKRISHNA, 2020)

Por consistir em resíduo perigoso (Classe I) uma estratégia que vem sendo empregada em alguns países/estados é a **proibição ou a restrição do depósito de REEEs em aterros sanitários** (PATIL; RAMAKRISHNA, 2020), estimulando a adesão a opções mais adequadas, como reciclagem ou o descarte em instalações com tratamento adequado. Isso demanda a implementação de práticas de fiscalização e monitoramento para garantir a conformidade com as regras.

No Brasil, quando a opção de destinação final é a **exportação** de REEEs, é necessária autorização do Ibama, a autoridade competente perante a Convenção de Basileia. Esta tem, em seu escopo, o controle de movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos, estabelecendo mecanismos de controle baseados nos princípios da notificação e do consentimento prévio para a sua importação, a sua exportação e o seu trânsito. No Brasil, a convenção foi incorporada, na íntegra, ao Decreto nº 875, de 19 de julho de 1993 (BRASIL, 1993), sendo também regulamentada pela Resolução Conama nº 452, de 2 de julho de 2012 (CONAMA, 2012). Foi definitivamente proibida a importação de



resíduos perigosos a partir da promulgação da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010) – Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A empresa geradora dos resíduos deve possuir Licença Ambiental de Operação e fazer constar em seu Plano de Gerenciamento de Resíduos a destinação daqueles que estão sendo exportados (IBAMA, 2022).

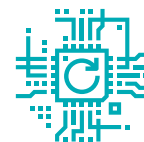
4.9. Política de planejamento e governança de REEEs

Essa política trata da implementação de programas, projetos e ações voltadas à instrumentalização do planejamento e da governança da gestão de REEEs, abrangendo desde atividades como coleta, triagem, reúso, restauro e reciclagem até o descarte seguro dos resíduos. Em sintonia com a Política Nacional de Resíduos (BRASIL, 2010), busca alcançar a regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização do acesso a serviços de gestão de REEEs.

Implementar essa política demanda o **envolvimento dos fabricantes e distribuidores** na gestão do ciclo de vida dos EEEs. Kumar *et al.* (2023) defende que políticas governamentais devem garantir que esses fabricantes assumam responsabilidade estendida para minimizar o impacto de itens obsoletos. A organização da participação das empresas pode ser realizada tanto de forma **individual** como **coletiva**, bem como liderada por **unidade ou programa governamental dedicado a este fim ou por entidade gestora setorial**. Esta pode representar fabricantes, importadores e distribuidores, coordenando desde o recebimento das contribuições financeiras das companhias até o planejamento e a implantação de soluções para a gestão de REEE, como sistemas de logística reversa (BRASIL, 2019a).

Um dos aspectos mais debatidos no âmbito dessa política é o estabelecimento de **metas de reciclagem**. Os modelos utilizados no mundo para a definição dessas metas incluem parâmetros como o peso dos produtos, a fatia de mercado ou, alternativamente, o desempenho da coleta de REEE no ano anterior. Presentemente, o Acordo Setorial de Logística Reversa de Eletroeletrônicos (BRASIL, 2019^a), com foco em REEEs de origem doméstica, tem como meta atingir 17% em peso para a reciclagem até 2025, sendo essa meta baseada no VCM (Volume Colocado no Mercado) de 2019.

A adoção de metas tem repercutido na utilização de tecnologias que instrumentalizam o monitoramento e controle do fluxo de REEEs (DIAS *et al.*, 2018; SRIVASTAV *et al.*, 2023) e a implantação da infraestrutura ao longo da cadeia de valor, com as **metas de estações de coleta** de REEEs nos



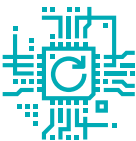
canais de varejo (DIAS *et al.*, 2018). Em outros países, tem ganhado espaço o efetivo emprego de matéria-prima reciclada, com iniciativas governamentais estabelecendo parâmetros mínimos em termos de **porcentagens de material reciclado** que deve estar presente em novos produtos (ALI; SHIRAZI, 2023; SRIVASTAV *et al.*, 2023). Note-se que a própria Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010) já estabelece, como um de seus objetivos, o incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista o fomento do uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados.

A participação da sociedade necessita ser estimulada para os programas e projetos de gestão de REEEs sejam efetivos. Isso inclui desde canais de diálogo entre grandes clientes de EEEs (ex.: governo) e fabricantes/distribuidores até coletivos de voluntariado voltados ao reparo e reuso. O Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020 (BRASIL, 2020), por exemplo, que trata da implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico, prevê a utilização de um “Grupo de Acompanhamento de Performance” como instrumento de governança. Entre as funções desse grupo, está justamente a revisão periódica anual do cronograma e das metas do sistema de logística reversa, a ser submetida à avaliação do Ministério do Meio Ambiente.

4.10. Política para a sustentabilidade econômica da gestão de REEEs

Essa política trata do desenvolvimento e implementação de programas, projetos e ações que garantam a sustentabilidade econômica do sistema de gestão de REEE, que permanece como um grande entrave para a implantação da universalização da oferta de serviços de gestão de resíduos no país (COSTA *et al.*, 2019). **Incentivos econômicos (ex.: benefícios financeiros, fiscais, recompensas)** podem ser oferecidos por governos para melhorar e ampliar os processos e as tecnologias de reuso, reparo e reciclagem.

Na política, são incluídos programas e projetos voltados a estimular a implantação e consolidação de organizações com **serviço de reparo** ou de **mercados (digitais ou físicos) de produtos de segunda mão**. Esses incentivos também podem ser direcionados para o descarte social, econômica e ambientalmente responsável de REEEs. O mecanismo mais comum de repasse financeiro para os sistemas de gestão ocorre a partir dos fabricantes, importadores e distribuidores, os quais realizam o **pagamento de taxas** diretamente para entidades gestoras ou para sistemas individuais, em valor



proporcional à participação no mercado. Dessa forma, grandes geradores são obrigados a atender a uma cota proporcionalmente maior de coleta e reciclagem de REEEs, tornando a busca pela responsabilidade produtiva estendida (ou responsabilidade ambiental estendida) uma estratégia bastante disseminada (ALI; SHIRAZI, 2023).

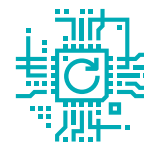
No âmbito dessa política, faz-se útil e necessário reconhecer os benefícios da **integração dos setores formal e informal** associados à gestão de REEE, ampliando a oferta de empregos e melhorando a saúde ocupacional e a segurança dos envolvidos (ALI; SHIRAZI, 2023; KUMAR *et al.*, 2023). Dessa forma, governos e entidades empresariais podem considerar a elaboração de programas e projetos dedicados aos recicladores informais, fornecendo incentivos financeiros e subsídios fiscais para sua atuação (KUMAR *et al.*, 2023). Implantar tais iniciativas frequentemente requer o desenvolvimento contínuo de **competências**, de maneira a instrumentalizar a transformação e a elevação do valor econômico resultante das atividades das pessoas que atuam no setor (SRIVASTAV *et al.*, 2023).

4.11. Política para a promoção de comportamentos e o desenvolvimento de competências associadas a REEEs

Essa política trata da implementação de programas, projetos e ações voltados ao desenvolvimento de competências relevantes às várias etapas da gestão do ciclo de vida do REEE e à promoção de comportamentos sustentáveis associados a esses produtos e respectivos serviços.

No âmbito do desenvolvimento de competências, os desafios dessa política são diversos, indo desde a complexidade e dos riscos dos processos até aspectos de natureza econômica. Como exemplo, Bozkurt e Stowell (2016) chamam atenção para o fato de que atividades de viabilização da reutilização de REEEs exigem mais habilidades e, ao mesmo tempo, são substancialmente menos lucrativas do que a reciclagem. De todo modo, o desenvolvimento continuado de pessoas é uma necessidade estratégica do setor. As três dimensões de competências necessárias têm, de maneira geral, as seguintes características:

- **Saber (conhecimento):** desde os riscos ambientais associados ao REEE até as políticas e legislações associadas ao tema; compreensão dos mecanismos de funcionamento dos dispositivos eletrônicos, do papel de seus componentes e das técnicas de produção associadas, além de domínio dos processos de montagem/desmontagem, reciclagem e descarte.

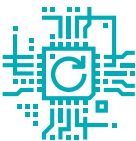


- **Saber fazer (habilidades):** capacidade de realizar os processos requeridos para viabilizar o reúso, reparo ou reciclagem de REEEs; inclui-se, aqui, a capacidade de realizar o trabalho de forma segura e ambientalmente adequada, tendo em vista a presença de materiais tóxicos e os riscos de contaminação do solo, água e ar; capacidade de resolver problemas e de organizar e melhorar continuamente o processo de gestão do REEE.
- **Saber ser (atitudes):** capacidade de trabalhar em times multidisciplinares; habilidade de se comunicar, necessária para transmitir informações sobre práticas de reparo, reúso, reciclagem e descarte de forma clara e concisa; pensamento crítico e adaptabilidade para um contexto de trabalho complexo e com grande volume de variáveis difíceis de serem controladas; interesse em buscar o aprendizado de forma continuada, tendo em vista a rápida evolução das tecnologias associadas ao EEE.

A adoção de práticas de consumo que resultam em menor geração de REEE requer atuação de todos os atores ao longo da cadeia de valor, **promovendo padrões de consumo e produção mais sustentáveis**. O reconhecimento dos impactos sociais, ambientais e econômicos associados ao REEE por parte dos consumidores, bem como a eventual adoção de padrões de consumo mais racionais, configura-se como um dos impactos mais importantes da aplicação bem-sucedida dessa política (STEP, 2015; MA; HIPEL, 2016).

Há vários modelos que auxiliam a estruturar a estratégia de busca de mudanças de comportamento e hábitos. No modelo de Prochaska e Norcross (2001), por exemplo, elas ocorrem de forma progressiva, atravessando os estágios de **pré-contemplação, contemplação, preparação, ação e manutenção**. No estágio da pré-contemplação, o indivíduo não tem a intenção de mudar o seu comportamento e não reconhece os problemas associados ao REEE; na contemplação, ele passa a estar ciente de que existe um problema com o REEE e começa a pensar em como agir; na preparação, esboça pequenas mudanças comportamentais; no estágio da ação, efetivamente modifica seu comportamento de forma duradoura; finalmente, no estágio da manutenção são realizadas ações para prevenir o retorno a padrões de consumo anteriores.

Essa política envolve ações voltadas à conscientização de usuários e todos os atores acerca dos riscos ambientais associados ao REEE, em todas as etapas do seu ciclo de vida (DIAS *et al.*, 2018; SRIVASTAV *et al.*, 2023). **Campanhas de conscientização**, por exemplo, podem promover mais visibilidade dos serviços de suporte ao reúso e reparo, ampliando o seu valor percebido (STEP, 2015). O desafio central é mudar o paradigma convencional que estabelece a lógica do “comprar-usar-descartar” para a lógica do “**comprar-usar-reutilizar-recuperar-reciclar**”.



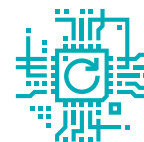
4.12. Política de inclusão social por meio da gestão de REEEs

Essa política trata da promoção da ampliação da equidade e coesão social por meio das atividades associadas à gestão do REEE, convertendo o problema em uma oportunidade para indivíduos e comunidades carentes e marginalizadas (HOANG; FOGARASSY, 2020). Para tanto, o escopo dessa política envolve o desenvolvimento de ações para a organização, a capacitação, a integração, o fortalecimento e a formalização de organizações em rede voltadas às atividades associadas à REEE. Essas organizações incluem cooperativas, associações, coletivos ou negócios sociais. Selecioná-las, capacitá-las e instrumentalizá-las para participar do processo de coleta, limpeza, reparo e encaminhamento de equipamentos eletroeletrônicos restaurados aos mais necessitados é uma estratégia que tem se mostrado eficaz em vários países. Essas e outras ações na esfera social podem ser articuladas com os programas de Responsabilidade Social Corporativa, ou ESG (*Environment, Social, Governance*), de empresas fabricantes, importadoras e/ou distribuidoras de EEEs ou, alternativamente, por meio de entidades gestoras de REEEs ou de programas governamentais dedicados ao tema.

Um desafio central dessa política é a integração da economia informal à formal, a fim de criar sistemas sustentáveis e eficazes para a gestão de REEEs, que resultem em efetiva melhoria na equidade e coesão social (ALI; SHIRAZI, 2023). A Política Nacional de Resíduos Sólidos [Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022 (BRASIL, 2022b)] considera esse aspecto quando prioriza a participação de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, constituídas por pessoas físicas de baixa renda.

Garantir melhores condições de trabalho e emprego às pessoas envolvidas no processo de coleta e reciclagem de REEEs é outro tema-chave para essa política. Trabalhadores em estações de desmantelamento/triagem e reciclagem de REEEs estão quase que invariavelmente expostos a substâncias químicas tóxicas, como dioxinas, éteres difenílicos polibromados e bifenilos policlorados (WORLD ECONOMIC FORUM, 2019). Esses riscos relacionados ao trabalho podem provocar danos físicos e doenças crônicas, incluindo asma, doenças de pele, neurite, inflamação ocular e problemas estomacais (LIU *et al*, 2023).

Importante notar que a eliminação do trabalho infantil no manuseio de REEEs mantém-se como ponto de atenção quando se buscam políticas para melhorar os padrões de operação no setor. De fato, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2021) há, atualmente, cerca de 73 milhões de crianças no mundo envolvidas na reciclagem informal de REEEs.

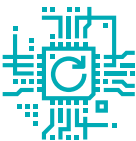


No âmbito governamental, assim como na esfera privada, programas e projetos sociais pautados pela extensão da vida do REEE por meio de mecanismos de desfazimento contribuem de forma direta para reduzir a desigualdade digital no país. Eles possibilitam o acesso de pessoas em situação de vulnerabilidade econômica a tecnologias digitais e, conseqüentemente, às oportunidades viabilizadas por essas tecnologias, como treinamentos, serviços online ou trabalho remoto. Ademais, conforme Franco e Lange (2011) a doação é o encaminhamento preferido para o REEE entre brasileiros. Para as empresas, doar computadores usados pode ajudar a demonstrar sua responsabilidade social corporativa, possibilitando que contribuam para causas relevantes e estabeleçam relacionamentos positivos com as comunidades.

4.13. Política de integração da TIC na gestão de REEEs

Essa política trata do desenvolvimento e implementação de programas, projetos e ações para a integração da tecnologia da informação e comunicação como apoio na gestão de REEE, possibilitando suporte ao processo de tomada de decisões (KAZA *et al.*, 2018). Integra-se nessa política ações voltadas ao aproveitamento do potencial das tecnologias digitais emergentes (ex.: AI, *blockchain*, IoT, big data, RFID, GPS) (CONDEMI *et al.*, 2019; KUMAR *et al.*, 2023), que ampliam a confiabilidade, transparência e eficiência dos sistemas de gestão de REEEs. Sua adoção tem permitido ampliar a rastreabilidade de EEEs ao longo de seu ciclo de vida, desde a fabricação até a reciclagem, contribuindo para a identificação de canais apropriados para sua gestão, incluindo a etapa de pós-consumo.

Um elemento central de um sistema de logística reversa para REEEs são as soluções de monitoramento de desempenho, posição geográfica e volumes/peso, entre outros aspectos. Alcançar a rastreabilidade de REEEs ao longo da cadeia de valor requer o abastecimento e manutenção de bases de dados para a gestão de recursos primários, como o ComexMin (Brasil), Urban Mining Platform (Europa) ou as edições do E-Waste Monitor (global). Para tanto, demanda-se o estabelecimento de padrões e protocolos que viabilizem o intercâmbio de dados e informações entre os vários atores com interesse no REEE. A esse respeito, a Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) TC 111 (<https://tc111.iec.ch/>) vem preparando normas internacionais horizontais e procedimentos/protocolos voltados ao REEE, considerando justamente a recuperação de materiais e o reúso de EEEs e seus componentes (CETEM, 2023).



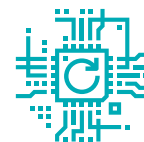
Com o aumento da rastreabilidade, amplia-se a eficiência do sistema de gestão de REEE e a capacidade de converter os recursos em resultado econômico (CETEM, 2023). Nesse sentido, a tecnologia *blockchain*, por exemplo, tem o potencial de permitir transparência e rastreabilidade de EEE/REEE contribuindo para reduzir os custos de gestão. Além disso, pode facilitar as atividades de separação e segregação, quando integradas à IoT (internet das coisas); agilizar as operações de cobrança de taxas e monitoramento de metas de reciclagem; reduzir a burocracia manual, acelerando os processos de validação e certificação; evitar retrabalhos e erros; e contribuir para a redução de fraudes e manipulações indevidas nos dados (FATIMAH *et al.*, 2020).

Essa política impacta inovações tanto no âmbito dos artefatos presentes na gestão de REEEs (ex.: lixeiras eletrônicas, sistemas de triagem de resíduos por imagem) como nos serviços voltados ao setor (ex.: serviços de apoio à decisão a partir de data science, monitoramento do posicionamento geográfico de caminhões de transporte de REEEs). Sua utilização cria novos modelos de operação, novas configurações e novos papéis para os atores no âmbito do sistema (ex.: novas organizações especializadas em implantar e manter sistemas de inteligência para e-waste). Estas inovações trazem oportunidades de ampliar a efetividade e eficiência do sistema, com a adoção de rotas otimizadas para a logística e a garantia de maior precisão na identificação dos volumes para mineração urbana, entre outras vantagens (PARDINI *et al.*, 2020; FATIMAH *et al.*, 2020).

4.14. Lacunas e oportunidades de avanço na política nacional de REEEs

A política nacional relacionada a resíduos eletroeletrônicos enfatiza predominantemente aspectos pertinentes ao planejamento e governança do sistema, como os mecanismos de participação da sociedade e o estabelecimento de metas; o escopo dos planos exigidos nas várias esferas de governo; as definições quanto ao perfil, aos papéis e às formas de cadastro e regularização dos atores do sistema; e as estratégias de controle e monitoramento do desempenho do sistema, incluindo as penalidades.

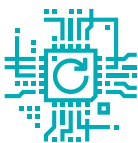
Outro aspecto que enfatiza a política nacional, consubstanciada na legislação e regulamentações vigentes, trata da sustentabilidade econômica do sistema de gestão de REEEs, como o disposto no Decreto nº 10.936 (BRASIL, 2022b), em que se propõem: a) incentivos fiscais, financeiros e creditícios; b) cessão de terrenos públicos; c) destinação dos resíduos descartados pela Administração



Pública federal às associações e às cooperativas de catadores; d) subvenções econômicas; e) estabelecimento de critérios, metas e outros dispositivos para as aquisições e contratações públicas; f) pagamento por serviços ambientais; g) apoio à elaboração de projetos no âmbito de mecanismos decorrentes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Destaca-se o Decreto nº 11.413 (BRASIL, 2023a) que regulamentou o estabelecimento de “Crédito de Reciclagem de Logística Reversa”; “Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral”; e “Crédito de Massa Futura”, instrumentos que contribuem de forma direta à viabilização econômica da gestão de REEE. Nesse contexto, algumas oportunidades de avanço podem ser identificadas, conforme descrito a seguir:

- Legislação/regulamentação, programas e projetos para ampliar a efetividade econômica da mineração urbana, incentivando o estabelecimento de uma infraestrutura para a recuperação de materiais valiosos e raros presentes em REEEs.
- Legislação/regulamentação, programas e projetos para promover o estabelecimento de organizações privadas voltadas ao reparo, certificação (ex.: certificado de saneamento de dados) e comercialização de equipamentos eletrônicos usados.
- Legislação/regulamentação, programas e projetos voltados à integração do setor formal com o setor informal ao longo do ciclo de vida de REEEs, contribuindo para a melhoria da saúde ocupacional e da renda dessa população.

Com menor presença no arcabouço legal brasileiro estão as políticas voltadas à promoção de comportamentos e competências para a gestão do ciclo de vida de REEEs e as políticas para a inclusão social. A promoção de comportamentos e competências relacionadas a REEEs está mais fortemente presente no Decreto nº 10.240 (BRASIL, 2020), que trata de logística reversa para EEEs e seus componentes domésticos, e a Lei nº 14.479 (BRASIL, 2022a), que trata da Política Nacional de Desfazimento e Recondicionamento de EEEs e do Programa Computadores para Inclusão (BRASIL, 2012). As estratégias de ação previstas incluem principalmente treinamentos para desenvolvimento de profissionais, promoção de educação ambiental e campanhas de conscientização de consumidores. As estratégias de ação previstas incluem o provimento de infraestrutura de trabalho para a população mais carente, o favorecimento no encaminhamento de resíduos provindos do Estado, a facilitação do acesso de cooperativas e associações de catadores a contratações públicas e o provimento de financiamento.

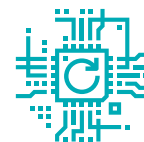


Quadro 4: Ênfases das leis/decretos nacionais em relação às categorias de políticas para REEEs

% DE CONTEÚDOS DIRETAMENTE VINCULADOS ÀS CATEGORIAS DE POLÍTICAS PARA REEEs						
Política Nacional de REEE	Lei nº 12.305 (2010) (Política Nacional de Resíduos Sólidos)	Decreto nº 10.240 (2020) (logística reversa p/ EEEs e seus componentes domésticos)	Decreto nº 10.936 (2022) (regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos)	Lei nº 14.479 (2022) (Política Nacional de Desfazimento)	Decreto nº 11.413 (2023) Crédito de Reciclagem de Logística Reversa	Decreto nº 11.414 (2023) Programa Pró-Catadoras(es)
Prevenção	2	0	0	0	0	0
Minimização	2	0	0	0	0	0
Reutilização	4	1	1	6	1	1
Reparo	2	0	0	6	1	0
Reciclagem	5	0	2	7	5	4
Recuperação energética	1	0	2	0	0	0
Tratamento e destinação	8	1	4	1	1	0
Planejamento e governança	49	64	60	22	48	40
Sustentabilidade econômica	15	6	12	8	19	21
Promoção de comportamentos	5	16	7	18	5	8
Inclusão social	3	1	7	22	6	25
Integração da TIC	3	9	6	10	12	1

Fonte: Elaboração própria.

Políticas associando as tecnologias de informação e comunicação à gestão de REEEs são encontradas em menor número, estando mais presentes no Decreto nº 11.413 (BRASIL, 2023a), que trata do estabelecimento de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa, Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral e Crédito de Massa Futura. As estratégias de ações presentes nas políticas em vigor atêm-se a demandas quanto ao fluxo de informações sobre EEEs/REEEs entre instituições privadas e públicas e interoperabilidade entre sistemas de informação; formas de viabilizar o controle e monitoramento de fluxos de EEEs/REEEs; emissões de relatórios regulares para o governo; e mecanismos de auditoria e segurança dos dados e informações. Há, claramente, necessidade de aperfeiçoamentos na legislação/regulamentação em vigor, de maneira a se estimular o uso do pleno potencial das tecnologias digitais emergentes (ex.:

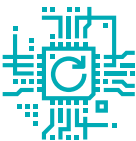


AI, *blockchain*, IoT, big data, RFID, GPS) para a gestão eficaz do ciclo de vida de EEEs, destacando-se as seguintes oportunidades de avanço:

- Legislação/regulamentação, programas e projetos para estabelecimento de padrões e protocolos de intercâmbio de dados e informações entre os vários atores envolvidos no ciclo de vida de REEEs.
- Legislação/regulamentação, programas e projetos para incentivo à implantação de tecnologias digitais emergentes para mais eficiência e eficácia na gestão de REEEs, assim como incentivos no estabelecimento de empresas provedoras de serviços ao setor a partir dessas tecnologias.

As políticas de prevenção e minimização da geração de REEEs são as menos presentes na política nacional, com reduzida menção a ações efetivas, muito embora os termos estejam amplamente presentes. Em se tratando de prevenção da geração de REEEs destacam-se as seguintes oportunidades de avanço:

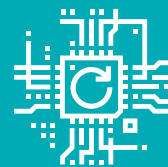
- Legislação/regulamentação, programas e projetos para a promoção de padrões de consumo que reduzam efetivamente o crescimento da demanda por recursos ambientais associados a EEEs, como o estímulo a modelos de negócio e hábitos de consumo que privilegiem o empréstimo, aluguel ou compartilhamento de EEEs, assim como a revenda e o desfazimento de REEEs.
- Legislação/regulamentação, programas e projetos para estimular a indústria a projetar produtos mais duráveis, tanto funcional como esteticamente; estímulo à miniaturização do projeto de EEEs, reduzindo drasticamente a demanda por recursos; estímulo ao desenvolvimento de EEEs multifuncionais; banimento de substâncias tóxicas nos produtos ofertados no mercado nacional.
- Legislação/regulamentação, programas e projetos que estimulem o provimento de funções providas pelo EEE de forma parcial ou integralmente digital, remota e compartilhada (ex.: virtualização de estações de trabalho).
- Legislação/regulamentação, programas e projetos que estimulem a servitização do consumo de EEEs, viabilizando modelos de negócio com ofertas de sistema produto + serviço (PSS) orientado ao produto (o usuário é proprietário do produto e há oferta de serviços para apoiar o ciclo de vida do bem); PSS orientado ao uso (o usuário não é proprietário do produto, contratando o acesso a uma plataforma de produtos e serviços para satisfazer suas necessidades); PSS orientado ao resultado (o usuário contrata o resultado que culmina em sua satisfação, não requerendo a operação dos produtos do sistema).
- Legislação/regulamentação, programas e projetos que possibilitem uma maior automação e autonomia da operação do REEE, de maneira a se alcançar um uso mais racional de recursos.



O conteúdo das políticas nacionais vigentes associadas ao tema reparo e reúso, embora citados nas legislações, apresenta direcionamentos pouco explícitos. Embora a reutilização seja priorizada em relação à reciclagem, não há explicitação quanto aos critérios e procedimentos para adoção de tal prática. Ademais, a Lei nº 14.479 (BRASIL, 2022a) enfatiza o setor público, carecendo de política análoga para o setor privado. Dessa forma, destacam-se as seguintes oportunidades de avanço nas políticas nacionais:

- Legislação/regulamentação, programas e projetos voltados a uma política de desfazimento que integrem o primeiro setor (governo), o segundo setor (empresa) e o terceiro setor (organizações sem fins lucrativos), avaliando a possibilidade de estabelecer metas para o reúso.
- Legislação/regulamentação e programas voltados ao estabelecimento do “direito ao reparo”, possibilitando que usuários tenham a capacidade de consertar seus equipamentos eletrônicos, obtendo acesso às ferramentas, aos componentes e aos softwares necessários para isso. Essas iniciativas podem incluir o estabelecimento do “índice de reparabilidade” entre os fabricantes, tangibilizando a capacidade dos equipamentos de receber atualizações de hardware e software e estabelecendo critério indutor de melhorias por meio das compras do Estado; aqui, incluem-se as leis/regulamentações que estabeleçam critérios e protocolos para facilitar a montagem/desmontagem e a atualização dos EEEs.
- Legislação/regulamentação e programas de incentivo ao reparo ou reúso, incluindo o estímulo ao estabelecimento de plataformas voltadas a esse fim, provendo suporte à melhoria contínua das competências dos atores envolvidos nessas atividades.

Dado que este estudo tem como foco contribuir para o Programa Computadores para Inclusão (BRASIL, 2012), a próxima seção aprofundará o debate sobre potenciais avanços nas políticas e estratégias nacionais em se tratando do reúso/reparo.



5. ABORDAGENS PARA A PROMOÇÃO DO REÚSO E REPARO DE REEES

5.1. Implementação de legislação/regulamentação acerca do direito ao reparo

A implementação de legislação/regulamentação voltada a estabelecer o direito dos consumidores ao reparo de seus próprios dispositivos eletroeletrônicos tem o potencial de induzir práticas junto à indústria que facilitem e viabilizem essa prática e, por consequência, ampliar a adesão de usuários/clientes a ela (BARROS; DIMLA, 2021). De fato, leis e regulamentações podem estabelecer protocolos e requisitos mínimos para possibilitar o acesso a ferramentas, informações e componentes imprescindíveis ao conserto. Conforme ilustrado a seguir, pode ser definido sistema de pontuação para o grau (ou índice) de reparabilidade de produtos. Tal iniciativa tem se mostrado eficaz em contribuir para o empoderamento do consumidor, do governo e das corporações no que toca ao fornecimento de informações a respeito da durabilidade e da existência de suporte para realização da atividade de reparo (BRACQUENÉ *et al.*, 2021). Algumas das obrigações dos fabricantes incluem a disponibilização de peças para permitir a troca pelo consumidor, mesmo após o encerramento da fabricação de um dado bem, e o reparo com ferramentas comuns (LECLERC; BADAMI, 2020; KLOSOWSKI, 2021).

Caso 1: Índice de réparabilité - França



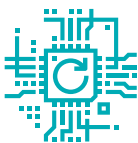
Caso 01 - Índice de réparabilité França

Descrição: O Índice de Reparabilidade foi adotado na França para laptops e celulares, com nota que vai de 0 a 10 e inclui 5 critérios: a) documentação; b) ferramentas e desmontagem; c) disponibilidade de peças; d) preço das peças de reposição; e) especificidades da categoria de produto (ex: disponibilidade de suporte remoto).

Perfil da organização: Governo

Website: <https://www.ecologie.gouv.fr/indice-reparabilite>





No Brasil, está em tramitação projeto de lei que trata do direito de reparar. O PL no 6.151/2019 dispõe, entre outras questões, sobre a obrigatoriedade dos fornecedores de produtos eletroeletrônicos de disponibilizar manuais e peças de reposição aos consumidores. O projeto tem como um de seus objetivos permitir a venda de qualquer peça de reposição para equipamentos eletrônicos e a livre distribuição de manuais de serviço, das informações necessárias para a troca das peças e de quaisquer softwares requeridos para a manutenção desses equipamentos (BRASIL, 2019b).

5.2. Aplicação compreensiva da responsabilidade estendida do produtor

Programas e projetos orientados a implantar a responsabilidade estendida do produtor (REP) configuram-se como instrumentos que atribuem aos fabricantes/importadores o compromisso com a gestão do ciclo de vida de seus produtos. No Brasil, a REP está presente na Lei nº 12.305/2010, que instituiu a Responsabilidade Compartilhada por meio da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Ela envolve o estabelecimento, por parte do produtor de EEEs, de esquemas de devolução de produtos pós-consumo para serem reutilizados, reparados, reformados, remanufaturados ou reciclados (LECLERC; BADAMI, 2020). No âmbito internacional, a abordagem mais frequente envolve a utilização de um agente representativo das empresas produtoras/distribuidoras de REEEs, conforme ilustra o exemplo a seguir.

Caso 2: SWICO - Suíça



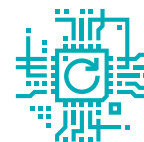
Caso 02 - SWICO - Suíça

Descrição: A associação comercial administra o sistema de devolução de REEE em nome de seus membros e coordena com o governo nacional para garantir a conformidade aos parâmetros de gestão do ciclo de vida de REEE.

Perfil da organização: Entidade Gestora de REEE

Website: <https://www.swico.ch/en/>





O estado, como um dos grandes clientes do setor de eletroeletrônicos, tem na REP instrumento passível de ser integrado em processos licitatórios para o envolvimento dos fabricantes na gestão do final do ciclo de vida do REEE, conforme preconiza a própria legislação. De fato, a REP prevê a transferência do ônus de gestão (administrativa, financeira, física) de REEEs dos governos para os produtores, baseado no princípio do “poluidor-pagador” e na internalização dos custos associados (LECLERC; BADAMI, 2020). Note-se, aqui, que o conceito de poluidor é transferido do consumidor final para o agente econômico, que tem mais capacidade de decisão e responsabilidade sobre os impactos ambientais decorrentes do consumo (EC, 2014). Essa abordagem, porém, não implica na ausência de atribuições dos clientes/usuários de eletroeletrônicos, como exemplificado no caso SWaCh (Índia), a seguir.

Caso 3: SWaCH - Índia



Caso 03 - SWaCH - Índia

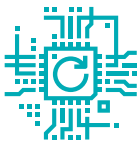
Descrição: Usuários de grandes volumes de EEE devem descartar seus resíduos eletrônicos somente por meio de um centro de coleta autorizado por uma Entidade Gestora. Ajuda seus associados a alcançar requisitos regulamentares para descarte seguro e responsável.

Perfil da organização: Cooperativa

Website: <https://swachcoop.com/initiatives/e-collect/>



A REP caracteriza-se como uma abordagem efetiva de promoção ao reúso, reparo e reciclagem adequada de REEE ao integrar a responsabilidade financeira, física, comunicacional e de interação entre o produtor/fabricante e diversos atores do setor. A implementação da REP pode ocorrer por meio de acordos coletivos ou individuais, podendo ocorrer de iniciativas de uma marca específica contemplarem os resíduos provindos de outras marcas, como exemplificado no caso reportado a seguir. Portanto, a REP pode contribuir de forma direta para o aumento do grau de reparabilidade dos EEEs, tendo em vista o interesse imediato dos fabricantes em soluções de reparo eficientes quando há metas para tal (LECLERC; BADAMI, 2020).



Caso 4: Dell - Malásia



Caso 04 - Dell - Malásia

Descrição: A filial da Dell na Malásia estabeleceu um site de reciclagem que receber todas as marcas de computadores descartados para reciclagem gratuita. Oferece taxa de incentivo para reciclagem de produtos Dell.

Perfil da organização: Empresa

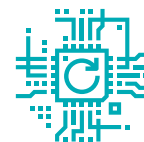
Website: www.dell.com/en-my



Existem diversos esquemas para se implementar a responsabilidade estendida do produtor, sendo que os mais comuns são pautados por arranjo financeiro e/ou físico. O financeiro refere-se ao pagamento de taxas de reciclagem e financiamento de programas de recolhimento por parte das empresas fabricantes/importadoras/distribuidoras; já o físico demanda que a própria empresa crie e gerencie esquemas de devolução voluntária (PORTUGAISE *et al*, 2023). A flexibilidade na implementação da REP permite que diferentes abordagens sejam incluídas nas políticas de gestão de REEEs. Reitera-se que, para que o reuso e reparo sejam promovidos por meio dessa abordagem, é essencial que a extensão do ciclo de vida dos produtos seja incorporada às metas das empresas produtoras/importadoras que aderem a programas de REP.

5.3. Incentivos financeiros, fiscais e subsídios

Disseminar a atividade de reuso/reparo de REEEs demanda a elaboração de incentivos econômicos para que atores públicos e privados se motivem a participar ativamente no processo de extensão do ciclo de vida do produto eletroeletrônico. Como exemplo, pode-se citar os incentivos fiscais e subsídios financeiros para a oferta de bens reparáveis (SHEVCHENKO *et al.*, 2019; SIMPSON *et al.*, 2019). Serviços especializados para a concepção e implementação de sistemas digitais de gestão de REEEs podem ser cruciais para operacionalizar a dinâmica desses benefícios econômicos, como exemplificado no caso da organização Worldloop, da Bélgica.



Caso 5: Worldloop - Bélgica



Caso 05 - Worldloop - Bélgica

Descrição: Provê suporte para o projeto e implementação de redes de pontos de coleta, instalações de desmantelamento e reciclagem de REEE em países em desenvolvimento.

Perfil da organização: ONG

Website: <https://worldloop.org/>



Cupons, descontos, prêmios, gamificação, brindes ou até mesmo a remuneração do comportamento mais sustentável com moedas digitais (vide exemplo a seguir) já vêm sendo amplamente utilizados em todo o mundo como instrumentos para promover incentivos ao aumento das taxas de reparo e o reúso.

Caso 6: Recereum - USA

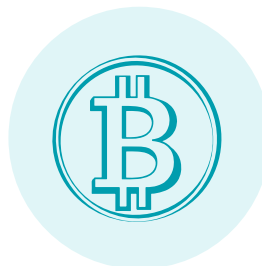


Caso 06 - Recereum - USA

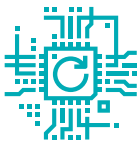
Descrição: Recereum é uma plataforma baseada em blockchain que transforma REEE em moeda digital. As moedas podem ser usadas como desconto na conta de energia, gás, coleta de lixo e em outros serviços de parceiros ou apenas em um café.

Perfil da organização: Empresa

Website: <https://recereum.com/>



De forma bastante disseminada, empresas têm adotado a prática de oferecer um bônus aos clientes que trocam seus produtos usados por um novo modelo, sem cobranças adicionais, podendo, inclusive, compartilhar a responsabilidade pelo financiamento desse sistema com outras empresas (SHEVCHENKO *et al.*, 2019). Essa última abordagem pode ser relevante nos casos em que produtos novos apresentam desempenho ambiental consideravelmente superior aos usados.



Conforme Xavier *et al.* (2021) a União Europeia vem discutindo a possibilidade de fornecer incentivos econômicos para apoiar a fabricação de produtos a partir dos princípios da economia circular, reduzindo o seu preço proporcionalmente à duração de seu ciclo de vida. Essa estratégia pode beneficiar empresas do setor de eletroeletrônicos que passaram a integrar, em seu portfólio, itens usados da própria marca a preços competitivos, como exemplificado a seguir.

Caso 7: TMobile - USA



Caso 07 - TMobile - USA

Descrição: Oferece produtos reconicionados ou usados em suas próprias lojas físicas e na web. Possuem área especial onde vendem EEE usados reembalados de boa qualidade a preços mais baratos e com garantia.

Perfil da organização: Empresa

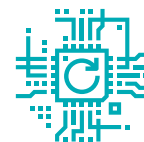
Website: <https://www.t-mobile.com/devices/>



Há de se considerar, aqui, implicações socioeconômicas passíveis de serem vinculadas a operações de reparo/reúso. De fato, bens de segunda mão ou consertados são muito convenientes para suprir, a preços menores, as necessidades de pessoas com menor capacidade de compra. Ademais, mesmo públicos sem dificuldades de ordem financeira podem perceber maior valor nessa opção, tendo em vista que ampliar a vida útil de REEEs, seja por meio do reúso ou do reparo, apresenta benefícios ambientais que vêm cada vez sendo mais considerados no processo de compra. Além disso, a percepção de valor desses produtos pode ser ampliada quando há o emprego de indivíduos marginalizadas no processo de negócio (STEP, 2015).

5.4. Disponibilização e intercambialidade de dados e informações

A disponibilização e intercambialidade de dados e informações sobre equipamentos eletroeletrônicos ao longo de seu ciclo de vida é uma medida estratégica para viabilizar o desenvolvimento de uma gestão ambiental eficaz de REEEs. A padronização dos protocolos para disponibilização e



intercambialidade de dados e informações é necessária para as operações de reúso e reparo de REEEs. Essas práticas precisam ser compreendidas como requisitos de sustentabilidade a serem cumpridos pelos produtores/distribuidores de EEEs para incentivar a circularidade e transparência no setor. O escopo de informações pode incluir desde procedimentos para a separação de partes e peças até a mera disponibilização da lista de materiais e respectivas massas associadas a um dado produto eletroeletrônico (ITU, 2022).

Note-se que um dos motivos que faz com que o consumidor descarte um produto eletroeletrônico de forma prematura é a sua dificuldade de realizar reparo/manutenção ou o alto custo dessa operação, além da falta de compreensão acerca dos efetivos impactos sociais, ambientais e econômicos decorrentes de suas escolhas. De fato, para que o engajamento de clientes/usuários se efetive, é relevante manter transparência acerca de dados e fatos associados aos impactos ambientais, sociais e econômicos da gestão de REEE, como exemplificado no caso Recupel, apresentado a seguir. Schumacher e Agbemabiese (2019) endossam essa prática, recomendando que os custos de gestão da reciclagem de REEEs sejam visíveis para o consumidor já no ato da compra. O exemplo subsequente trata do caso iFixit (Caso 9), que consiste em um efetivo *hub* de informações pertinentes à manutenção de produtos, permitindo o compartilhamento de conhecimento oriundo de diversos fabricantes.

Caso 8: Recupel - Bélgica



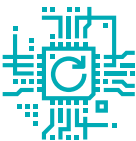
Caso 08 - Recupel - Bélgica

Descrição: Uma taxa é paga pelo fabricante para a Recupel realizar a gestão do REEE. O valor da taxa é apresentado nas lojas ao lado do preço do produto, garantindo a transparência do sistema.

Perfil da organização: Entidade Gestora

Website: <https://www.recupel.be/en/>





Caso 9: iFixit - USA



Caso 09 - iFixit - USA

Descrição: Plataforma com manuais de reparação online, gratuitos e publicamente editáveis para diversos produtos, incluindo eletrônicos. Possui uma loja online de peças, ferramentas e kits de reparo.

Perfil da organização: ONG

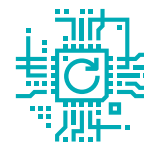
Website: <https://ifixit.com/>



Padronizações como a norma EN 45554, da União Europeia, estabelecem métricas para a avaliação de reparabilidade, contribuindo para que mesmo consumidores leigos consigam compreender o impacto de suas escolhas nas etapas do ciclo de vida do EEE. A aplicação dessa avaliação e a transparente disposição do resultado contribui de forma direta para subsidiar o processo de aquisição de EEE por parte do cliente/usuário. Tal comportamento pode ajudar na concepção de produtos eletroeletrônicos que atendam a critérios de facilidade de montagem, desmontagem e atualização e no posicionamento de informações que possibilitem suporte às operações de reparo/reúso (BRACQUENÉ *et al*, 2021).

5.5. Campanhas sistemáticas e regulares de conscientização

O limitado engajamento de parcela dos consumidores com a causa da sustentabilidade, o consumismo ainda fortemente presente na sociedade e a falta de conhecimento acerca da economia circular são algumas das barreiras que prejudicam ações de gestão do ciclo de vida de EEEs (RIZOS; BRYHN, 2022). Como resultado, tem-se a falta de conscientização do consumidor sobre os impactos ambientais, sociais e econômicos de REEEs. Isso atua como barreira para a implementação de abordagens de otimização e extensão do ciclo de vida de EEEs, além de gerar preconceito de natureza estético-funcional com respeito ao reúso.



Caso 10: Prefeitura de Viena - Áustria

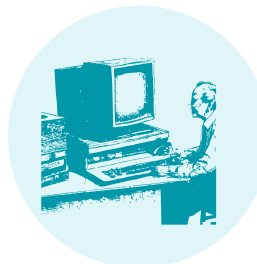


Caso 10 - Prefeitura de Viena - Áustria

Descrição: A cidade incentiva seus residentes a vender ou doar REEE, em vez de descartá-los utilizando o slogan “Velho, mas bom” (em alemão: “Alt, aber gut”), que enfatiza que produtos usados em boas condições podem ser úteis para outra pessoa.

Perfil da organização: Governo

Website: <https://www.wenigermist.at/wiener-reparatur-gebrauchtwaren-und-verleihfuehrer>



Investimentos em campanhas sistemáticas de conscientização da sociedade acerca do REEE podem contribuir para a aceitação de produtos usados e serviços de reparação por parte do consumidor, tanto no momento da compra quanto no fim da vida do produto. Essas campanhas (vide exemplos a seguir) contribuem para aumentar a demanda por iniciativas de economia circular, resultando em maior engajamento com esquemas de devolução voluntária, reúso e reparo (RIZOS; BRYHN, 2022).

Caso 11: E-Waste Day – WEEE Forum (Bélgica)



Caso 11 - E-Waste Day - WEEE Forum (Bélgica)

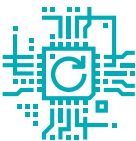
Descrição: Realizado anualmente no dia 14 de outubro, tem como objetivo atrair a atenção do público para a questão do lixo eletrônico e promover soluções para o gerenciamento responsável destes resíduos.

Perfil da organização: Fórum

Website: <https://weee-forum.org/iewd-about/>



Incentivar o reparo/reúso de REEs requer revisão de valores (ex.: status) associados a esse modo de consumo. Ações de toda ordem podem ser realizadas com esse propósito, desde as de caráter educativo (ex.: oficinas, palestras) (ALVES; FARINA, 2018) até as de propaganda e marketing digital/análogo convencionais (ex.: marketing de guerrilha).



Caso 12: Precious Elements Campaign - UK



Caso 12 - Precious Elements Campaign - UK

Descrição: Promovida pela Royal Society of Chemistry, esta campanha objetiva aumentar a conscientização da população sobre os elementos raros e valiosos presentes em REEE, além de incentivar P&D de opções para sua reciclagem.

Perfil da organização: Sociedade Científica

Website: <https://www.rsc.org>

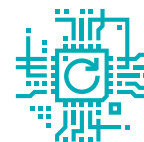


Finalmente, para alcançar a efetividade dessa abordagem, é necessário uma eficiente articulação e coordenação das ações do primeiro setor [governo (ex.: campanha de coleta de REEEs em praça pública)]; segundo setor [empresas (ex.: palestra em evento empresarial)]; terceiro setor [organizações sem fins lucrativos (ex.: campanha de coleta de REEEs em comunidades carentes)]. A articulação entre esses setores evita redundâncias de comunicação e amplia a eficiência no uso de recursos e a harmonia dos conteúdos apresentados à população.

5.6. Integração de educação e capacitação a serviços de reparo/reúso de REEEs

Um instrumento largamente propagado para viabilizar economicamente e estimular a opção por serviços de reúso/reparo de REEEs é a integração desses serviços a atividades de **educação e capacitação** em espaços concebidos para este propósito. Assim, ao mesmo tempo em que se realizam as operações de reparo, contribui-se para a criação de empregos.

Sánchez-Carracedo e López (2021) argumentam que, em programas e projetos de reúso/reparo de REEEs que visam ao benefício de pessoas em situação de vulnerabilidade social, os aprendizes desenvolvem competências técnicas alinhadas à sua realidade socioeconômica. Ademais, amplia-se o “senso de realidade” e “reflexão crítica” acerca dos padrões de consumo e produção da sociedade atual. Aprender a consertar REEEs para pessoas ou instituições com efetiva necessidade aumenta a empatia com o tema. Além disso, desenvolve-se o senso de “reciprocidade”, uma vez que o aprendizado ocorre concomitantemente à ação social, conforme exemplifica o caso a seguir.



Caso 13: MerIT - UK



Caso 13 - MerIT - UK

Descrição: Promove treinamentos em reparos de eletrônicos, oferecendo serviços gratuitos de reparo e redistribuindo para indivíduos e organizações. Oferece gratuitamente o Certificado de Saneamento de Dados para os doadores.

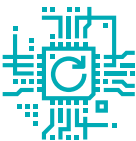
Perfil da organização: ONG

Website: <https://www.mer-it.org/donate-tech>



Organizações orientadas a prover apoio técnico para as atividades de promoção do reúso/reparo demandam **software** para analisar o hardware do REEE; **banco de dados** com informações do REEE, permitindo traçar a vida de todos os componentes, incluindo sua durabilidade; suporte de hardware e software para instalar o software requerido para o condicionamento do REEE; e software para garantir que todos os dados do REEE foram apagados e não podem ser recuperados (SÁNCHEZ-CARRACEDO; LÓPEZ, 2021). Complementarmente, conforme o CETEM (2023), o estabelecimento de processos de capacitação dos agentes envolvidos nas etapas logísticas requer o estabelecimento de um currículo mínimo a ser cumprido pelos interessados, o que inclui a observação das boas práticas de saúde e segurança.

A implementação de tais iniciativas requer a alocação de fundos, modelos de negócio ou mecanismos de alocação dos aprendizes, de tal maneira que alcancem efetividade na geração de renda pelos estudantes o mais imediato possível, particularmente em contextos de baixa renda. A implantação de programas de treinamento vocacional direcionados para pessoas interessadas em ingressar no mercado de reparos eletrônicos requer, conforme Sánchez-Carracedo e López (2021), uma equipe de comunicação estável supervisionada; uma equipe técnica; um site para fornecer informações e gerenciar o programa; espaço para guardar o REEE, tanto os reparados na oficina como os que estão pendentes de reparo e espaço de trabalho para as equipes técnicas e de comunicação. Importante notar que em tais espaços pode-se realizar, também, a acreditação das competências pré-existentes entre profissionais já atuando no mercado de resíduos eletrônicos.



5.7. Design de produtos orientados ao reúso/reparo

A Diretiva-Quadro de Resíduos da União Europeia (UE WFD) define reúso como qualquer operação por meio da qual produtos ou componentes que não sejam resíduos são reutilizados para o mesmo fim que foram concebidos (CASTELLANI; MIRABELLA, 2015). Essa diretiva tem se mostrado eficaz como estímulo para que fabricantes empreguem heurísticas de projetos de EEE voltadas a uma maior circularidade (EU, 2009a; 2009b).

Para que o design de EEE seja orientado ao reúso/reparo, ele precisa contemplar a possibilidade de adaptação aos novos níveis de desempenho exigidos pelos usuários ao longo do seu ciclo de vida ou, alternativamente, às novas funções demandadas. Essa “**adaptabilidade**” dos equipamentos eletrônicos requer a aplicação de conceitos como **flexibilidade** (capacidade de permitir alterações no EEE) (ZACAR, 2010) e **expansibilidade** (capacidade de permitir a expansão da arquitetura do produto por meio de, por exemplo, coordenação modular). Nessas estratégias, a coordenação modular configura-se como conceito transversal, como ilustra o caso a seguir.

Caso 14: Fairphone - Holanda

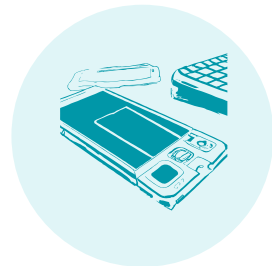


Caso 14 - Fairphone - Holanda

Descrição: Telefone celular projetado para longevidade, de fácil reparo e com atualizações modulares. Todos os módulos estão disponíveis na loja da empresa, a qual fornece gratuitamente tutoriais de reparo.

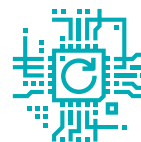
Perfil da organização: Startup

Website: <https://www.fairphone.com>



Conceber produtos que facilitam as operações de reparo de REEEs e, dessa forma, seu reúso, demanda a aplicação de princípios norteadores na fase de projeto:

- a) **Independência:** possibilidade de inserção ou supressão de peças sem afetar o desempenho do restante do sistema;
- b) **Upgradability:** possibilidade de atualização e melhoria do produto, desenhado de tal forma a possibilitar alterações nos níveis de desempenho;



- c) **Compatibilidade entre ciclos de vida:** evitar criar conexões fixas ou encapsulamentos entre componentes com ciclos de vida curtos e aqueles com ciclos de vida mais longo;
- d) **Transparência:** as informações sobre partes e subsistemas devem estar disponíveis e explícitas para uso futuro, facilitando tomadas de decisão quanto a opções de intervenção no produto (TECCHIO *et al.*, 2017; VANEGAS *et al.*, 2018);
- e) **Durabilidade:** produtos e componentes com mais durabilidade funcional e estética contribuem de forma direta para evitar a obsolescência. A respeito deste último aspecto, para evitar a obsolescência estética, Zacar (2010) propõe o uso de estratégias como atualização estética; estética local; materiais que “envelhecem bem”; texturas e materiais diversos e complexos; e customização, personalização e alteridade (via construção de laços afetivos mais permanentes).

5.8. Incentivo a programas e projetos de voluntariado voltados a REEEs

Organizações formais (ex.: ONGs, cooperativas) e informais (ex.: coletivos comunitários) têm demonstrado a efetividade do voluntariado na realização parcial ou total de projetos orientados às atividades demandadas para a gestão do ciclo de vida de EEEs (vide exemplo a seguir). No contexto desse tipo de iniciativa, as pessoas cedem livremente tempo, recursos e/ou trabalho para o bem comum. Algumas vezes, os voluntários recebem treinamento; em outras, a própria plataforma da organização ajuda, orienta e instrumentaliza a sua ação (WILSON, 2000; JULIER, 2013).

Caso 15: Runder Tisch Reparatur - Alemanha



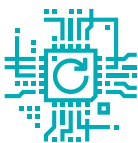
Caso 15 - Runder Tisch Reparatur - Alemanha

Descrição: Ativistas de reparos, provindos de indústrias de reparo, organizações ambientais e de proteção ao consumidor, academia e iniciativas locais.

Perfil da organização: ONG

Website: <https://runder-tisch-reparatur.de/>





Nesses espaços, há de se reconhecer o papel dos ativistas voltados a causas sociais, ambientais ou econômicas associadas ao REEE. Eles compõem um movimento autoconsciente e responsivo às circunstâncias, implicando em intenção e elevado grau de entusiasmo para temas específicos, como é exemplificado pelos casos do RepairCafe e Restart, descritos a seguir.

Caso 16: RepairCafe - Holanda

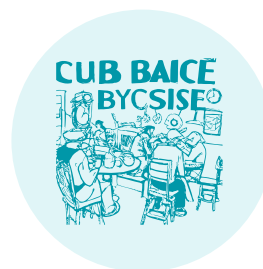


Caso 16 - RepairCafe - Holanda

Descrição: “Repair café” é uma reunião em que as pessoas realizam reparos voluntariamente para os residentes locais. A plataforma oferece a ferramenta RepairMonitor para coletar e compartilhar dados de reparação através de uma base de dados central.

Perfil da organização: ONG

Website: <https://www.repaircafe.org/>



Caso 17: Restart - UK



Caso 17 - Restart - UK

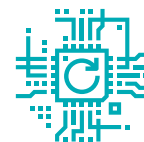
Descrição: Plataforma para organização de eventos em escolas e organizações onde as pessoas ensinam umas às outras como consertar seus dispositivos eletrônicos - de tablets a torradeiras, de celulares a fones de ouvido.

Perfil da organização: ONG

Website: <https://therestartproject.org/>



Para a elaboração de ações pertinentes a essa abordagem, é importante reconhecer que o ativista tem como característica o esforço ativo para transformar a realidade em detrimento de atividades exclusivamente especulativas. No contexto contemporâneo, estes movimentos têm se voltado cada vez mais para as mídias sociais, no esforço de aumentar a conscientização e discutir criticamente a realidade atual, os cenários futuros, e as decisões requeridas no presente (FAGERHOLM *et al.*, 2023).



5.9. Garantia de qualidade ao usado/reparado

Produtos usados ou seminovos têm garantia, conforme estabelece o Código de Defesa do Consumidor [Lei nº 8.078/90 (BRASIL, 1990a)], não havendo distinção entre o novo ou o usado a esse respeito. Para tanto, conforme as regras do Código de Defesa do Consumidor, o produto deve ser adquirido de um fornecedor, estabelecendo-se uma relação jurídica entre as partes. No ato da aquisição, as eventuais imperfeições e/ou defeitos devem ser informados ao consumidor e, havendo o aceite, eles não integram o escopo da garantia do fornecedor.

Em muitos países, eletroeletrônicos recondicionados podem ser adquiridos de vendedores autorizados, passando o produto por limpeza e verificação, tanto em seu hardware como em seu software (vide exemplo a seguir).

Caso 18: SWAPPIE - Finlândia



Caso 18 - SWAPPIE - Finlândia

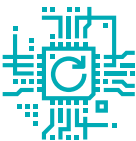
Descrição: A Swappie é uma empresa de tecnologia que permite que celulares recondicionados retornem ao mercado, oferecendo um marketplace que inclui garantia da operação do equipamento.

Perfil da organização: Startup

Website: <http://swappie.com/en/>



Esse processo pode envolver federações de empresas sociais, integrando não só os serviços de reparo, mas, também, as atividades de varejo dos produtos recondicionados, como mostra o exemplo a seguir. Note-se que o EEE recondicionado é considerado, nesses contextos, como diferente do produto usado, pois os primeiros passaram por uma etapa de limpeza, revisão e/ou reparo. Produtos usados “de segunda mão” podem apresentar imperfeições decorrentes do desgaste natural ou, até mesmo, de excessos na fase de uso.



Caso 19: ENVIE - França



Caso 19 - ENVIE - França

Descrição: Federação de empresas sociais líder na reutilização de EEE com 49 empresas sociais, 42 lojas de segunda mão, empregando 1050 pessoas marginalizadas em tempo integral (com subsídios públicos), 450 funcionários e 400 voluntários.

Perfil da organização: Cooperativa

Website: <https://www.envie.org/decouvrir-envie/>

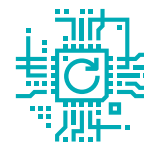


No caso de produtos oriundos de processos de desfazimento, mantém-se a importância de dispor de soluções que garantam a funcionalidade do EEE, uma vez iniciado novo ciclo de uso. A oferta da garantia de qualidade para produtos doados a partir de processo de desfazimento, ainda que por períodos menores, quando comparados com produtos novos, contribui, de forma direta, para reduzir o descarte prematuro de bens usados.

5.10. Serviços de certificação da limpeza dos dados no REEE

Uma das barreiras para o encaminhamento de REEEs para reúso/reparo é a preocupação de usuários/organizações que realizam o desfazimento com a proteção de dados pessoais e/ou sensíveis. Dessa forma, os dados e informações de REEEs submetidos a reparo necessitam ser excluídos. A preocupação decorre principalmente de riscos de fraude e, no caso brasileiro, das disposições da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) – Lei nº 13.709/2018 (BRASIL, 2018b).

Em função dessa demanda, observa-se, no âmbito internacional, a oferta de serviços de eliminação dos dados presentes em REEEs (vide exemplos a seguir). Esses serviços incluem a limpeza do disco rígido, restaurando-se as suas condições originais, ou a destruição completa das informações armazenadas. Certificados de eliminação dos dados são emitidos pelos prestadores desses serviços, conforme exemplos a seguir (é emitido um certificado por item).



Caso 20: E-waste Nederland - Holanda



Caso 20 - E-waste Nederland - Holanda

Descrição: Oferece três tipos de serviços: a) limpeza via destruição e eliminação de dados via software; b) limpeza via tecnologia de desmagnetização; c) destruição física de dados: trituração do disco rígido em pedaços muito pequenos.

Perfil da organização: Empresa

Website: <https://e-waste-nederland.nl/en/datavernietiging/>



A norma ABNT ISO/IEC nº 27.002/2013 (ABNT, 2013) estabelece que o descarte de mídias digitais deve seguir um protocolo de segurança, para evitar a perda ou o acesso indevido de dados sensíveis de uma organização. A implicação direta desse tipo de regulamentação é a demanda pela oferta de serviços que permitam justamente a garantia da aplicação de protocolos de segurança adequados para o manuseio de dados, como exemplificado nos casos a seguir.

Caso 21: Recover-e Foundation - Bélgica



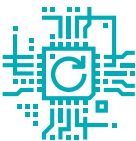
Caso 21 - Recover-e Foundation - Bélgica

Descrição: Descrição: Oferece EEE de segunda mão em um programa de usuário especial. Os produtos vêm de empresas, verifica todos os produtos, garante que todos os dados foram removidos de maneira certificada e os limpa adequadamente para reutilização.

Perfil da organização: ONG

Website: <https://recover-eshop.nl/>





Caso 22: ADISA - Inglaterra



Caso 22 - ADISA - Inglaterra

Descrição: Plataforma C2B baseada em licitações/leilão para reciclagem e venda de itens eletrônicos de segunda mão, como telefones celulares.

Perfil da organização: Empresa

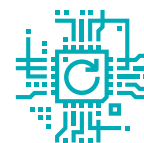
Website: <https://adisa.global/>



No Brasil, o Decreto Federal nº 10.240/2020 (BRASIL, 2020) estabelece que é de responsabilidade exclusiva do consumidor remover dados/informações, bem como softwares, antes do descarte do REEE nos pontos de recebimento específicos. Estabelece, ainda, que os dados pessoais que porventura não tenham sido excluídos, não trarão consequências de responsabilidade para as empresas ou entidades gestoras que participem do sistema de logística reversa de REEEs. Contudo, também determina que o uso indevido de dados pessoais, sem o consentimento do titular, permitirá a formalização de denúncia às autoridades competentes para ser apurada a materialidade e a autoria do fato.

5.11. Implantação de *marketplaces* com ou sem fins lucrativos

As práticas de reúso/reparo de REEEs podem ser configuradas dentro do contexto da economia colaborativa e da economia do compartilhamento. Nesta última, as pessoas optam por alugar ou emprestar um produto, em vez de adquiri-lo. Na colaborativa, prioriza-se a doação, a troca, o empréstimo, o aluguel e o compartilhamento de produtos e serviços, geralmente por alguma plataforma on-line. A adesão de consumidores a ambas as abordagens pode derivar do altruísmo à imposição de regulamentações (VASQUES, 2015). Nesse sentido, observa-se a efetividade dos *marketplaces* digitais na viabilização logística e econômica dessas práticas, conforme exemplificado nos casos a seguir.



Caso 23: Aihuishou - China



Caso 23 - Aihuishou - China

Descrição: Fornece o serviço de sanitização e proteção de dados, com validação independente de conformidade.

Perfil da organização: Startup

Website: <http://aihuishou.com/>



No âmbito da economia colaborativa, há três abordagens principais (BOTSMAN; ROGERS, 2010): **mercados de redistribuição** (ex.: reciclagem, remanufatura e revenda de usados); **estilos de vida colaborativos** (ex.: bancos de tempo, hortas comunitárias) e **sistemas produto + serviço** (ex.: serviços de aluguel de espaços de trabalho). Essas abordagens são frequentemente mediadas por plataformas de venda de usados e recondicionados, de troca e de doação (*marketplaces*).

Devido à sua natureza digital, esses *marketplaces* têm a capacidade de hospedar uma ampla variedade de produtos eletroeletrônicos usados, muitas vezes apresentando, em seu portfólio, outros itens, como roupas, móveis, veículos, colecionáveis, entre outros. As transações podem envolver desde trocas financeiras até atividades de filantropia e doação direta e podem se dar entre consumidores (C2C), entre corporações (B2B) ou entre o governo e o cidadão (G2C). Muitas dessas plataformas adotam sistemas de classificação e revisão, possibilitando avaliar a confiança e a reputação/credibilidade de eventuais compradores, vendedores ou doadores (vide exemplo a seguir).

Caso 24: Back Market - França



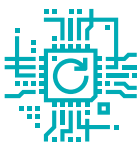
Caso 24 - Back Market - França

Descrição: Marketplace para eletrônicos usados, c/ sistema de classificação que leva em consideração a aparência e a condição técnica dos dispositivos, considerando o nível de utilização do proprietário anterior e os dados históricos de qualidade.

Perfil da organização: Startup

Website: <https://www.backmarket.com/en-us>





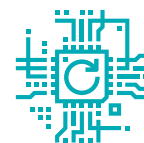
Iniciativas de autarquias governamentais e organizações do terceiro setor têm contemplado o uso dos *marketplaces* como ferramentas de suporte à gestão de resíduos. Em 1984, surgiu a primeira proposta para implantação de bolsa de resíduos no Brasil, por parte da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp) e da Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Rio de Janeiro (FEEMA). Atualmente, plataformas de grande capacidade, como eBay, Craigslist, OLX e Mercado Livre competem com as especializadas e com lojas de segunda mão dedicadas especificamente ao REEE (LACY; RUTQVIST, 2015). O lucro financeiro nas plataformas menos competitivas, quando há, advém de uma pequena margem do preço de revenda do produto usado. Nestes contextos, é importante que esse produto apresente boas condições para seu reingresso no mercado de consumo. Um aspecto desafiador desse modelo é atingir uma massa crítica de vendedores/doadores e compradores para tornar essas plataformas atraentes e viáveis (OECD, 2019).

5.12. Amostra de implicações para a política nacional de desfazimento

No caso brasileiro é possível destacar o Decreto nº 99.658/1990 (BRASIL, 1990b), que versa sobre o desfazimento de bens inservíveis (Foi revogado pelo Decreto nº 9.373 de 11 de maio de 2018) (BRASIL, 2018c), e a Lei do Desfazimento, de 2022 (BRASIL, 2022a), como políticas voltadas ao reparo e reúso de equipamentos eletroeletrônicos. A análise crítica acerca dessas políticas, enfatizando as publicações nos principais periódicos internacionais e as práticas presentes em casos de referência de diversos países, permite apontar algumas reflexões acerca do Estado brasileiro, conforme descreve o Quadro 5, a seguir. Essas proposições têm como destino imediato o Programa Computadores para Inclusão (BRASIL, 2012).

Quadro 5: Exemplos de oportunidades de avanços na Política Nacional de Desfazimento

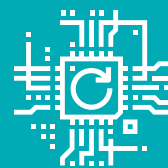
ESTRATÉGIAS	OPORTUNIDADES
Promoção de legislação e regulamentações acerca do direito de consertar	Implantação de legislação ou regulamentação sobre o “direito ao reparo”, impactando a obrigatoriedade da oferta e disponibilidade por parte dos fabricantes de informações, ferramentas, componentes e softwares requeridos para possibilitar reparos.
Responsabilidade estendida do produtor	Vincular licitações públicas à demanda de adesão coletiva ou individual dos fabricantes/ importadores a programa de responsabilidade estendida voltada aos EEEs adquiridos pelo Estado.



ESTRATÉGIAS	OPORTUNIDADES
Incentivos financeiros, fiscais e subsídios	Ampliação dos canais de financiamento da Política de Desfazimento com receitas de serviços; doações (nota fiscal, Imposto de Renda, doação direta); celebração de contratos ou convênios com empresas fabricantes; acesso a créditos de reciclagem/massa futura.
Padronização de procedimentos e disponibilização de informações	Possibilitar que os centros/unidades voltados ao reúso/reparo/reciclagem possam atuar como verificadores dos dados e informações com os operadores de crédito de reciclagem de logística reversa.
Campanhas de conscientização de pessoas e organizações	Campanhas de conscientização direcionadas especificamente a atores no ambiente público, apontando os respectivos benefícios do direcionamento dos equipamentos em processo de desfazimento para contextos de reúso/reparo ou, alternativamente, para a reciclagem.
Integração da capacitação nos serviços de reparo de REEE	Institucionalização de programas transversais, com vocação regional, conectando e compartilhando saberes entre centros/unidades orientados ao reparo, reúso e reciclagem de REEEs.
Design de produtos orientados ao reúso/reparo	Regulamentação passível de ser utilizada em pregões públicos, tratando de diretrizes de projeto que resultem em maior reparabilidade e capacidade de receber atualizações e ajustes nos EEs.
Incentivo a programas e projetos de estímulo ao voluntariado	Iniciativas que viabilizem a oferta de infraestrutura física, logística e informacional para que voluntários possam compartilhar suas competências para a extensão do ciclo de vida de REEEs.
Garantia de qualidade do usado/ reparado	Integração da oferta do serviço de garantia de qualidade ao usado/reparado a partir das unidades/centros voltados à reciclagem/reúso de REEEs.
Certificação de limpeza dos dados	Integração do serviço de limpeza de dados (via software, via desmagnetização, via destruição física) como parte do portfólio que unidades/centros devem oferecer para serem credenciados a apoiar a Política Nacional de Desfazimento.
Implantação de marketplaces	Implantação de iniciativas para estímulo/indução da concepção e implantação de marketplaces, conectando as unidades do Estado de onde provém os equipamentos aos pontos de inclusão digital (PID) e, também, aos cidadãos em situação de fragilidade socioeconômica.

Fonte: Elaboração própria.

Parcela dessas proposições implicam aperfeiçoamentos ou até mudanças nas legislações vigentes. No entanto, o paradigma que permeia essas proposições é justamente a aplicação da responsabilidade compartilhada, conforme estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). De acordo com essa perspectiva fabricantes/importadores que abastecem o Estado com EEs necessitam estar plenamente integrados antes, durante e após o desfazimento desses bens pelas instituições públicas, direcionando recursos financeiros e conhecimento para a adequada gestão do final de ciclo de vida destes produtos. Similarmente, organizações atuantes nas operações de reparo, reúso ou reciclagem necessitam ser adequadamente capacitadas, certificadas e financiadas e o eventual reúso desses equipamentos por populações socioeconomicamente vulneráveis necessita ser integrado pelo governo e entidades gestoras em metas solicitadas a fabricantes/importadores.



6. TECNOLOGIAS DE RECICLAGEM DE REEES

6.1. Desmantelamento

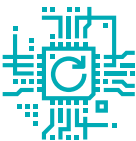
6.1.1. Características técnicas

A primeira etapa do processo de reciclagem é o dismantelamento, também denominado de pré-tratamento. É atividade-chave no processo de recuperação de materiais oriundos de REEES. Envolve as atividades de desmontagem e triagem das partes conforme o tipo de material. Essa etapa busca a segurança das pessoas envolvidas e a redução dos riscos de poluição (YAZICI; DEVECI 2009; PRIYA; HAIT 2018; YAMANE *et al.* 2011; AMBAYE *et al.* 2020). Note-se que, integradas a essa etapa, estão as atividades de triagem, podendo os REEES ser eventualmente encaminhados para reúso ou reparo.

O dismantelamento pode ser realizado de forma manual, semiautomática ou automática (CETEM, 2023). No entanto, há uma ampla variedade de peças, assim como ampla variedade de arranjos estruturais, o que, muitas vezes, inviabiliza a utilização de processos de desmontagem automatizados. Assim, a desmontagem é, geralmente, realizada de forma manual, com a ajuda de ferramentas de pequeno porte, como chave de fenda (ex.: rótulos, carcaças), chave Philips (ex.: discos rígidos), chave Torx, chave Allen, martelo (ex.: quebrar o defletor magnético em um monitor CRT), alicate de corte (ex.: cortar cabos de energia), alicate universal (ex.: remoção de componentes isolados), tesouras industriais (ex.: corte de cabos), estilete (ex.: remover estranho), desparafusadeira elétrica, balança industrial (> 200 kg), espátula (ex.: retirada de adesivos) e pequeno machado (remoção do canhão de elétrons do CRT) (SCHLUEP; SPITZBART; BLASER, 2015; LIU *et al.*, 2023). Um dismantelador deve ter equipamento de pesagem apropriado para registrar cada entrega recebida e as operações das saídas do processo (GIZ, 2022).

Conforme Schluep, Spitzbart e Blaser (2015), as principais estratégias de desmontagem são:

- a) Remoção apenas dos componentes perigosos e de alto valor agregado (ex.: placas de circuito impresso), encaminhando-se as partes remanescentes para separação mecânica/reciclagem;



- b) Remoção dos componentes perigosos e/ou materiais mais ou menos puros;
- c) Desmontagem em que a separação em materiais puros não é possível sem trituração mecânica.
- d) Importante notar que a facilidade de desmontagem de equipamentos eletroeletrônicos, tanto para reúso, reparo ou reciclagem, deve ser considerada já a partir do projeto inicial do EEE (CETEM, 2023), com a aplicação de heurísticas como “design para desmontagem”, “minimização e facilitação das operações para desmontagem e separação”, “uso de sistemas de junção removíveis”, “facilidade de extração de junções permanentes”, “previsão de equipamentos e tecnologias específicos para desmontagem destrutiva”, entre outras.

6.1.2. Critérios de seleção da tecnologia

A definição dos volumes de reciclagem esperados e a distância dos pontos de coleta são parâmetros-chave na definição da configuração (manual, automática, semiautomática), bem como da própria análise da viabilidade econômica de um centro de desmantelamento. Para garantir a regularidade e previsibilidade do ingresso de REEEs na planta, um centro necessita estar conectado a atores centrais no sistema de reciclagem, como os produtores de EEEs, autoridade local de coleta de resíduos, entidade gestora de REEEs, sistema de devolução de EEEs e/ou reciclador autorizado.

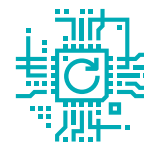
6.1.3. Principais vantagens e desvantagens

Entre as vantagens do desmantelamento, destacam-se:

- a) O baixo custo de implantação (CETEM, 2023);
- b) A possibilidade de remoção de materiais perigosos (KUMAR *et al.*, 2017);
- c) A redução do pó nas etapas subsequentes (KUMAR *et al.*, 2017);
- d) A melhoria da eficiência dos processos de reciclagem à jusante (KUMAR *et al.*, 2017);
- e) Facilidade na geração de oportunidades de trabalho e emprego (KUMAR *et al.*, 2017).

Entre as desvantagens, destacam-se:

- a) Dificuldades de desmontagem de tecnologias complexas (CETEM, 2023);
- b) O tempo de realização, que pode ser longo apesar de as operações serem usualmente fáceis de serem realizadas (CETEM, 2023);



- c) Os custos de transporte associados à gestão de REEEs (KUMAR, *et al.*, 2017);
- d) Os riscos à saúde dos colaboradores (KUMAR, *et al.*, 2017).

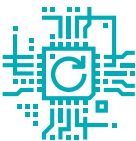
6.2. Trituração e classificação mecânica

6.2.1. Características técnicas

Na etapa de trituração de REEEs, busca-se a redução de materiais sólidos a tamanhos menores para viabilizar os processos subsequentes de reciclagem. Equipamentos de fragmentação utilizam, tipicamente, lâminas ou martelos que giram em baixa ou alta velocidade, em configurações que podem apresentar de um a quatro eixos, incluindo soluções portáteis de pequeno porte e baixo custo. Um sistema completo pode incluir uma ampla gama de equipamentos, como moedores ou granuladores para cabos e fiação, retalhadores para motores de cobre, prensa de dismantelamento, moinho de delaminação, trituradores de placas eletrônicas, refinadores, filtros, descascadores, granuladores de lâminas, mesas, telas, separadores, selecionadores óticos e prensa compactadora. Contemporaneamente, conforme Álvares de los Mozos, Renteria Bilbao e Diaz Martin (2020), a essas tecnologias vêm sendo integradas soluções de automação, incluindo robôs e inteligência artificial.

Com a subsequente separação e enriquecimento, obtêm-se frações de resíduos como metais não ferrosos ou polímeros. Os materiais obtidos podem ser utilizados na fabricação de outros, como ligas metálicas, ou aplicados diretamente na fabricação de novos produtos. Componentes combustíveis, como polímeros e resinas, podem ser encaminhados para a geração de energia (LIU *et al.*, 2023).

Após a trituração, ou concomitantemente à sua realização, é iniciado o processo de separação dos diversos materiais presentes no REEE. Conforme Cui e Forssberg (2003), as tecnologias mecânicas mais comuns para essa etapa incluem a separação por peneira, a separação magnética, a separação por condutividade elétrica e a separação por densidade. A peneiração tem sido utilizada para separar pedaços por tamanho na reciclagem. Essa triagem é necessária porque o tamanho das partículas e a forma são diferentes entre polímeros e materiais cerâmicos. O principal método de peneiração voltado à recuperação de metais faz uso de tela rotativa (ou trommel) (CUI e FORSSBERG, 2003).



As técnicas de separação por forma foram desenvolvidas principalmente para controlar propriedades de partículas na indústria de pó, utilizando como principais variáveis no processo:

- a) A velocidade da partícula em uma parede sólida inclinada;
- b) O tempo que as partículas levam para passar por uma abertura de malha;
- c) A força coesiva da partícula em contato com uma parede sólida;
- d) A velocidade de sedimentação da partícula em um líquido.

A separação de formas por placa inclinada e peneiras é o método mais disseminado na indústria de reciclagem. Um transportador inclinado e uma placa vibratória inclinada são usados para recuperar materiais como o cobre (CUI e FORSSBERG, 2003).

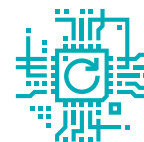
No processo magnético, comumente faz-se uso de separadores de tambor, segregando metais ferromagnéticos de metais não ferrosos e outros resíduos não magnéticos. Separadores magnéticos fazem uso de ímãs permanentes de liga de terras raras, sendo capazes de fornecer intensidades e gradientes de campo muito altos (CUI e FORSSBERG, 2003).

A separação baseada em condutividade elétrica atua em materiais de diferentes níveis de desempenho em termos de condutividade (ou resistividade), existindo três técnicas principais (CUI e FORSSBERG, 2003):

- a) Separação por correntes parasitas;
- b) Separação eletrostática corona;
- c) Separação triboelétrica.

Conforme Cui e Forssberg (2003) os separadores de correntes parasitas foram desenvolvidos inicialmente para recuperar metais não ferrosos de sucata triturada de automóveis. Com propósito similar e com desempenho excelente, a separação eletrostática corona aproveita a grande diferença na densidade e condutividade elétrica entre materiais metálicos e não metálicos presentes em PCs (LI *et al.*, 2012).

Vários métodos diferentes são empregados para separar os materiais mais pesados dos mais leves. A diferença na densidade é a variável principal desse tipo de segregação. Ela pode ser feita a partir da resistência ao movimento da partícula em dado fluido, como água ou ar. Esse movimento depende não apenas da densidade da partícula, mas também de seu tamanho e forma, sendo as partículas grandes mais afetadas do que as menores. Na prática, é necessário um controle fino das



alimentações para os processos de gravidade, a fim de reduzir o efeito do tamanho e da forma das partículas. A separação de componentes de densidades diferentes pela pulsação de um fluxo líquido por um leito de materiais é chamado de *jigging* (ou “jicagem”) (DICIONÁRIO TÉCNICO, 2023). Ela é amplamente utilizada na indústria de processamento mineral para concentrar materiais relativamente grosseiros. Se a alimentação for de tamanho bastante uniforme (por exemplo, 3 a 10 mm) obtém-se uma boa separação estratificada (CUI; FORSSBERG, 2003).

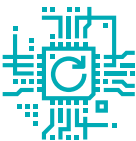
Ressalta-se que, assim como a trituração, o processo de separação pode ser apoiado por outras tecnologias, como IoT e inteligência artificial. Sistemas de classificação por infravermelho, por exemplo, permitem a separação de polímeros visíveis, como ABS, PS, PP e PC, de polímeros pretos invisíveis para a tecnologia convencional NIR (Near Infrared), mais próxima em comprimento de onda da luz visível. Finalmente, é importante ressaltar que os processos mecânicos podem ser realizados com outros processos químicos, como a separação de metais de PCIs (KAYA, 2016; AMBAYE *et al.* 2020).

Importante notar que, quando o REEE é triturado sem adequada desmontagem e separação prévias, a eficiência na recuperação de materiais é baixa, tendo em vista a heterogeneidade dos componentes desse tipo de resíduo (CETEM, 2023). Além disso, alguns compósitos presentes no REEE representam um desafio para o processo de trituração e separação. Um exemplo é a resina epóxi bromada retardante de chama reforçada com fibra de vidro, utilizada para proteger componentes eletrônicos de impactos, vibrações, agentes químicos e umidade (KANCHANAPIYA *et al.*, 2015). O pó dela derivado é frequentemente encaminhado para aterros sanitários ou incineração. A presença de metais pesados nesse pó, ainda que em frações pequenas, representa risco ao meio ambiente, repercutindo nos custos de reciclagem (LI *et al.*, 2012). Uma alternativa para a destinação desse resíduo é seu encapsulamento e aplicação, por exemplo, em móveis e componentes para construção civil (PENG *et al.*, 2007; GUO *et al.*, 2010) ou no reforço de polímeros, em que atua na ampliação da resistência mecânica (ABDELBASIR *et al.*, 2018).

6.2.2. Critérios de seleção da tecnologia

Os critérios técnicos para seleção das tecnologias para trituração e separação em um dado contexto incluem:

- a) Volume de produção esperado;
- b) Tamanho e homogeneidade esperados para os fragmentos;
- c) Necessidade ou não de automação;



- d) Velocidade de trituração;
- e) Torque requerido;
- f) Nível de ruído;
- g) Intensidade de poeira;
- h) Nível de vibração;
- i) Intensidade de calor gerado;
- j) Nível de consumo de energia;
- k) Tamanho máximo dos produtos a serem processados.

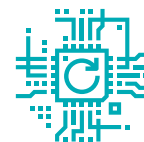
6.2.3 Principais vantagens e desvantagens

Entre as principais vantagens desta tecnologia, destacam-se:

- a) Amplitude das possibilidades de aportes financeiros para implantação;
- b) Processamento relativamente simples;
- c) Processo que demanda baixa quantidade de energia, comparativamente a outras tecnologias;
- d) Pode ser aplicada em ampla variedade de REEEs.

Entre as principais desvantagens dessa tecnologia, destacam-se:

- a) Alta perda de metais valiosos;
- b) Processo de manufatura lenta;
- c) Geração significativa de poeira.



6.3. Processos hidrometalúrgicos

6.3.1. Características técnicas

Essa tecnologia é comumente utilizada para a extração de metais dos resíduos eletrônicos. O conteúdo é dissolvido em soluções para lixiviação elaboradas a partir de ácido sulfúrico forte, ácido clorídrico, ácido nítrico, água régia e álcalis (TSYDENOVA; BENGTSSON, 2011). Quatro tipos de lixiviação de metais hidrometalúrgicos são mais comumente utilizados: lixiviação ácida; lixiviação de amônia; lixiviação de sal de amônio; lixiviação de cloreto. Outros reagentes também podem ser empregados, de maneira alternativa. O lixiviado é submetido ao processo de isolamento ou concentração para a extração do metal, o qual é, então, recuperado por operações como eletrorrefino, precipitação, cimentação, adsorção, troca iônica, filtração ou extração por solvente (KINOSHITA, 2003; ABDELBASIR *et al.* 2018).

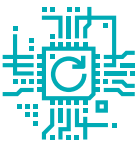
Processos hidrometalúrgicos podem alcançar alta eficácia para a recuperação de metais de placas de circuito impresso. Seu princípio básico é descartar essas placas em uma solução de lixiviação ácida ou alcalina para separar metais valiosos e outros materiais (TUNCUK *et al.*, 2012; AMBAYE *et al.*, 2020).

Entre os 17 metais comumente extraídos via processos hidrometalúrgicos, destaca-se o neodímio (Nd), considerado um metal crítico, para o qual a demanda deve aumentar até 700% até 2035, conforme Palanisamy; e Subburaj (2023). A reciclagem do Nd por meio de lixiviação ácida e precipitação alcança uma eficiência de 91,1%, resultando em alta pureza (PALANISAMY; SUBBURAJ, 2023).

Processos hidrometalúrgicos são observados mesmo em contextos semi-informais em países em desenvolvimento, onde as operações se concentram na extração de metais básicos (ex.: cobre) e preciosos (ex.: ouro e prata) (XU *et al.*, 2018). Nesses contextos, banhos ácidos são utilizados para produzir concentrados de metais impuros, que são, por sua vez, comercializados com fundições formais para se obterem metais puros (KASPER *et al.*, 2011; ILANKOON *et al.*, 2018; YONG *et al.*, 2019).

6.3.2. Critérios de seleção da tecnologia

Essa tecnologia é adequada quando há demanda por elevado nível de eficiência e precisão na extração de metais de grande interesse econômico. Sua adoção parte do pressuposto da



disponibilidade de grandes volumes de água e da existência de infraestrutura para o tratamento adequado dos efluentes residuais.

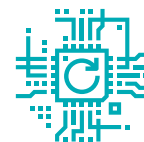
6.3.3. Principais vantagens e desvantagens

Entre as principais vantagens do processo hidrometalúrgico destacam-se (VEIT *et al.*, 2014; LIU *et al.*, 2023):

- a) Redução do risco de poluição do ar (emissões tóxicas e poeira), comparativamente à pirometalurgia;
- b) Separação eficiente de metais nos componentes eletrônicos;
- c) Precisão do processo;
- d) Previsibilidade do resultado do processo;
- e) Menor intensidade no consumo de energia;
- f) Pode ser operada à temperatura e pressão ambientes.

Entre as principais desvantagens desse processo, destacam-se (KAMBEROVIC *et al.*, 2009; TUNCUK *et al.*, 2012; KHALIQ *et al.*, 2014; ASHIQ *et al.*, 2019; CETEM, 2023):

- a) Lentidão, podendo impactar a viabilidade econômica;
- b) Exigência de moagem final para lixiviação eficiente;
- c) Demanda por produtos químicos;
- d) Alta toxicidade, particularmente em cursos de água;
- e) Alto consumo de reagentes;
- f) Alto custo;
- g) Geração de efluentes, produzindo uma grande quantidade de resíduos ácidos e alcalinos, que são difíceis de descartar;
- h) Elevados riscos à saúde humana;
- i) Demanda por grandes volumes de água;
- j) Complexidade do processo.



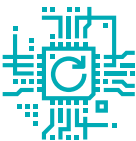
6.4. Processos pirometalúrgicos

6.4.1. Características técnicas

A pirometalurgia é um ramo da metalurgia que envolve o tratamento térmico a temperaturas elevadas, que podem ir de 300 a 2000 °C (LIU *et al.*, 2023). As transformações físicas e químicas ao longo deste processo permitem a recuperação de metais puros (ferro, cobre, zinco, cromo, estanho e manganês) ou compostos e ligas. De maneira geral, os processos pirometalúrgicos envolvem a coleta, triagem e redução de tamanho do lixo eletrônico (ex.: trituração), seguidas pela separação (ex.: separação baseada na forma da partícula, separação eletrostática, separação magnética), extração e recuperação do metal. Inicialmente, a amostra de resíduos é aquecida em uma atmosfera de gás inerte (PUCKETT *et al.*, 2002). As frações orgânicas, como papel, madeira, borracha, plásticos etc., então, são decompostas em temperaturas ainda mais elevadas, formando químicos voláteis, muitas vezes utilizados para a geração de energia para alimentar o próprio processo de reciclagem (GRAMATYKA *et al.*, 2007).

As tecnologias de processamento específicas incluem, entre outras, a secagem, a torrefação, a calcinação, a combustão, a pirólise, a fusão, a fundição, o refinamento, a liga (GRAMATYKA *et al.*, 2007; CETEM, 2023), a sinterização (LIU *et al.*, 2023) e o uso de solventes fluídos supercríticos (PALANISAMY; SUBBURAJ, 2023). Entre essas alternativas, destacam-se três:

- a) Fusão (*smelting*): os resíduos são colocados em fornalha com cobre ou sucata de chumbo, com a finalidade de serem fundidos e darem origem a produto contendo metais de interesse, além de rejeito na forma de escória. A eletrometalurgia e a hidrometalurgia podem ser utilizadas, na sequência, para refinar os materiais, concentrando aqueles de mais interesse (CETEM, 2023);
- b) Combustão: resíduos que não são passíveis de reciclagem física, biológica ou química passam a ser utilizados como combustíveis em uma atmosfera rica em oxigênio, reduzindo a demanda por outras fontes de energia, renováveis ou não (ABDELBASIR *et al.* 2018; CETEM, 2023). Por exemplo, resíduos das placas de circuito impresso são lançados em uma fornalha a uma temperatura de 1.000 °C, com fornecimento contínuo de O₂ como agente de suporte à combustão. A resina epóxi bromada presente é convertida em gás combustível. O gás brometo de hidrogênio liberado é absorvido pela soda cáustica. A extração via lixiviação seletiva de cobre e metais preciosos pode ser obtida na sequência, utilizando-se a eletrodeposição (LI *et al.*, 2018; LIU *et al.*, 2023);



- c) Pirólise: esse processo realiza a degradação térmica dos REEes em um ambiente de baixa concentração de oxigênio, preservando a parte polimérica, transformada em compostos de menor massa molecular (EBIN; ISIK, 2016) ou gases, óleos e carvão, os quais podem ser convertidos em combustível para retroalimentar o processo de reciclagem (CETEM, 2023). Além da pirólise, a recuperação de energia química e térmica dos resíduos plásticos pode ocorrer por meio de incineração, liquefação hidrotérmica e gaseificação (SAHLE-DEMESSIE *et al.*, 2021). Note-se que as partes plásticas do REEE são difíceis de serem recicladas por causa dos retardadores de chama e das diferentes misturas de polímeros (ABDELBASIR *et al.* 2018).

A fase metálica fundida apresenta mais metais, enquanto os oxidados se concentram na escória. Dessa forma, para realizar o refinamento requerido para a extração dos metais de interesse, o processo de pirometalurgia requer etapas subsequentes (CETEM, 2023). Awasthi e Li (2019) defendem que o refinamento pode ser mais eficaz se realizado de forma híbrida, combinando técnicas como a reciclagem mecânica e a biometalurgia. Similarmente, a separação físico-mecânica (gravidade, magnética e eletrostática) da fração metálica e da não metálica, combinada com processos hidrometalúrgicos, pode auxiliar na redução do custo energético demandado na pirometalurgia (KAYA, 2016; CETEM, 2023).

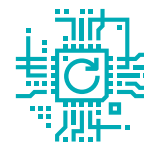
6.4.2. Critérios de seleção da tecnologia

A utilização dessa tecnologia é recomendada quando se necessita grande flexibilidade quanto ao perfil do REEE; quando se necessita de processamento em maior escala; quando se busca alta eficiência na recuperação seletiva de materiais; quando há ampla disponibilidade de energia a custos economicamente viáveis; quando se tem infraestrutura adequada para o controle de emissões; quando se tem capital para investimentos de maior monta.

6.4.3. Principais vantagens e desvantagens

Entre as principais vantagens do processo de pirometalurgia, destacam-se:

- a) Alta eficiência para a recuperação seletiva de materiais presentes em REEes: Cui e Roven (2011) e Hsu *et al.* (2019) relatam cerca de 70% de recuperação;
- b) Grande flexibilidade de aplicação: Bernardes *et al.* (2004) argumentam que o processo de fundição pode aceitar qualquer tipo de REEE como insumo para a recuperação de cobre e outros metais de valor econômico. Talvez seja por isso que esse seja um processo encontrado tanto no âmbito de indústrias formais como no âmbito de



indústrias informais e semiformais (YONG et al., 2019). Essa flexibilidade inclui a falta de necessidade de manipulação prévia dos materiais entre as etapas de reciclagem;

- c) Escala: a possibilidade de realização de operações em grande escala sem necessidade de pré-tratamento dos resíduos (CETEM, 2023).

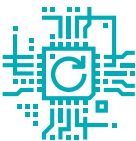
Entre as desvantagens da pirometalurgia, destacam-se:

- a) Demanda grande quantidade de energia (VEIT et al., 2014);
- b) Potencial de poluição elevado: destaca-se a presença de retardadores de chama halogenados, que podem gerar dioxinas, furanos, poluentes orgânicos polibromados, entre outras substâncias tóxicas (MENAD et al., 1998; CETEM, 2023). O problema é agravado quando há a disposição dos materiais indesejáveis oriundos do processo de reciclagem de REEs em espaços abertos e/ou às margens de cursos de água (WONG et al., 2007);
- c) Menor eficiência na recuperação de materiais: há perda de ferro e alumínio na escória (VEIT et al., 2014). Esse é um processo menos eficiente que a hidrometalurgia e a biometalurgia, principalmente em decorrência das perdas com escória;
- d) Alto custo de instalação e de operação: destaca-se o elevado consumo de energia, demandando alto dispêndio de capital e grandes despesas operacionais (JHA et al., 2012; ARGUMEDO-DELIRA et al., 2019; LIU et al., 2023);
- e) Complexidade no controle e monitoramento: é elevada a complexidade da composição de materiais presentes no REE, dificultando o controle de variáveis no processo de pirometalurgia (ABDELBASIR et al. 2018).

6.5. Processos eletroquímicos

6.5.1. Características técnicas

Os processos eletroquímicos utilizam a eletrólise para recuperar metais valiosos do REE. Esse método tem na célula eletrolítica seu equipamento principal, sendo energia elétrica aplicada para provocar uma reação química. Eletrodos são imersos em um fluido (ex.: água) em que é depositado o REE. Cada célula tem, geralmente, um eletrodo com um cátodo, com carga negativa, e um ânodo, com carga positiva. A reação química (eletrolise) provoca a “quebra” das partículas de fluxo (ZHANG; XU, 2016). Em uma PCI, por exemplo, os íons metálicos migram e se depositam nos eletrodos, resultando na recuperação do cobre e outros metais preciosos ali presentes (CUI; FORSSBERG,



2003). Exemplo desse processo é a eletrólise de iodeto, em que uma solução aquosa de iodeto de potássio/hidróxido de potássio é usada para recuperar ouro, prata e paládio de metal folheado ou revestido (CHAUHAN; UPADHYAY, 2015).

Os equipamentos básicos envolvidos nesse processo incluem a célula de eletrólise (solução eletrolítica + eletrodos); fontes de alimentação de corrente elétrica; equipamento de separação (para remoção de partículas sólidas, impurezas ou depósitos eletrolíticos) e filtração (filtros, membranas ou centrífugas); tanques e reatores para o armazenamento da solução eletrolítica e a realização de reações químicas específicas (ex.: lixiviação ou precipitação); e, finalmente, sistemas de monitoramento e controle (ex.: sensores, medidores, controladores) para garantir as condições de processamento (CUI; FORSSBERG, 2003; ZHANG e XU, 2016).

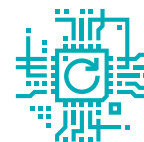
Esse processo tem se mostrado efetivo para recuperar metais de forma seletiva. Ali (2011) demonstrou isso em experimento que bombeou soluções aquosas de cloreto ácido produzidas pela lixiviação de resíduos triturados de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) por meio do cátodo controlado em um reator eletroquímico. Devido a essa característica, frequentemente processos eletroquímicos estão presentes na etapa final da pirometalurgia e da hidrometalurgia (LI *et al.*, 2012). O tratamento eletroquímico pode ser posicionado como etapa de refino, realizada em eletrólitos aquosos e, às vezes, em sais.

Importante distinguir entre processo eletroquímico e processo eletrometalúrgico. Enquanto os primeiros recuperam metais de soluções ou lixiviados por eletrólise, empregando uma solução eletroquímica, os últimos lançam mão de tratamentos de alta temperatura para extrair e recuperar metais de matérias-primas. Embora ambos utilizem eletricidade, suas aplicações e mecanismos diferem. Processos eletrometalúrgicos podem ser realizados em meio aquoso, reduzindo, em baixa temperatura, os metais em solução, ou empregar sais fundidos em ambientes sob alta temperatura (CETEM, 2023).

6.5.2. Critérios de seleção da tecnologia

O processo eletroquímico pode ser considerado relevante para um dado projeto quando se busca:

- a) Elevada eficiência na recuperação de metais específicos;
- b) Impactos ambientais comparativamente menores;
- c) Tempos de processamento reduzidos.



Sua adoção requer a existência de disponibilidade de fontes de energia com fornecimento regular, infraestrutura especializada adequada à operação e pessoal especializado.

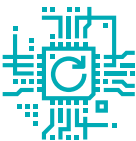
6.5.3. Principais vantagens e desvantagens

Entre as principais vantagens do processo eletroquímico para a reciclagem de REEE destacam-se:

- a) Alta eficiência de recuperação de metal: a deposição controlada de metais em eletrodos permite recuperação e purificação eficientes, inclusive de metais específicos de interesse;
- b) Impacto ambiental relativamente baixo: comparativamente com outros processos, apresenta impacto ambiental menor, incluindo a redução na liberação de emissões gasosas (Li et al., 2012) e substâncias perigosas, como metais pesados ou produtos químicos tóxicos, dado que pode concentrá-los e imobilizá-los. Conforme Li et al. (2012) há emissão de efluentes devido às etapas de solubilização e lixiviação, mas essa emissão é menor que a da hidrometalurgia (Li et al., 2012);
- c) Qualidade dos resultados: há melhor uniformidade na deposição de metal, com nível maior de pureza do material obtido;
- d) Automação: a integração de soluções de controle e monitoramento automático é facilitada;
- e) Reciclagem em circuito fechado: processos eletroquímicos permitem a aplicação do conceito de reciclagem em circuito fechado;
- f) Escalabilidade e eficiência: permite implantação em diversas escalas, desde pequenas unidades até grandes fábricas;
- g) Menor consumo de energia: conforme Li et al. (2012), esse é um processo de reciclagem que, em relação a outros, consome menos energia;
- h) Tempo de processamento: relativamente rápido, quando comparado ao de outras tecnologias;
- i) Flexibilidade de aplicações: a eletrodeposição pode ser aplicada em produtos com formas complexas e superfícies não uniformes.

Entre as principais desvantagens do processo eletroquímico para a reciclagem de REEEs destacam-se:

- a) Limitada aplicabilidade: REEEs com grande variedade de materiais podem tornar inviável sua aplicação, sendo necessária a combinação com outras tecnologias;



- b) Consumo de energia: a eletrólise pode demandar grande quantidade de energia;
- c) Uso de produtos químicos e geração de resíduos: o manuseio inadequado das soluções de eletrólitos podem resultar em elevado impacto ambiental. Conforme Rai *et al.* (2021) a maioria dos oxidantes usados em eletrólitos pode ser reciclada. Ainda assim, os principais contribuintes de impacto ambiental são o ácido clorídrico, o peróxido de hidrogênio e as entradas de ácido sulfúrico;
- d) Requisitos de capital, infraestrutura e pessoal: além dos custos de implantação, sua operação demanda infraestrutura específica e pessoal com competência no tema, o que limita a adoção generalizada;
- e) Otimização de processo complexo: a complexidade do processo e suas variáveis (ex.: adsorção de partículas não eletroativas no eletrodo, composição do eletrólito, variabilidade da densidade da corrente, material do eletrodo) torna difícil sua otimização, particularmente sob o ponto de vista do consumo de energia (RAI et al., 2021).

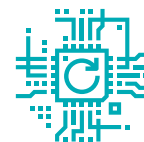
6.6. Processos biotecnológicos

6.6.1. Características técnicas

Processos biotecnológicos envolvem a aplicação de microrganismos, como algas, bactérias e fungos, para remover ou transformar REEes em formas menos perigosas ou não perigosas. Conforme Palanisamy e Subburaj (2023), essa abordagem está geralmente associada à recuperação de metais preciosos presentes em REEes (PALANISAMY; SUBBURAJ, 2023)

No caso de metais, as abordagens para a reciclagem via processos biotecnológicos são:

- a) Biotransformação: o resíduo é alterado (transformado) por meio de uma reação química no interior do microrganismo;
- b) Biossorção: adsorção de metais pesados por meio da utilização de resíduos agroindustriais;
- c) Bioacumulação: absorção, transferência e concentração de contaminantes para biomassa dentro da organela celular;
- d) Biolixiviação: dissolução dos metais sólidos presentes nos resíduos, seja por meio de óxidos orgânicos ou de bactérias oxidantes;



- e) Biomineralização: alteração química do resíduo por meio da atividade microbiana que resulta na precipitação de minerais, envolvendo etapas de biolixiviação, precipitação de metais, separação da biomassa e processos adicionais de recuperação (LESMANA, 2009; PATEL; KASTURE, 2014; JIANG et al., 2019).

Entre essas abordagens, destaca-se a eficácia da biolixiviação na recuperação de metais de fontes primárias e secundárias por meio da utilização de microrganismos como extremófilos, bactérias moderadamente termofílicas e mesófilos. Essa tecnologia é amplamente utilizada na recuperação comercial de metais, especialmente molibdênio, cobre, zinco, níquel, arsênico, cobalto, antimônio, gálio, paládio, platina e ósmio de seus minérios (BRIERLEY; BRIERLEY, 2013; AMBAYE *et al.*, 2020).

A biossorção é um dos métodos biológicos utilizados na reciclagem de REEs que tem chamado atenção, destacando-se a alta eficiência de recuperação de metais em baixa concentração, a alta regeneração, a cinética rápida e a não geração de resíduos secundários. Apresenta alta eficácia na remoção de contaminantes da solução aquosa, não produzindo lodo químico. Ademais, a pode ser facilmente integrada a qualquer sistema de reciclagem, em comparação com os métodos convencionais (DAS *et al.*, 2008; LIU *et al.*, 2016; SINGHA; DAS, 2011; XIONG *et al.*, 2012; AMBAYE *et al.*, 2020).

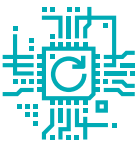
CETEM (2023) vislumbra a combinação dos processos de biolixiviação e biossorção como tecnologia ambientalmente mais eficiente, capaz de suprir a necessidade de reagentes tóxicos na recuperação de minerais valiosos. Similarmente, Fetanat *et al.* (2021) aponta para a possibilidade de uma abordagem combinada, incorporando tanto o uso de produtos químicos mais seguros como de micróbios compatíveis para a extração eficaz e eficiente de metais de REEs.

6.6.2. Critérios de seleção da tecnologia

Processos biotecnológicos são recomendáveis para alcançar baixo custo de operação; baixo impacto ambiental; facilidade e flexibilidade na implementação. Eles consistem em operações de baixa velocidade.

6.6.3. Principais vantagens e desvantagens

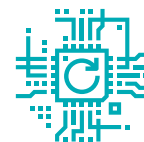
Entre as principais vantagens da biometalurgia aplicada à reciclagem de REEs, estão:



- a) Baixo custo operacional: particularmente em comparação com o consumo energético da pirometalurgia (ABDELBASIR et al, 2018; CETEM, 2023; PALANISAMY; SUBBURAJ, 2023). Apesar de apresentar baixo custo, conforme destaca Fetanat et al. (2021), a extração biológica de metais de REEs é mais cara que outros métodos químicos;
- b) Baixo impacto ambiental: redução da demanda por produtos químicos (NAMIAS, 2013; PALANISAMY; SUBBURAJ, 2023) por não empregar reagente alimentado, apresentando economia de insumos básicos (CETEM, 2023);
- c) Facilidade de operação: além de o processamento ser relativamente simples, inclui-se, aqui, a maior facilidade no manuseio de águas residuais/efluentes (NAMIAS, 2013; HENNEBEL et al., 2015);
- d) Flexibilidade de implantação: na biossorção, pelo processo físico-químico de bioacumulação, os organismos não precisam estar vivos para interagir e extrair metais de substratos, por se tratar de um fenômeno passivo (KIDDEE et al., 2020; CETEM, 2023).

Entre as principais desvantagens dos processos biotecnológicos aplicada à reciclagem de REEs, destacam-se:

- a) Riscos ambientais: na biolixiviação os microrganismos oxidam ou liberam agentes oxidantes (KIDDEE et al., 2020; CETEM, 2023); a lixiviação pode vazar para o solo e as águas superficiais, tornando-as ácidas e causando graves problemas ambientais. Ademais, produtos químicos tóxicos, como ácido sulfúrico e íons, são produzidos durante o processo, que pode envolver, ainda, bactérias cianogênicas e bactérias produtoras de ácidos orgânicos (TIPRE et al. 2021);
- b) Baixa velocidade: como depende da manutenção e acomodação de microrganismos por longos períodos, o processo biológico é lento (CETEM, 2023); enquanto na pirometalurgia e hidrometalurgia ele demora horas, na biometalurgia geralmente são necessários vários dias (ILYAS; LEE, 2014; KUMAR et al., 2017; FETANAT et al., 2021; LIU et al., 2023);
- c) Eficácia limitada: há a necessidade de ampliação dos esforços de P&D, pois a tecnologia não se encontra suficientemente desenvolvida para contemplar a ampla variedade e complexidade de metais presente no REE (KUMAR et al., 2017).
- d) Importante destacar que há diferenças de desempenho na reciclagem de REEs entre os processos biotecnológicos. O de biossorção, por exemplo, apresenta, comparativamente, baixo custo operacional, menor volume de lodo químico a ser manuseado e alta eficiência na despoluição de efluentes (GARDEA-TORRESDEY et al., 2004; PETHKAR; PAKNIKAR, 1998).



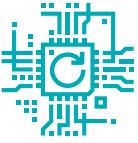
6.7. Tecnologias de reciclagem emergentes

Dada a premente demanda por soluções para os complexos desafios da reciclagem de REEEs, novas tecnologias têm explorado abordagens alternativas de tratamento. Como exemplo, tem-se a tecnologia de íons líquidos, que podem ser definidos como solventes compostos por frações orgânicas e íons com baixo ponto de fusão ($<1000^{\circ}\text{C}$) (HOLBREY; SEDDON, 1999). Desde sua introdução, em 1914, essa tecnologia tem atraído interesse significativo de pesquisadores devido a seu baixo impacto ambiental como alternativa a solventes orgânicos para várias reações químicas e eletroquímicas sintéticas (KAIM; RINTALA; HE, 2023). Entre suas vantagens, inclui-se a baixa toxicidade, a alta estabilidade térmica e a não inflamabilidade (ALIAKBARI; MARFAVI; KOWSARI, 2020).

Destacam-se, também, as aplicações emergentes de fluidos supercríticos. Quando a temperatura e a pressão aumentam, a fase líquida torna-se menos densa e a gasosa mais densa. Já quando a temperatura e a pressão aumentam até o ponto crítico, as duas fases tornam-se idênticas, característica típica de um fluido supercrítico. Com base nos princípios desses fluidos, pesquisas vêm sendo realizadas para decompor e remover materiais orgânicos, como resina epóxi bromada, e recuperar metais de REEEs. E os fluidos supercríticos têm se mostrado eficazes e eficientes, também, no controle da poluição presente no REEE (LI; XU, 2019).

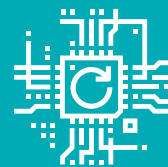
Os metais podem ser recuperados quando os componentes não metálicos presentes no REEE são removíveis por pirólise a vácuo, dependendo, porém, das regulagens de pressão de vapor e temperatura (ABDELBASIR *et al.* 2018). A metalurgia a vácuo separa os materiais de reciclagem por meio de vários tipos processos, como evaporação a vácuo, sublimação a vácuo, redução de vácuo e pirólise (ZHAN; XU, 2014). Ela é adequada para a reciclagem de metais pesados e orgânicos em resíduos eletrônicos. Os metais com alta pressão de vapor, bem como aqueles fáceis de serem oxidados, podem ser evaporados e reciclados a temperaturas muito mais baixas e sob a pressão de vácuo abaixo de 100 Pa, realizada por bomba mecânica (ZHAN; XU, 2014). Processos a vácuo têm muitos benefícios, graças a seu baixo ponto de ebulição e alta saturação de vapor de pressão. Em contrapartida, a separação de metais valiosos e raros com baixo vapor saturado de pressão não é tão eficiente por meio do método de condensação a vácuo (ABDELBASIR *et al.* 2018).

Entre as tecnologias emergentes, talvez a que mais ofereça o potencial de promover mudanças radicais nos processos de reciclagem de REEEs é a produção de produtos eletrônicos biodegradáveis. Materiais orgânicos oferecem não apenas vantagens ambientais, como a biodegradabilidade, mas, também, funcionalidades inacessíveis aos semicondutores cristalinos padrão, como aquelas exigidas



em muitas aplicações biomédicas. De fato, essa tecnologia faz uso das vantagens exclusivas dos materiais condutores orgânicos:

- a) Combinação de robustez mecânica com flexibilidade;
- b) Não são tóxicos e não provocam respostas inflamatórias ou imunes; e
- c) São capazes de se comportarem como condutores iônicos e eletrônicos e, assim, fazer a interface com as correntes protônicas e iônicas presentes nos sistemas biológicos (IRIMIA-VLADU et al., 2012).



7. **BENCHMARKING INTERNACIONAL**

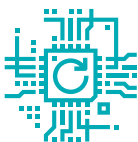
Nesta seção, busca-se identificar aprendizado relevante na comparação de elementos-chave das práticas brasileiras de gestão de REEE com países de referência. Utilizou-se como parâmetro de seleção dos países-alvo o volume de REEEs gerados e a taxa de reciclagem, além da relevância na adoção de práticas e na realização de estudos sobre o tema. Os dados apresentados por Ruiz (2022) mostram que, entre os países que mais geram resíduos, os três com as maiores taxas de reciclagem são Alemanha, Reino Unido e França. Porém, como França e Alemanha têm proximidade geográfica e como a ideia era ampliar a diversidade do estudo, selecionou-se o Japão, o próximo na lista a partir dos critérios estipulados. Finalmente, o último país selecionado foi a Dinamarca, dada a relevância que vem tendo nos últimos anos.

7.1. **Estados Unidos**

7.1.1. **Legislação**

Não há regulamentação federal dedicada especificamente ao REEE nos Estados Unidos. Embora o tema tenha sido objeto na negociação da Convenção de Basileia e o governo americano tenha assinado o tratado em 1990, não ocorreu a ratificação do acordo pelo congresso dos EUA. Ratificar a Convenção de Basileia demandaria promulgar legislação para restringir a importação e exportação de resíduos perigosos. Isso exigiria que os exportadores de resíduos obtivessem garantias de descarte ambientalmente correto (SACHS, 2012; SCHUMACHER; AGBEMABIESE, 2019). Os tubos de raios catódicos presentes em monitores de computadores e em televisores são os únicos REEEs expressamente proibidos de se exportar. Dessa forma, o país continua exportando parcela de seu REEE, incluindo PCs, vidro CRT e baterias de chumbo-ácido, além de outros materiais perigosos (GIBBS *et al.*, 2010; LIU *et al.*, 2023)

Na ausência de legislação federal, municípios e estados americanos não têm a autoridade jurisdicional para regular contra a exportação de REEE. Assim, a estratégia mais disseminada para a promoção de práticas adequadas de gestão do final do ciclo de vida de REEEs é a demanda de padrões de processamento em toda a cadeia de fornecedores, por meio de acordos contratuais (SCHUMACHER; AGBEMABIESE, 2019). A partir de 2023, vários estados nos EUA lançaram suas

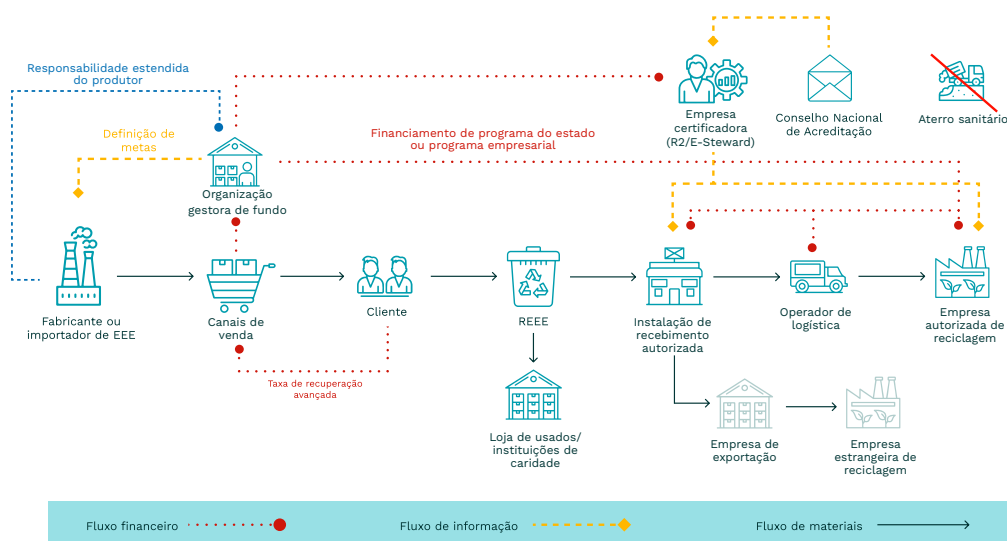


próprias leis sobre o tema, todas com o objetivo de promover a reciclagem e proibir ou impedir a destinação para aterros (NAMIAS, 2013; SCHUMACHER; AGBEMABIESE, 2019; LIU *et al.*, 2023). Atualmente, 25 estados americanos já aprovaram leis que exigem a coleta e reciclagem de REEEs e/ou proíbem o seu aterro e incineração (EIFERT, 2009; SCHUMACHER, AGBEMABIESE, 2019).

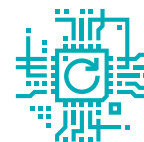
7.1.2. Visão geral do sistema

A cadeia de valor associada ao REEE nos EUA envolve departamentos municipais, revendedores, recicladores, organizações sem fins lucrativos, certificadoras, agências de proteção ambiental, fabricantes ou organizações do setor e programas de parceria governamental (PETRIDIS *et al.*, 2020; WAGNER, 2009; LIU *et al.*, 2023). A maioria dos fabricantes está envolvida na reciclagem de lixo eletrônico por meio da Associação Nacional de Fabricantes de Equipamentos Elétricos ou, alternativamente, de seus respectivos representantes comerciais nos Estados Unidos. Existem, atualmente, mais de 2 mil empresas envolvidas no tratamento do REEE em todos os 50 estados dos EUA (KAHHAT *et al.*, 2008; KOLLIKATHARA *et al.*, 2009; LIU *et al.*, 2023).

Figura 5: Sistema norte-americano de gestão de REEEs



Fonte: Elaboração própria.



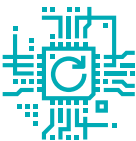
Dois modelos de coleta centralizada e programas de reciclagem são atualmente praticados por estados com legislação de lixo eletrônico:

- a) Modelo em que o estado gerencia o programa ou contrata/designa, por lei, a gestão de um programa centralizado, aprovando os coletores e recicladores, bem como as taxas que os fabricantes devem pagar para cobrir os custos de transporte, consolidação e reciclagem;
- b) Modelo em que uma entidade gestora administra a rede de coleta, faz acordos com os recicladores e, em alguns casos, supervisiona as obrigações financeiras dos fabricantes.

Alguns estados permitem que os fabricantes optem por não participar do programa centralizado, desde que seu programa de reciclagem individual atenda a certos padrões. A responsabilidade de uma entidade gestora integra, em seu escopo, a supervisão e a auditoria de toda a rede de reciclagem de lixo eletrônico, incluindo a comunicação de onde e como os eletrônicos coletados são gerenciados em toda a cadeia de fornecedores, exigindo relatórios regulares dos fabricantes e recicladores sobre volumes de coleta e conformidade de suas práticas. Contratos de reciclagem podem ser descontinuados se os padrões não forem atendidos, assim como exigências de certificação podem ser estabelecidas (SCHUMACHER; AGBEMABIESE, 2019)

Há variação nas organizações e indivíduos que podem descartar resíduos nos programas estaduais de gestão de REEEs. Enquanto todos os programas estaduais incluem residentes/ famílias, alguns estados permitem empresas, organizações sem fins lucrativos e escolas. Alguns também estipulam o tamanho da organização ou o número de dispositivos de uma determinada entidade que podem ser reciclados. Por exemplo, Oregon permite o encaminhamento, em seu sistema de reciclagem, do REEE oriundo de empresas e organizações sem fins lucrativos com menos de dez funcionários e qualquer residente com menos de sete unidades de REEE (SCHUMACHER; AGBEMABIESE, 2019).

Organizações sem fins lucrativos têm um papel importante no sistema americano, particularmente no que concerne à reutilização de equipamentos. As de caridade, como Goodwills e Salvation, têm como vantagem sua configuração distribuída e sua boa reputação na revenda de usados, revertendo a renda gerada para causas sociais. Como resultado, essas organizações não apenas apoiam a reutilização do equipamento, mas também fornecem um mercado para os consumidores com menor poder aquisitivo que, de outra forma, não seriam capazes de comprar produtos eletrônicos (SCHUMACHER; AGBEMABIESE, 2019).



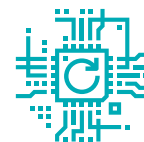
7.1.3. Financiamento

O mecanismo de financiamento de programas de reciclagem de REEEs nos Estados Unidos varia de estado para estado. Ele contempla, por exemplo, o pagamento de taxa pelos fabricantes, para que o estado realize o gerenciamento de programa de reciclagem, aprovando os coletores/recicladores e cobrando taxas dos fabricantes. Empresas também podem financiar de forma coletiva o sistema, encaminhando taxas para uma entidade gestora ou, alternativamente, assumindo os custos de seu próprio sistema individualizado, sendo este passível de auditoria por agências do estado (SCHUMACHER; AGBEMABIESE, 2019). A maioria utiliza programas de responsabilidade estendida do produtor (REP) via entidade gestora, sendo a supervisão do programa financiada por meio de uma “taxa de inscrição”. Os fabricantes são responsáveis pela coleta e reciclagem de REEEs dentro de cada estado. Califórnia e Utah empregam uma “taxa de recuperação avançada” (ARF), que, diferentemente da abordagem orientada para a cobrança no final do ciclo de vida, obriga a disponibilização dos fundos já no ato de comercialização dos EEEs (SCHUMACHER; AGBEMABIESE, 2019).

Alguns estados exigem que os fabricantes ofereçam programas de coleta de REEEs ou serviços de reciclagem para seus produtos, enquanto outros oferecem incentivos adicionais para promover esses programas. Por exemplo, Maryland garante uma taxa de registro reduzida (US\$ 500, em vez de US\$ 5 mil) para os que contem com um programa de reciclagem de REEEs gratuito e disponibilizem instruções de limpeza de dados. Muitos estados impõem multas pelo não cumprimento da lei. Essas penalidades podem ser impostas aos varejistas que vendem produtos de fabricantes não registrados ou a fabricantes que não se registraram no respectivo estado (SCHUMACHER; AGBEMABIESE, 2019).

7.1.4. Abordagens de responsabilização e participação dos atores na cadeia de valor

Fabricantes de EEEs são obrigados a se registrar no órgão de supervisão de cada estado e assumir a responsabilidade financeira e gerencial pela reciclagem dos produtos que inserem no mercado. No estado de Vermont, coletores, transportadores e recicladores enviam seus números de processamento para um programa de registro on-line, que executa todos os cálculos necessários. Há dois modelos alternativos: os fabricantes podem assinar e pagar no programa estadual ou optar por não participar do programa estadual e fornecer uma solução individual, com desempenho igual ou melhor que a estadual. Coletores, transportadores e recicladores de REEEs devem se



registrar no estado a cada ano e fornecer um plano de ação, incluindo atividades de divulgação e previsões financeiras (SCHUMACHER; AGBEMABIESE, 2019).

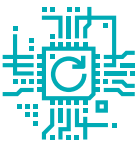
7.1.5. Exemplos de certificações e registros requeridos

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos estabeleceu, em 2009, a certificação R2 (Reciclagem Responsável), que inclui questões como o sistema de gerenciamento ambiental, saúde e segurança; a reutilização e recuperação – recicladores certificados devem estabelecer uma política por escrito, priorizando as opções de reutilização e recuperação antes de considerar soluções como incineração ou aterro; a inclusão de práticas pertinentes à destruição de dados. Em 2010, foi lançada a certificação E-Steward, abrangendo práticas ISO 14001 e R2 e, muito importante, proibindo que aqueles que a ela aderirem descartem resíduos tóxicos em aterros e incineradores de resíduos sólidos. Portanto, ela demanda total conformidade com tratados internacionais que versam sobre exportação/importação de REEEs.

Nova Jersey, Pensilvânia, Rhode Island, Carolina do Sul e Vermont exigem que os recicladores sejam certificados R2 ou E-Stewards, enquanto Michigan requer que tenham certificação ISO 14001. Na Carolina do Norte, os governos municipais devem usar um reciclador certificado R2 ou E-Steward caso realizem pleitos de recursos do Fundo Estadual de Eletrônicos. Em Oregon e Washington, são obrigatórias auditorias anuais; no entanto, ambos os estados permitem a certificação de terceiros (SCHUMACHER; AGBEMABIESE, 2019). Independentemente da abordagem, é o ANSI-ASQ National Accreditation Board (Anab) a organização que credencia os órgãos de certificação nos Estados Unidos (KAHHAT *et al.*, 2008; LIU *et al.*, 2023).

7.1.6. Mecanismos de controle e monitoramento

Em 13 estados americanos observa-se a utilização de metas de desempenho quanto à quantidade necessária de REEE que deve ser reciclada anualmente pelos fabricantes, dentro de programas de Responsabilidade Estendida do Produtor (REP). As metas são estabelecidas segundo parâmetro “per capita” ou definidas com base em uma porcentagem das vendas do ano anterior, o que pode incluir porcentagem em peso do EEE comercializado ou porcentagem em peso de REEE encaminhado para reciclagem. O primeiro critério tem como desafio o fato de os novos aparelhos eletrônicos estarem cada vez mais leves. Nesse sentido, alguns estados, como Havaí, Maine e Carolina do Norte, estabelecem metas de coleta baseadas na fatia de mercado de cada fabricante (SCHUMACHER; AGBEMABIESE, 2019).



Oregon é o único a ter uma meta futura de coleta de lixo eletrônico, ou seja, determinar o peso total de dispositivos eletrônicos que devem ser reciclados no ano seguinte, tomando como referência o desempenho no ano anterior. Cada fabricante que vende produtos no estado recebe uma parte da meta de coleta como obrigação mínima de reciclagem (SCHUMACHER; AGBEMABIESE, 2019).

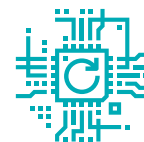
7.1.7. Abordagem para educação do consumidor

Ações de educação/divulgação associadas aos programas de gestão de REEEs estão incluídas na legislação de muitos estados americanos, designando quais entidades (por exemplo, fabricantes, municípios, varejistas ou o próprio estado) são responsáveis por educar os consumidores sobre a legislação pertinente, bem como sobre as oportunidades e protocolos para reciclagem (SCHUMACHER; AGBEMABIESE, 2019).

7.1.8. Abordagem quanto ao design do EEE

A legislação americana enfatiza aspectos de eficiência energética no design de EEEs. Na Lei de Política e Conservação de Energia (EPCA – Energy Policy and Conservation Act), o Departamento de Energia estabeleceu requisitos mínimos de eficiência energética para certos tipos de produtos eletrônicos (televisores, refrigeradores, condicionadores de ar, iluminação). No programa Energy Star (ENERGY STAR, 2023), por sua vez, coordenado pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) e DOE, fabricantes voluntariamente certificam seus produtos com respeito a critérios específicos de eficiência energética.

A diretiva europeia de Restrição de Substâncias Perigosas (RoHS – Restriction of Hazardous Substances) é utilizada por muitas empresas americanas que fabricam produtos voltados ao mercado global, garantindo conformidade com os regulamentos internacionais. De maneira similar, a Lei de Libertação da Poluição Plástica (Break Free from Plastic Pollution Act), elaborada com o intuito de reduzir a produção e o uso de certos produtos e embalagens de plástico, tem influenciado o projeto de produtos eletrônicos. Sua aplicação tem resultado em mais responsabilidade de fabricantes com a coleta, a reutilização, a reciclagem e o descarte de seus produtos de consumo e embalagens.



7.2. Inglaterra

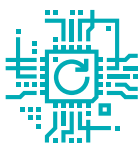
7.2.1. Legislação

Os regulamentos ingleses sobre REEEs entraram em vigor em 2003, como parte de uma iniciativa da União Europeia. Eles foram atualizados em 2013, com a transposição para legislação nacional a partir da Diretiva WEEE (2012/19/UE), que entrou em vigor em 2014. Destaca-se a transposição, em 2012, da Diretiva de Restrição de Substâncias Perigosas (RoHS) (2002/95/EC), que limita a quantidade de certas substâncias tóxicas em EEEs (incluindo chumbo, cádmio, mercúrio, cromo hexavalente, bifenil polibromado e éter difenílico polibromado) (CLARKE *et al.*, 2019).

As regulamentações do país consideram dez grandes categorias de REEEs, entre as quais se destacam os grandes eletrodomésticos, os equipamentos de iluminação, os dispositivos médicos, os equipamentos de TI e telecomunicações e os pequenos eletrodomésticos. O escopo de regulamentação para REEEs foi ampliado em janeiro de 2019, para cobrir outras categorias de produtos eletrônicos, como a iluminação doméstica (tomadas elétricas, interruptores e plugues), unidades de ar-condicionado e caldeiras a gás, entre outros. Itens não contemplados na legislação inglesa incluem: produtos para uso militar; equipamentos projetados e instalados em outro tipo de equipamento (ex.: sistema de navegação por satélite embutido em carros, barcos ou aviões); lâmpadas de filamento; equipamentos projetados para serem enviados ao espaço; ferramentas industriais estacionárias de grande porte; instalações fixas de grande porte que realizam operações industriais específicas; equipamentos de transporte de pessoas ou mercadorias, exceto veículos elétricos de duas rodas não homologados; máquinas móveis fora de estrada e para uso profissional; equipamentos projetados apenas para uso em pesquisa e desenvolvimento, disponíveis exclusivamente via business to business (B2B); dispositivos médicos implantáveis e dispositivos médicos que são infecciosos no fim da vida (GOV.UK, 2023).

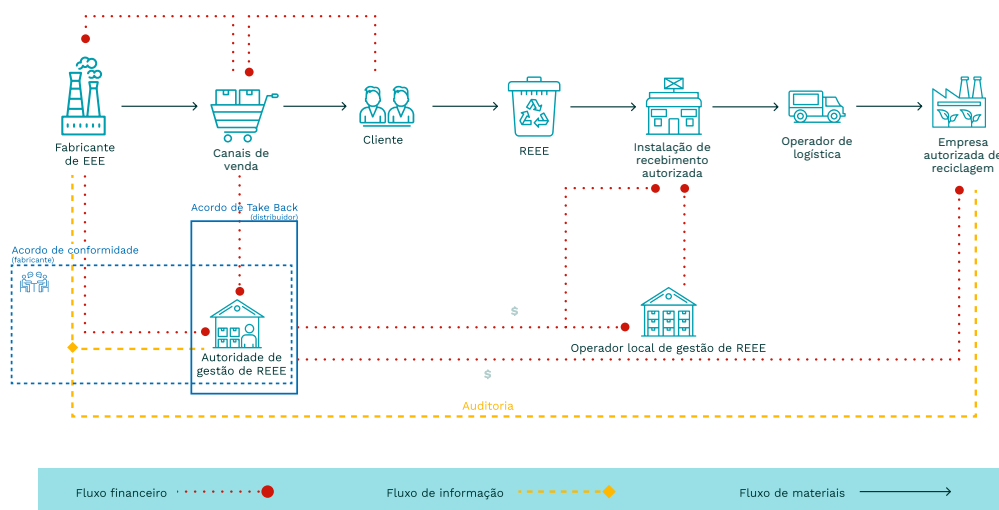
7.2.2. Visão geral do sistema

No modelo britânico, as empresas devem, necessariamente, aderir a um sistema de gestão de REEEs, conforme ilustra a figura a seguir. Nesse escopo incluem-se empresas que fabricam ou vendem EEEs com marca própria no Reino Unido; empresas que compram EEEs e, em seguida, fazem alterações para renomear o produto e revendê-lo no mercado do Reino Unido; empresas que importam EEEs para comercialização no Reino Unido; empresas que estão estabelecidas fora do Reino Unido, mas fornecem EEEs diretamente ao mercado do Reino Unido por meio de vendas



a distância; distribuidores (incluindo varejistas) que disponibilizam EEs no mercado do Reino Unido, inclusive por venda a distância. Note-se, no entanto, que consumidores que importam produtos não são obrigados a cumprir os regulamentos que requerem adesão a um sistema de gestão de REEEs (GOV.UK, 2023).

Figura 6: Sistema Britânico de Gestão de REEE

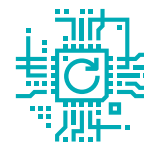


Fonte: Elaboração própria.

Destaca-se que o sistema britânico adota como prática o uso de Instalação de Tratamento Autorizadas (ATF – Approved Authorised Treatment Facility). Nessas instalações, as atividades podem incluir despoluição, desmontagem, trituração, recuperação ou preparação para descarte. A participação das ATFs é relevante porque somente essas unidades podem emitir notas de evidência para tratamento, recuperação ou reciclagem de WEEE no Reino Unido. As notas de evidência serão exigidas pelos esquemas de conformidade em nome dos produtores que necessitam desses documentos para provar que uma certa quantidade de REEEs foi tratada, recuperada e reciclada.

7.2.3. Financiamento

No modelo britânico cabe ao produtor ou representante autorizado financiar os custos de coleta, tratamento, recuperação e descarte ambientalmente adequado. Note-se que a regulamentação não impede que um fabricante estabeleça acordos alternativos com usuários para financiar



esses custos. Quando não é utilizado um esquema (acordo setorial) de logística reversa para esse financiamento, é possível pagar uma “taxa de conformidade” (GOV.UK, 2023).

O parlamento britânico reconheceu a vantagem competitiva de grandes varejistas e mercados on-line (ex: Amazon) e a premente necessidade de se estabelecer a obrigação de essas plataformas coletarem os REEEs de seus clientes. E, para evitar que a devolução seja oferecida apenas em armazéns remotos e inconvenientes, o organismo defende que grandes varejistas e mercados on-line devem organizar e pagar pela coleta dos REEEs, incluindo aqueles de pequeno porte.

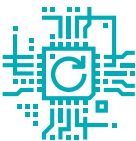
7.2.4. Abordagens de responsabilização e participação dos atores na cadeia de valor

Fabricantes de EEEs necessitam aderir a um esquema de conformidade do produtor (PCS) administrado por uma entidade gestora. Essa entidade fica responsável por registrar todos os seus membros anualmente, garantindo que cumpram as suas obrigações financeiras e suas obrigações quanto a relatório de dados. Como proceder em relação a esse registro depende de da quantidade de EEEs colocados no mercado do Reino Unido pela empresa no ano anterior:

- a) Se menos de 5 toneladas de EEEs, podem se registrar diretamente com seu regulador ambiental como pequeno fabricante;
- b) Se mais de 5 toneladas de EEEs, devem aderir a um esquema de conformidade do produtor (PCS).

Esses esquemas (ou acordos) assumem as obrigações de financiar o recolhimento, o tratamento, a recuperação e a destinação ambientalmente correta dos REEEs domésticos no Reino Unido (GOV.UK, 2023).

Para distribuidores de EEEs, a conformidade é geralmente obtida por meio da adesão a um esquema de logística reversa (DTS – Distributor Take-Back Scheme). O distribuidor é financeiramente responsável por coletar e transportar os REEEs. Um distribuidor que fornece novos EEEs ao consumidor doméstico inglês deve garantir que os resíduos possam ser devolvidos gratuitamente e individualmente pelo cliente, independentemente de a aquisição ter sido feita presencialmente, on-line ou por correspondência. Pode ser realizada devolução de produto diferente do originalmente adquirido, desde que realize a mesma função. Distribuidores que forneçam novos EEEs a partir de



uma área de vendas de pelo menos 400 m² devem providenciar o recolhimento gratuito, inclusive de EEEs muito pequenos (GOV.UK, 2023).

8.2.5 Exemplos de certificações e registros requeridos

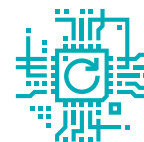
A fabricantes de EEEs ou seus representantes autorizados é solicitado, anualmente, uma declaração de conformidade à autoridade competente. Essa declaração necessita incluir todas as provas documentais relativas ao período de conformidade a que faz referência. As informações a serem fornecidas para as autoridades competentes incluem: a relação de EEEs colocados trimestralmente no mercado, discriminados por categoria e por utilização (doméstica ou não doméstica); e as quantidades de REEEs encaminhados para reutilização ou reparo ou, ainda, para exportadores aprovados (GOV.UK, 2023).

Para se tornar uma Instalação de Tratamento Autorizada (ATF – Approved Authorised Treatment Facility), é necessária documentação emitida pela Agência Ambiental da Inglaterra mediante preenchimento de formulário específico². A agência pode, eventualmente, requerer consulta à comunidade local, partes interessadas relevantes e grupos ambientais como parte do processo de inscrição. Importante notar que atividades restritas à reparação ou renovação de REEEs não requerem a licença, sendo permitido que todo o item de REEE ou qualquer parte dele seja reutilizado para sua finalidade original ou recuperado. É necessário, no entanto, realizar a solicitação formal dessa isenção e pagar taxas a cada 3 anos.

8.2.6 Mecanismos de controle e monitoramento

Os regulamentos de REEEs no Reino Unido colocam a responsabilidade pelo financiamento e participação no sistema de gerenciamento de REEEs nos produtores, distribuidores e varejistas de EEEs. O principal órgão regulador é a Agência Ambiental, responsável por supervisionar e fazer cumprir as regulamentações naquele país, incluindo o monitoramento de instalações de tratamento autorizadas e aprovadas. O fabricante/distribuidor necessita manter registros acerca da quantidade, em toneladas, de todos os EEEs que efetivamente tenha colocado no mercado no Reino Unido durante o período de conformidade em que se enquadra, todos devidamente categorizados. Os relatórios de monitoramento de dados, incluindo aqueles encaminhados via

² Vide formulário em: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/750725/WMP5-application-form-for-approval-as-an-AATF-for-WEEE.pdf



entidade gestora, permitem o controle de conformidade e do progresso do sistema em relação às metas estabelecidas (GOV.UK, 2023).

8.2.7 Abordagem para educação do consumidor

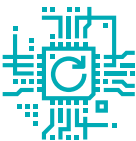
Observa-se grande intensidade de campanhas públicas e privadas, além de iniciativas para a conscientização do consumidor inglês, acerca das implicações dos REEEs para o meio ambiente e a sociedade. Além disso, o país exige que sejam disponibilizadas informações aos usuários de EEEs acerca da coleta e devolução disponíveis nas proximidades e acerca dos impactos potenciais dos resíduos tóxicos oriundos de REEEs sobre ser humano e o meio ambiente. Após 1 ano de colocação de EEEs no mercado do Reino Unido, é recomendado que os fabricantes se certifiquem de que as informações relativas ao reprocessamento de componentes e materiais de EEE sejam disponibilizadas (GOV.UK, 2023).

Para contribuir com a destinação correta do REEE, os fabricantes devem incluir, no produto, o símbolo de “lata de lixo cruzada”, de tamanho apropriado, de acordo com o padrão BSI EN50419. Esse símbolo indica que o produto deve ser levado para coleta seletiva no fim de sua vida útil, e não para o sistema de coleta de lixo municipal indiferenciado.

8.2.8 Abordagem quanto ao design do EEE

A legislação nacional permanece aderente ao conteúdo da Diretiva de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (Diretiva Europeia 2012/19/UE (EU, 2012)) que abrange todos os aspectos da reciclagem de todos os tipos de aparelhos. Contudo, com o desmembramento da Comunidade Europeia, a Inglaterra não tem participado de forma direta do processo de revisão da Diretiva Europeia 2011/65/UE, que restringe o uso de certas substâncias perigosas em equipamentos eletroeletrônicos colocados no mercado europeu, como chumbo, mercúrio e cádmio.

Importante notar que a legislação inglesa coloca, no secretário de Estado, a responsabilidade máxima pelo incentivo ao design de EEEs que facilite desde o desmantelamento até a reciclagem dos resíduos por eles gerados. Presentemente, são preconizados requisitos que facilitem a reutilização e o tratamento, nos mesmos moldes daqueles estabelecidos na Diretiva de Ecodesign 2009/125/CE (1) (EU, 2009a). Esta diretiva trata de produtos que usam energia e produtos relacionados à energia. Dentro do arcabouço legal nacional, as questões pertinentes especificamente ao “Design



para fabricação, montagem, desmontagem e processamento de fim de vida” são tratadas na BS8887-211, orientada aos processos de reutilização.

7.3 Japão

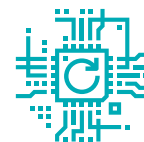
7.3.1 Legislação

Em 1998, o Japão promulgou a Lei de Reciclagem de Eletroeletrônicos Domésticos, que estabeleceu que o consumidor deveria arcar com custos de transporte e reciclagem de REEEs. Em 2000, foi a vez da Lei de Base para Promover o Estabelecimento de uma Sociedade Circular, seguida de uma série de normativos relacionados. Entre estes, está a Lei de Promoção do Uso Efetivo de Recursos (LPUER), promulgada em 2001, que trata de medidas para reciclar produtos e reduzir a geração de resíduos. Ela visa ao estabelecimento de um sistema econômico baseado na reciclagem por meio do fortalecimento de medidas como coleta e reutilização pelas empresas; uso racional de materiais; prolongamento da vida útil; e reutilização de componentes. Esta lei se estende a computadores pessoais, baterias, televisores, aparelhos de ar-condicionado e produtos da linha branca.

Outra iniciativa é a Lei de Reciclagem de Eletrodomésticos Específicos (LREE), que também entrou em vigor em 2001 e determina as responsabilidades de fabricantes e consumidores. Essa norma se aplica a condicionadores de ar domésticos, televisões, geladeiras e máquinas de lavar, estabelecendo um papel claro para fabricantes, importadores, varejistas, consumidores e governos municipais e nacionais (BO; YAMAMOTO, 2010).

A principal diferença entre a LPUER e a LREE é que a primeira busca encorajar fabricantes a realizarem esforços voluntários, enquanto a segunda lhes impõe obrigações. Além disso, enquanto a LPUER não estabelece responsabilidades compulsórias para varejistas, a LREE os coloca como atores centrais no processo de reciclagem de computadores, em função da dinâmica de aquisição desses produtos (os próprios consumidores transportam os computadores usados) (CHUNG; MURAKAMI-SUZUKI, 2008).

Segundo o disposto na LREE, as prefeituras não são obrigadas a coletar, transportar, reciclar ou descartar REEEs. Mesmo assim, elas recolhem e tratam eletrodomésticos em suas áreas de jurisdição, incluindo aquelas em que são ilegalmente descartados. Assim como as empresas do

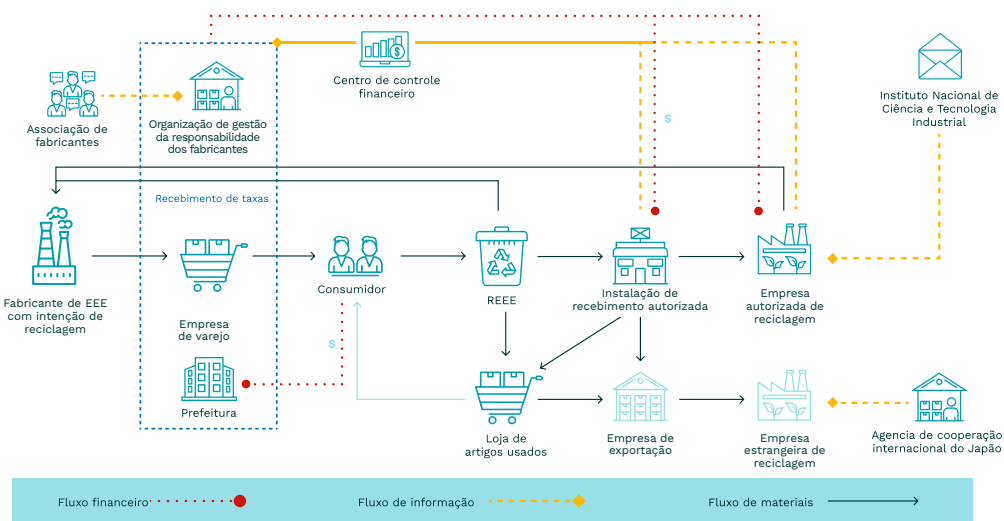


varejo, as prefeituras recebem taxas de transporte e reciclagem e encaminham os produtos para os pontos de coleta designados (CHUNG; MURAKAMI-SUZUKI, 2008). No Brasil, a gestão integrada de resíduos sólidos gerados cabe aos municípios, sem prejuízo do exercício das competências de controle dos órgãos federais e estaduais (ex.: Sistema Nacional de Meio Ambiente [Sisnama] e Sistema Nacional de Vigilância Sanitária [SNVS]) e da responsabilidade do gerador.

7.3.2 Visão geral do sistema

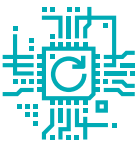
No Japão, os REEE podem ser encaminhados para reciclagem de duas maneiras: por meio dos revendedores de EEEs ou por meio de locais designados pelo governo. A partir desses pontos, são encaminhados para instalações de reciclagem dos fabricantes ou outras empresas encarregadas de processar os REEEs. O descarte é pago diretamente pelos consumidores, que arcam com os custos a ele relacionados. Estes recursos contribuem para a formação de um fundo destinado a empresas que realizam o manuseio do REEE (YOSHIDA e YOSHIDA, 2014; LIU *et al.*, 2023).

Figura 7: Sistema japonês de gestão de REEEs



Fonte: Elaboração própria.

Os fabricantes japoneses implementaram uma ampla rede de pontos de coleta de REEEs, organizadas via contratos com recicladores locais, plantas especializadas de processamento de resíduos ou, alternativamente, por meio das próprias instalações nas empresas. No encaminhamento



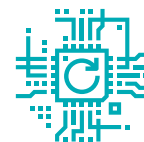
do REEE para reciclagem, os consumidores podem utilizar o sistema de correio. Note-se que o descarte ilegal de resíduos também está presente no ambiente japonês (CHUNG; MURAKAMI-SUZUKI, 2008).

Na gestão do final de ciclo de vida dos REEEs, os fabricantes são organizados em grupos para evitar que as leis antitruste sejam infringidas. O grupo A é composto por empresas como Matsushita e Toshiba, enquanto o grupo B é composto por Hitachi, Sharp, Mitsubishi, Sanyo, Sony, entre outras. O grupo A garante que os resíduos de eletrodomésticos sejam entregues a uma usina de reciclagem dentro das instalações dos fabricantes ou alguma por eles designada. O grupo B emprega um sistema em que os REEEs são desmontados, tratados e reciclados em uma das usinas de reciclagem designadas mais próximas. Neste sistema os varejistas assumem a responsabilidade de receber de volta qualquer EEE que vendeu e, subsequentemente, encaminhá-lo ao fabricante (BO; YAMAMOTO, 2010)

7.3.3 Financiamento

Desde 2003, fabricantes japoneses têm se envolvido voluntariamente em atividades de coleta e reciclagem de computadores. Os custos do processo são financiados diretamente pelos consumidores, que pagam uma taxa no ato de encaminhamento do REEE. Esse sistema foi desenvolvido pela Associação de Eletrodomésticos, sendo a coleta e o processamento realizados pelos fabricantes organizados em alianças (BO; YAMAMOTO, 2010; YANG *et al.*, 2021). Os consumidores compram um tíquete de reciclagem para que o produto seja descartado, entregando-o diretamente ou por meio do revendedor ou loja onde o EEE foi adquirido.

Uma característica relevante a se destacar acerca da operação do fundo de REEEs no Japão é que não há fundação ou agência governamental para gerenciar a reciclagem de forma unificada. Consumidores e fabricantes assumem total responsabilidade pela gestão desses fundos, o que reduz os custos de operação. Uma central coleta e dissemina informações financeiras e de movimentação física acerca de todo o processo (YANG *et al.*, 2021).



7.3.4 Abordagens de responsabilização e participação dos atores na cadeia de valor

A legislação japonesa utiliza o princípio da responsabilidade estendida dos fabricantes ao longo de todo o ciclo de vida de EEEs. Os consumidores podem solicitar o recebimento de eletrodomésticos usados, e os varejistas são obrigados a aceitá-los. Os custos de transporte após o recebimento dos REEEs são pagos em separado para esses varejistas, que, então, encaminham os produtos para pontos de coleta designados pelos fabricantes. Estes são requisitados a estabelecer instalações de reciclagem ou contratar empresas comerciais que realizem esse serviço, sendo obrigados a alcançar metas específicas (CHUNG; MURAKAMI-SUZUKI, 2008).

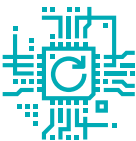
7.3.5 Exemplos de certificações e registros requeridos

A operação da gestão de REEEs no Japão inclui a licença de gerenciamento de REEEs, emitida pelo governo local ou pelo Ministério do Meio Ambiente. Essa licença deve ser renovada a cada 5 ou 7 anos. Para adquiri-la, as instalações devem satisfazer padrões tecnológicos mínimos e demonstrar competência na gestão de resíduos industriais e a viabilidade financeira do empreendimento (JWNET, 2018). A licença não é exigida quando os geradores de resíduos os destinam para outras entidades designadas por portaria do Ministério do Meio Ambiente.

A depender da posição na cadeia de valor, podem ser requeridas, também: licença de tratamento de resíduos industriais, para aquelas instalações que lidam com certos tipos de lixo eletrônico; licenças de controle de poluição do ar (garantem que a instalação atenda a padrões de qualidade do ar e de controle de emissões); licenças de controle de poluição da água (quando há processos como tratamento químico ou lavagem); licenças de segurança contra incêndio e manuseio de materiais perigosos; permissões de controle de ruído; e licenças de construção e zoneamento. Dependendo da escala e da natureza da reciclagem, é demandada, também, a realização de avaliação de impacto ambiental.

7.3.6 Mecanismos de controle e monitoramento

Fabricantes e importadores são obrigados a enviar relatórios sobre a quantidade de lixo eletrônico coletado e reciclado, possibilitando o monitoramento do progresso dos esforços de reciclagem e o estado de atingimento das suas metas. O governo realiza inspeções e auditorias nas instalações para garantir que atendam aos padrões ambientais e de segurança exigidos. Verificações de



conformidade também são realizadas para verificar se os fabricantes e importadores cumprem suas obrigações. Dessa forma, entre as vantagens do sistema de reciclagem no Japão, inclui-se a facilidade de monitorar dados do sistema e avaliar a efetividade das medidas de mitigação do consumo de EEEs no meio ambiente. Importante ressaltar que, apesar da eficiência do sistema, mantêm-se algumas desvantagens, que incluem a existência de despejo e exportação ilegais de REEEs (BO; YAMAMOTO, 2010).

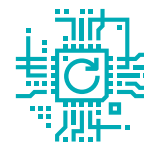
7.3.7 Abordagem para educação do consumidor

A pesquisa de Wang e Hazen (2016) aponta que os japoneses têm uma percepção positiva da reciclagem de REEEs, em particular no que toca aos os benefícios ambientais e pessoais gerados, resultando em uma intenção favorável à reciclagem (DHIR *et al.*, 2021). Contudo, parcela dos consumidores opta por vender o REEE para lojas de segunda mão, visando a benefícios financeiros imediatos. O mercado de segunda mão, por sua vez, abastece as exportações de REEEs japonesas. Dessa forma, Dhir *et al.* (2021) defende a necessidade de revisão da legislação, de maneira a minimizar o descarte de lixo eletrônico nesse tipo de loja.

7.3.8 Abordagem quanto ao design do EEE

Assim como acontece em outros países, o Japão dispõe de legislação voltada ao uso racional de energia em produtos (Lei de Conservação de Energia), estabelecendo padrões mínimos de eficiência energética para EEEs. Similarmente à prática Europeia, o país dispõe, também, de regulamentos para Restrição de Substâncias Perigosas (RoHS). A lei RoHS combina a Lei de Reciclagem (Lei para Promoção da Utilização Eficaz de Recursos no Japão) com o padrão JIS C 0950 (marcação da presença de substâncias químicas específicas para equipamentos eletroeletrônicos) e é conhecida como J-MOSS (ROHS GUIDE, 2023). O país, ainda, é signatário da Convenção de Estocolmo, que tem como objetivo o banimento de substâncias classificadas como Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs); da Convenção de Roterdã, que regula o comércio internacional de produtos químicos perigosos; e da Convenção de Minamata, que estabelece restrições ao uso de mercúrio e incentiva sua substituição por substâncias com menos impacto.

Não há uma legislação de ecodesign no Japão. Destaca-se, no entanto, a Lei sobre a Promoção da Coleta Classificada e Reciclagem de Recipientes e Embalagens, que incentiva a redução de resíduos derivados de embalagens, incluindo as de produtos eletrônicos. No âmbito dos processos de compras governamentais, o país tem a Lei de Compras Verdes, que busca promover a priorização,



pelo Estado, da aquisição de produtos “ecologicamente corretos”. Observa-se a utilização de rotulagem ecológica voluntária (ex.: marca J-Moss).

7.4 Dinamarca

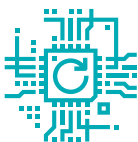
7.4.1 Legislação

O sistema dinamarquês também inclui um quadro legislativo e regulatório compreensivo, que trata desde a devolução de produtos eletroeletrônicos à implementação da responsabilidade estendida do produtor (OSIBANJO; NNOROM, 2007). Desde 2005, assim como em toda a União Europeia, os produtores e vendedores de dispositivos eletroeletrônicos são responsáveis pela recolha e reciclagem de REEEs. Essa responsabilidade envolve deveres de registro, comunicação, informação e rotulagem, tendo como base jurídica a Diretiva REEE da UE 2012/19/UE (EU, 2012), baseada na reformulação da diretiva original de 2004. Surgiu, assim, a Lei Dinamarquesa de Proteção Ambiental, que trata do processo de comercialização de equipamentos eletroeletrônicos e o tratamento de REEEs (BEK nº 130 de 02/06/2014) (ZACHO *et al.*, 2018).

A Diretiva Europeia REEE entrou em vigor em 2003 e foi revista em 2012, gerando efeitos a partir de 2014 (Comissão Europeia, 2012 (EU, 2012)). Seu conteúdo visa prevenir a produção de REEEs e incentivar a reutilização, a reciclagem e outras abordagens associadas a resíduos. Ela estabelece taxas mínimas de recolhimento e valorização da reciclagem e metas de preparação para reutilização. De maneira geral, o país tem como meta aumentar a reciclagem de resíduos urbanos para 55% em 2025, 60% em 2030 e 65% em 2035. A taxa mínima de coleta de REEEs (65% em 2019) utiliza como parâmetro o peso médio dos equipamentos eletroeletrônicos colocados no mercado nos últimos 3 anos. A diretiva também especifica substâncias, componentes e misturas que necessitam ser removidos para tratamento seletivo (ZACHO *et al.*, 2018).

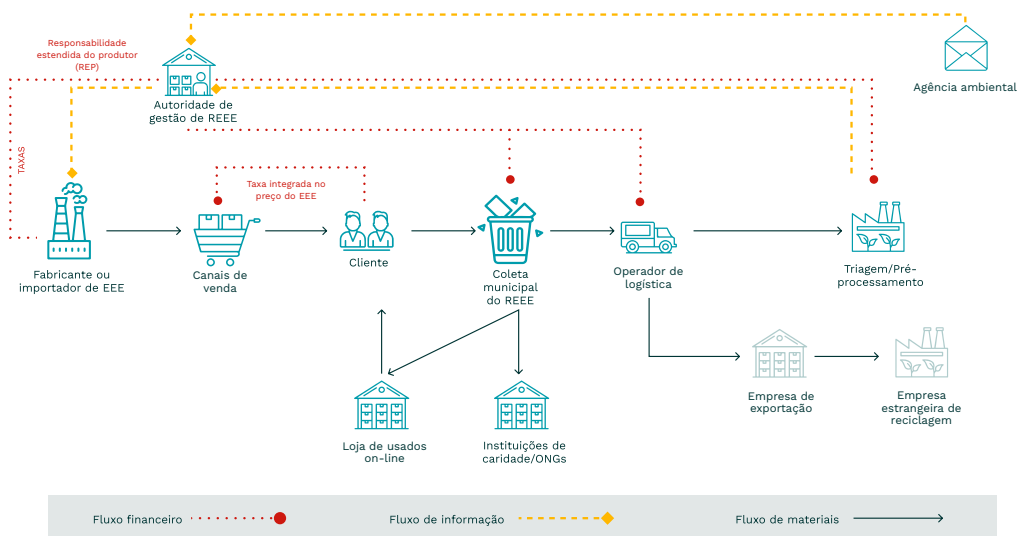
7.4.2 Visão geral do sistema

A implementação da diretiva na Dinamarca resultou em um modelo com configuração centralizada. Antes dela, as autoridades locais eram responsáveis tanto pelo recolhimento quanto pelo tratamento de REEEs provenientes dos consumidores. Depois, passaram a ser responsáveis apenas pela coleta e triagem de REEEs, tanto os de origem doméstica como industrial (RIBER



et al., 2005). O envolvimento das municipalidades tem garantido que os componentes perigosos presentes no REEE sejam gerenciados e descartados adequadamente.

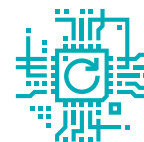
Figura 8 – Sistema dinamarquês de gestão de REEE



Fonte: Elaboração própria.

Os cidadãos descartam os seus REEEs em centros de reciclagem de propriedade municipal. Nesses locais, uma área demarcada conta com gaiolas, de responsabilidade dos produtores, para a coleta dos resíduos. As transportadoras os recolhem e os direcionam para os recicladores, que, normalmente, realizam algum tipo de tratamento antes de encaminhá-los para a reciclagem propriamente dita.

O Programa de Responsabilidade Estendida administra a implementação da Diretiva REEE, reportando os resultados para a Agência de Proteção Ambiental (EPA) dinamarquesa. Importante notar que poucos fabricantes/distribuidores de EEEs assumem responsabilidade individual pelo REEE. De fato, a maioria é membro de cooperativas que gerem a fase de fim de vida dos EEEs (GRUNOW; GOBBI, 2009). Note-se que a Dinamarca possui apenas algumas instalações de pré-processamento e não possui instalações de processamento final (ZACHO *et al.*, 2018).



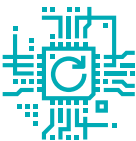
7.4.3 Financiamento

No modelo dinamarquês, o fabricante ou importador adiciona a taxa de REEE a seus preços nos distribuidores. As atividades pelo DPA (Danish Producer Responsibility) (entidade gestora) são financiadas por taxas repassadas diretamente pelos fabricantes e importadores. Esse valor, por sua vez, é utilizado para arcar com as despesas do gerenciamento dos resíduos. Tanto os consumidores como as empresas podem devolver seus REEEs gratuitamente nos pontos de coleta, sendo os varejistas obrigados a recebê-los. Os consumidores já pagaram pela gestão do REEE por meio da taxa integrada no preço do EEE. Com essa estratégia, a Dinamarca vem apresentando um bom desempenho, comparativamente à média global, com taxas de reciclagem entre 38% e 50% (ANDERSEN; JAEGER; MISHRA, 2020).

7.4.4 Abordagens de responsabilização e participação dos atores na cadeia de valor

Na Dinamarca, a responsabilidade pela gestão dos resíduos eletrônicos recai sobre os produtores, importadores e distribuidores de EEEs. Estes são obrigados a financiar e organizar a recolha e reciclagem, podendo essa atuação ser feita de forma coletiva ou individual. O consumidor encaminha o resíduo para os centros de coleta da prefeitura, onde é feita a triagem por tipo de REEE. A partir desse ponto, o fabricante ou a entidade gestora remunerada recolhe os resíduos e os encaminha para reciclagem, sendo que, no território dinamarquês, esse etapa se restringe, em grande parte, à desmontagem, trituração e triagem. A reciclagem em si ocorre em outros países, demandando a exportação dos resíduos (ZACHO *et al.*, 2018).

Conforme Zacho *et al.* (2018), apenas 0,2% dos REEEs recolhidos na Dinamarca são efetivamente reutilizados. Alguns centros municipais de reciclagem administram lojas de EEEEs usados, que vendem ou doam produtos que ainda podem ser reutilizados. Esses reaproveitamentos muitas vezes empregam pessoas com necessidades especiais, contribuindo para ampliar as oportunidades de emprego e renda para essa população. Existem, ainda, empresas especializadas no acondicionamento para revenda, muito embora o mercado para esse perfil de produto ainda seja bastante reduzido (ZACHO *et al.*, 2018).



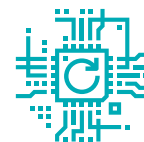
7.4.5 Exemplos de certificações e registros requeridos

O emprego da responsabilidade estendida do produtor (EPR) tem resultado na responsabilização das empresas fabricantes/distribuidoras de EEEs, obrigando o financiamento da coleta, reciclagem e destinação dos REEEs. As licenças exigidas no país são vinculadas aos regulamentos da União Europeia (UE) e à legislação nacional. A Diretiva-Quadro de Resíduos da UE, implementada em 2008, levou a Dinamarca a priorizar a reciclagem sobre a incineração de resíduos domésticos e industriais (HOAG *et al.*, 2018). Ela exige que todos os estados membros da UE implementem esquemas de segregação na fonte para a recolha de materiais recicláveis, a fim de aumentar as taxas de reciclagem de resíduos (GÖTZE *et al.*, 2016).

Além dos regulamentos da UE, a Dinamarca segue práticas próprias na fase de prevenção da gestão de resíduos de embalagens, tais como o uso de tecnologias limpas e contabilidade verde. Entre as demandas para a operação de REEEs, estão: autorização ambiental (condições e requisitos específicos) para o manuseio e processamento de REEEs; licença de manuseio de resíduos; adesão a esquema de responsabilidade estendida do fabricante; e licença de transporte para materiais perigosos. Há, também, requisitos associados a regulamentos sobre resíduos perigosos; regulamentos de segurança elétrica; e, finalmente, regulamentos de segurança de dados” (VUK *et al.*, 2023).

7.4.6 Mecanismos de controle e monitoramento

Os regulamentos de REEE na Dinamarca colocam mais responsabilidades sobre os fabricantes, incluindo o financiamento do sistema de gerenciamento de resíduos. Os consumidores arcam com uma taxa, no ato de compra de equipamento eletroeletrônico, e assumem a responsabilidade de entregá-lo aos centros de reciclagem da prefeitura ou ao comércio varejista no fim de seu ciclo de vida. O principal órgão regulador é a Agência Dinamarquesa de Proteção Ambiental, que supervisiona e faz cumprir as regulamentações ambientais do país, incluindo o monitoramento de instalações de tratamento autorizadas e aprovadas e a aplicação de multas quando detectado o não cumprimento das regras em vigor. O fabricante/distribuidor é obrigado a manter registros acerca da quantidade, em toneladas, de todos os EEEs efetivamente colocados no mercado durante o período de conformidade em que se enquadra, bem como das quantidades recolhidas e recicladas (ZACHO *et al.*, 2018). Os dados são comunicados à Agência Dinamarquesa de Proteção Ambiental que, por sua vez, os utiliza no aperfeiçoamento contínuo do sistema e nas práticas de governança e transparência.



7.4.7 Abordagem para educação do consumidor

A Dinamarca apresenta uma política de estado voltada a incentivar a reciclagem, utilizando-se de restrições regulamentares, impostos e ações de caráter educativo. Nesta última dimensão, muitos esforços são realizados em cooperação com os outros países nórdicos. Materiais didáticos, incluindo planos de aula, são disponibilizados de forma aberta e gratuita para professores, contribuindo para facilitar sua introdução na sala de aula. Complementarmente, campanhas em redes sociais promovem a ampliação da conscientização sobre o tema, envolvendo todos os atores relevantes na cadeia de valor. Como resultado, conforme mostra o estudo de Ylä-Mella *et al.* (2015), os consumidores dinamarqueses têm apresentado nível elevado de consciência quanto à importância da reciclagem e reutilização de REEEs.

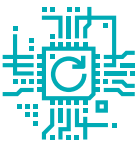
7.4.8 Abordagem quanto ao design do EEE

A legislação nacional na Dinamarca permanece aderente ao conteúdo da Diretiva de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (Diretiva Europeia 2012/19/UE) (EU, 2012), que abrange todos os aspectos da reciclagem de todos os tipos de aparelhos eletroeletrônicos. Sob a perspectiva do design destacam-se o emprego de regulamentos e políticas de incentivo à implantação da economia circular, como o aumento da vida útil do produto, da capacidade de reparação e renovação, da disponibilidade de peças sobressalentes e das possibilidades de reciclagem e reutilização de componentes e matérias-primas (ANDERSEN; JAEGER; MISHRA, 2020). Um dos diferenciais da estratégia dinamarquesa em relação à de outros países é o estímulo à fabricação de itens mais duráveis, sendo demandada garantia de durabilidade de 2 anos além dos 2 anos obrigatórios da garantia de qualidade. Ademais, o país tem adotado níveis mínimos de EEEs reciclados, com uma taxa que chega a 10%. Há, ainda, restrições severas quanto à presença de materiais perigosos. Painéis fotovoltaicos, por exemplo, não devem conter chumbo (DPA, 2023).

7.5 Considerações sobre a situação brasileira

7.5.1 Legislação

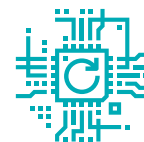
O Brasil dispõe de arcabouço em processo de evolução e consolidação. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Lei nº 12.305) (BRASIL, 2010) estabeleceu, em 2010, diretrizes para a gestão de resíduos, incluindo REEEs. Dessa forma, pode-se afirmar que o país apresenta situação mais



bem estruturada, quando comparado aos Estados Unidos, onde não há regulamentação federal semelhante, dificultando ações integradas de caráter nacional. Por outro lado, o Brasil começou tardiamente a implementação de iniciativas legislativas específicas sobre o tema. O Japão, por exemplo, tem sua primeira legislação específica (Lei de Reciclagem de Eletroeletrônicos Domésticos) promulgada em 1998; já na Inglaterra, isso ocorreu em 2003, com a transposição da Diretiva de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (Diretiva WEEE). Em contrapartida, foi somente em 2020 que o Brasil promulgou o Decreto nº 10.240 (BRASIL, 2020), que trata da implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico.

A necessidade de melhorar a temporaneidade do alinhamento do Brasil às iniciativas globais de legislações/regulamentações internacionais acerca do REEE é reforçada quando se observam as iniciativas voltadas à restrição da utilização de materiais tóxicos ou perigosos em produtos eletroeletrônicos. O tema tem sido contemplado na Europa já a partir de 2003, com a Diretiva de Restrição de Substâncias Perigosas (RoHS) (ex.: chumbo, cádmio, mercúrio, cromo hexavalente, bifenil polibromado e éter difenílico polibromado). No Brasil, somente em 2019 foi publicada a ABNT NBR IEC 63000 (ABNT, 2019) (Documentação técnica para a avaliação de produtos elétricos e eletrônicos com relação à restrição de substâncias perigosas), baseada na Norma Europeia EN 50581:2012, a qual, por sua vez, serve de base para a Diretiva 2011/65/EU.

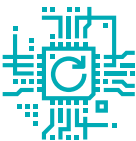
Do ponto de vista dos esforços para induzir a melhoria dos projetos de EEEs, um importante marco ocorreu em 2009, com a implantação, na Europa, da Diretiva de Eco-Design (2009/125/EC) (EU, 2009a), que criou uma estrutura para definir requisitos para o design ecologicamente correto de produtos, enfatizando aqueles que usam energia (EuPs) e aqueles relacionados à energia (ErPs). Em direta conexão ao tema está a BS8887-211 (Inglaterra), publicada em 2012, e que trata especificamente do “Design para fabricação, montagem, desmontagem e processamento de fim de vida”. No Brasil, iniciativa próxima a essa temática ocorre por meio da NBR ISO 14006:2014 (ABNT, 2015), que trata de diretrizes para estabelecer, documentar, implementar, manter e melhorar continuamente a gestão de ecodesign como parte de um sistema de gestão ambiental (SGA). Portanto, reconhece-se a oportunidade de realizar avanços legislativos/normativos em se tratando de parâmetros e diretrizes que estimulem o projeto orientado à sustentabilidade no ciclo de vida de produtos. Tal iniciativa é condição para a utilização de práticas que viabilizem e/ou estimulem o reúso/reparo como, por exemplo, a implementação do “índice de reparabilidade” em processos licitatórios.



Observa-se a carência, no Brasil, de legislação/norma dedicada especificamente ao estabelecimento de requisitos/parâmetros voltados à reutilização de REEEs. Desde 2004, quando ainda pertencia à Comunidade Econômica Europeia, a Inglaterra utilizava a EN62309, que introduz requisitos e pré-requisitos como forma de verificar a confiabilidade e funcionalidade das peças reutilizadas e permitir seu emprego em novos produtos. Em 2020, a Europa publicou a norma EN 50614:2020, que trata da preparação para o reúso de equipamentos eletroeletrônicos. Outra norma importante é a PAS 141, publicada em 2011, na Inglaterra. Ela versa sobre o gerenciamento do processo para a reutilização de equipamentos eletroeletrônicos usados e descartados. Note-se, também, que o estabelecimento de medidas para instrumentalizar o reúso/reciclagem de resíduos, inclusive os de eletrônicos, é endereçado, no caso japonês, já em 2001, com a Lei de Promoção do Uso Efetivo de Recursos (LPUER).

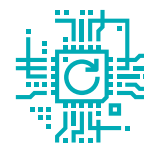
Em 2020, regulamentou-se, no país, o sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico (note-se que a temática foi contemplada, já em 2000, pelo Japão, com a Lei de Base para Promover o Estabelecimento de uma Sociedade Circular). Em 2022, com o Decreto nº 10.936 (BRASIL, 2022b), o governo brasileiro lança o Programa de Logística Reversa, exigindo que fabricantes, importadores, distribuidores e varejistas implementem sistemas de devolução de produtos eletrônicos. Esse sistema, porém, se restringe a bens de uso doméstico e seus componentes, excluindo compras efetuadas pelo Estado. Ademais, considerando que a servitização das aquisições do Estado é uma estratégia que contribui para o efetivo engajamento de fabricantes na gestão do ciclo de vida de EEEs, deveria ser considerada no sistema não só a aquisição de produtos, mas, também, a aquisição de EEEs como serviço.

O Estado é um dos maiores clientes de itens do setor. Em 2021, o mercado corporativo, que inclui as compras governamentais, respondeu por 49% dos computadores comercializados no país (INFOMONEY, 2023). Além disso, algumas das principais oportunidades que se vislumbram para inovações pautadas pelo uso de 5G estão em áreas onde o governo é o comprador principal. Computadores e outros EEEs vendidos ao Estado brasileiro devem atender ao disposto na Lei nº 14.479 (BRASIL, 2022a), que estabelece que “Os fabricantes, os importadores, os distribuidores, os comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos são responsáveis pelo ciclo de vida dos produtos.” Não existem, no entanto, regulamentações ou normas estabelecendo de forma clara as responsabilidades (logísticas, financeiras, técnicas) dos fabricantes quando do final do ciclo de vida do REEE oriundo do Estado.



Na Política Nacional de Desfazimento e Recondicionamento de Equipamentos Eletroeletrônicos, observam-se similaridades em relação à Ordem Executiva 12.999, dos Estados Unidos, assinada em 1996, que estendeu o que estava disposto na Ordem Executiva 12.821, de 1992. Ela permitia que as agências federais dos EUA transferissem o excesso de computadores e periféricos relacionados para organizações educacionais e sem fins lucrativos. Similarmente ao Programa Computadores para Inclusão (BRASIL, 2012), implementado no Brasil, nos Estados Unidos tem-se o Programa Computadores para Aprendizagem (CFL – Computers for Learning), que evoluiu como guia para a implementação da Ordem Executiva 12.999. Em ambos os casos, há a ênfase na inclusão digital por meio do desfazimento de REEEs em associação com iniciativas de educação. No caso americano, as contribuições do desfazimento são estritamente educacionais.

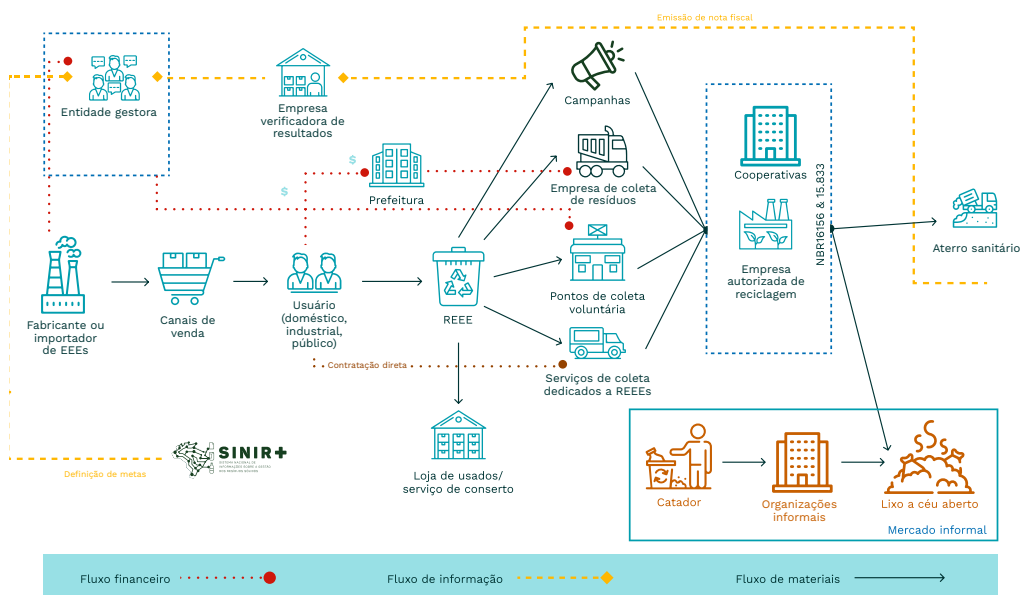
Avanço importante, em comparação com outros países, foi o lançamento dos Decretos nº 11.413 e nº 11.414, (BRASIL, 2023a; 2023b), que criaram instrumentos de financiamento relativamente inovadores (Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa; Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral; Crédito de Massa Futura). O Decreto nº 11.414/2023 (BRASIL, 2023b) trata especificamente de instrumento em prol dos catadores de recicláveis e reutilizáveis. Formas inovadoras como essas também foram observadas nos outros países analisados, a exemplo da utilização de incentivos financeiros, descontos ou até mesmo vouchers para pessoas que participam ativamente de programas de reciclagem ou atingem metas específicas dentro deles. Na Alemanha, tem-se implementado sistema de depósito-reembolso para certos materiais recicláveis, como embalagens de bebidas (Der Grüne Punkt - www.gruener-punkt.de/en/). A prática pode ser relevante para garantir a destinação correta de consumíveis associados a REEEs (ex.: baterias), pagando os consumidores um pequeno valor na compra de um produto, o qual é reembolso quando da devolução do REEE gerado em local apropriado. A emissão de “títulos verdes” para arrecadar fundos para projetos de reciclagem é também bastante disseminada nos países analisados. O Climate Bonds Standard, por exemplo, é um esquema de rotulagem para títulos e empréstimos. Critérios científicos garantem que essa estratégia seja consistente com o limite de aquecimento de 1,5 °C do Acordo de Paris. Ela é usada globalmente por emissores de títulos, governos, investidores e mercados financeiros para priorizar investimentos que genuinamente contribuam para o enfrentamento das mudanças climáticas. (vide <https://www.climatebonds.net/standard/waste>). Prática similar é observada na Inglaterra: quando uma organização utiliza um esquema (acordo setorial) de logística reversa, é possível o pagamento de uma taxa de conformidade (GOV.UK, 2023).



7.5.2 Visão geral do sistema

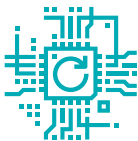
A maioria dos recicladores brasileiros realiza apenas as primeiras etapas da reciclagem de REEEs: triagem e desmontagem. Componentes complexos são tipicamente classificados, desmontados, moídos e enviados para o exterior para empresas estrangeiras realizarem o restante do processo, incluindo placas de circuito impresso (PCIs), discos rígidos (HDs), memórias de computador e processadores de computador e refrigeradores. Em contraste, os Estados Unidos e o Japão detêm o necessário para realização de todo o processo. No caso inglês, estudo do Comitê de Meio Ambiente do Parlamento (UK, 2019) concluiu que a falta de infraestrutura apropriada no Reino Unido tem perpetuado a economia linear, porque o sistema atual é fortemente focado na recuperação de energia, e não na recuperação de materiais.

Figura 9 – Sistema brasileiro de gestão de REEE



Fonte: Elaboração própria.

Observa-se, nos países analisados, um repertório bastante variado na dinâmica e nas formas de organização da cadeia de valor associada ao REEE, conforme ilustra o quadro a seguir. No caso americano, tem-se a presença tanto do Estado como de organizações particulares para a realização da gestão do sistema de reciclagem de REEEs, sendo que, em alguns estados, os fabricantes



podem optar por não participar do programa centralizado, desde que gozem de um programa de reciclagem individual que atenda aos padrões exigidos. No Japão, há a possibilidade de os fabricantes realizarem a gestão do final do ciclo de vida em suas próprias instalações. A organização desses fabricantes em grupos, de maneira a distinguir aqueles que adotam essa estratégia, facilita a gestão do sistema japonês. Assim como no Brasil, no Japão é adotado o conceito de verificador de resultados, que deve ser cadastrado, homologado e fiscalizado pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.

Quadro 6: Papel do governo e de organizações terceirizadas na gestão de REEE

ATIVIDADE	USA*	JAPÃO**	UK**	ALEMANHA	BRASIL
Aprovação dos coletores e processadores	Governo	Entidade gestora	Governo	Governo	Governo
Coleta dos pagamentos	Governo	Entidade gestora	Entidade gestora	Entidade gestora	Organização terceirizada
Reembolso dos coletores e processadores	Governo	Entidade gestora	Entidade gestora	Entidade gestora	Entidade gestora
Fiscalização	Governo	Governo	Governo	Governo	Governo
Produção de EEEs <i>per capita</i> (kg)***	22,1	17,3	23,5	21,7	7,0
Produção total de REEEs (mT)***	7	2,2	1,5	7,7	1,4

*Baseado no perfil de Nova York

**StEP (2015)

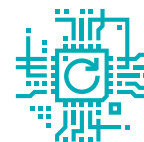
***Baldé *et al.* (2017); StEP (2018)

Fonte: Elaboração própria.

Note-se que, no contexto norte-americano, há tratamento distinto em alguns estados quanto ao perfil e tamanho do gerador de REEE, como o número de funcionários ou número de unidades. Há, ainda, papel ativo das organizações sem fins lucrativos no encaminhamento do REEE para reutilização, viabilizando um repertório amplo de alternativas economicamente mais viáveis para acesso a EEEs pela população de menor poder aquisitivo.

7.5.3 Financiamento

O Decreto nº 10.936/2022 (BRASIL, 2022b), que confere nova regulamentação à Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010) e cria o Programa Nacional de Logística Reversa, prevê a sustentabilidade econômico-financeira dos serviços de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos via instrumento de remuneração, com cobrança dos usuários, garantindo a recuperação dos custos decorrentes da

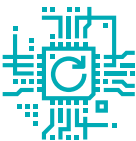


prestação de serviços essenciais e especializados. Com a absorção desses fundos, cabe às empresas fabricantes arcar com os custos de gestão do REEE, seja via entidade gestora ou programas individuais. No caso de adoção do modelo com entidade gestora, o sistema de logística reversa faz uso dos instrumentos instituídos pelos Decretos nº 11.413 e 11.414 (BRASIL, 2023a; 2023b): Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa, Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral e Crédito de Massa Futura.

O Decreto nº 10.936/2022 (BRASIL, 2022b), prevê a “[...] implementação e a operacionalização do sistema de logística reversa [...] por meio de instrumento legal firmado entre a cooperativa ou a associação e as empresas ou entidades gestoras para prestação dos serviços [...]”. No caso de CRCs, vinculados ao Programa de Computadores para Inclusão (BRASIL, 2012), recursos podem ser captados de doações e repasses podem ser buscados nos governos municipais/estaduais/federal (ex.: Fundo Nacional do Meio Ambiente e Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). Contudo, presentemente, o REEE provindo do Estado carece de mecanismo de repasse de recursos das empresas fabricantes para as entidade gestoras. Para que isso mude, o planejamento orientado para as empresas do setor necessitam integrar metas de reúso de REEEs comercializados para o Estado. O conteúdo dessas metas pode ser integrado no escopo das compras governamentais, como ocorre, no Japão, com a Lei de Compras Verdes, que busca promover a priorização, pelo Estado, da aquisição de produtos ecologicamente corretos (ex.: marca J-Moss).

Nos países analisados identificou-se uma ampla variedade de mecanismos de cobranças das taxas para reciclagem, cada uma apresentando vantagens já identificadas anteriormente por StEP (2015):

- a) Simplicidade do pagamento antecipado (integrado no preço de venda do EEE);
- b) Simplicidade e transparência do pagamento antecipado visível (custo da reciclagem visível na divulgação do preço do EEE);
- c) Melhor conexão com os custos econômicos e ambientais efetivamente realizados, proporcionado pelo pagamento relativo à fatia de mercado de produtos comercializados;
- d) Maior acurácia de custos atribuídos a cada fabricante, proporcionada pelo pagamento proporcional à taxa de retorno de produtos do respectivo fabricante no sistema de gestão de resíduos;
- e) Simplicidade e transparência do pagamento de taxa ao final do ciclo de vida.

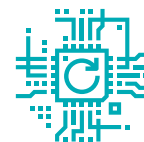


Na maior parte dos estados americanos, assim como na Inglaterra, os fabricantes são responsáveis por financiar a coleta e reciclagem de REEEs. Já a "taxa de recuperação avançada" (ARF), presente na Califórnia e Utah, mostra outra alternativa, o adiantamento dos fundos já no ato de comercialização dos EEEs (SCHUMACHER; AGBEMABIESE, 2019). No Japão, os custos do processo de reciclagem são financiados diretamente pelos consumidores, que pagam uma taxa no ato de encaminhamento do REEE para reciclagem. Esse sistema de tíquetes, contudo, tem levado parcela dos consumidores a encaminhar seus REEEs para o mercado de usados, sem que esses produtos sejam efetivamente reutilizados. No modelo britânico, cabe ao fabricante ou representante autorizado financiar os custos de coleta, tratamento, recuperação e descarte ambientalmente adequado. Quando isso não acontece, é possível o pagamento de uma "taxa de conformidade". Em se tratando do processo de realização destes pagamentos, mostra-se, como prática relevante, a existência de uma central de informações, no Japão, que coleta e dissemina informações financeiras e de movimentação física acerca de todo o processo de retorno dos produtos dos consumidores aos fabricantes.

7.5.4 Exemplos de certificações e registros requeridos

No Brasil, um centro ou unidade voltado à reciclagem de REEEs deve contar com pessoal devidamente qualificado, com infraestrutura e protocolos que garantam o manuseio seguro dos resíduos, tanto para o ser humano como para o meio ambiente. Essa adequação necessita ser comprovada por meio de registros como o AVCB (Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros), que atesta as regras de segurança e prevenção de incêndios; a ISO 14001, que trata do desenvolvimento do sistema de gestão ambiental; o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO), que trata da identificação e antecipação de medidas para tratar de qualquer aspecto que possa afetar a saúde dos colaboradores do empreendimento; o Programa de Prevenção de Risco Ambiental (PPRA), que busca estabelecer um plano de ação para a preservação da integridade física e mental dos colaboradores; e a Certificação R2 (não obrigatória), que inclui um conjunto de processos, documentos e medidas de segurança para recicladoras de equipamentos eletrônicos (GREENELETRON, 2023). Note-se que, no caso americano, a certificação (R2 ou E-Steward) é, em muitos estados, exigida como condição para a operação no sistema de REEEs, o que não acontece no Brasil. A existência de certificações como a E-Steward, proibindo o descarte de resíduos tóxicos em aterros e incineradores de resíduos sólidos, ampliaria a conformidade brasileira com tratados internacionais que versam sobre exportação/importação de REEEs.

Além disso, para a realização das operações de reciclagem, é necessário o Cadastro Técnico Federal (CTF), registro demandado pelo Ibama tanto para pessoas físicas quanto jurídicas que realizam

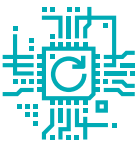


APPs (Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais); o Certificado de Regularidade (CR), documento por meio do qual o Ibama atesta a conformidade da empresa com as obrigações do cadastro; o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), documento que indica a forma correta de manejo, transporte, reciclagem e disposição final dos resíduos; a Licença de Operação (LO); documento/licença de transporte de resíduos; outorga (caso aplicável) para o uso de água proveniente de cursos d'água, rios ou lagos; Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), que ajuda a garantir que o empreendimento está sendo acompanhado por profissional capacitado; licença de operação do órgão ambiental; licença de exportação (caso necessário); apólice de seguro da empresa; e Plano de Atendimento a Emergências (GREENELETRON, 2023). As empresas envolvidas nos processos de gerenciamento dos resíduos (exportação, armazenamento e transporte) devem, também, ter certificado de regularidade válido e em situação regular no Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF/APP). Licenças similares são igualmente exigidas no caso japonês, sendo requerida sua renovação a cada 5 ou 7 anos. É obrigatório apresentar, ainda, demonstração da viabilidade financeira do empreendimento, licenças de controle de poluição do ar e da água, licença de ruído e, a depender da escala e da natureza da reciclagem, avaliação do impacto ambiental. No caso da Inglaterra, a Instalação de Tratamento Autorizada (ATF – Approved Authorised Treatment Facility) pode, eventualmente, requerer consulta à comunidade local, partes interessadas relevantes e grupos ambientais como parte do processo de inscrição. Atividades restritas a reparação ou renovação (REEE) não requerem licença de operação da agência ambiental, sendo permitido que todo o item ou qualquer de suas partes seja reutilizado ou recuperado.

O sistema britânico se distingue pelo fato de o REEE poder ser encaminhado somente para Instalação de Tratamento Autorizada (ATF – Approved Authorised Treatment Facility). As notas de evidência são encaminhadas por essas unidades para esquemas de conformidade em nome dos produtores, que necessitam desses documentos para provar que uma certa quantidade de REEE foi tratada, recuperada e reciclada. No Japão, o REEE pode ser encaminhado para reciclagem de duas maneiras: por meio dos revendedores de EEEs ou de locais designados pelo governo.

7.5.5 Abordagem para educação do consumidor

A educação ambiental consta do Decreto nº 10936, (BRASIL, 2022b), e tem como objetivo o “aprimoramento do conhecimento, dos valores, dos comportamentos e do estilo de vida relacionados com a gestão e com o gerenciamento ambientalmente adequado de resíduos sólidos”. Apesar disso, permanece o desconhecimento das pessoas quanto à natureza dos REEEs e seus impactos, assim como a ausência de

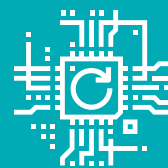


cultura de separação. Educação é tema que consta da legislação associada ao REEE de muitos estados americanos e inclui fabricantes e varejistas como corresponsáveis pela atividade. No sistema inglês, avanço importante nesse aspecto consiste na maior clareza na demanda de provimento de informações ao consumidor acerca dos procedimentos para encaminhamento do REEE nas proximidades de onde vive, assim como informações sobre os impactos ambientais associados ao resíduo. Produtos eletroeletrônicos necessitam apresentar o símbolo de “lata de lixo cruzada”, que mostra aos consumidores que não podem ser encaminhados com o lixo comum. No ambiente inglês, o ativismo está mais presente, com forte participação da sociedade em eventos de conscientização e voluntariado acerca do tema, práticas que poderiam ser integradas e estruturadas nas políticas brasileiras.

7.5.6 Abordagem quanto ao design do EEE

Assim como os americanos, ingleses e japoneses, o Brasil também tem programa razoavelmente consolidado que enfatiza a eficiência energética de EEEs. Aqui, tem-se o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Inmetro e, nos EUA, tem-se o programa Energy Start, coordenado pela Agência de Proteção Ambiental do país. No Japão, esse direcionamento ocorre por meio da Lei de Conservação de Energia, que estabelece padrões mínimos de eficiência energética para EEEs. Similarmente, a legislação e normas brasileiras para a restrição de substâncias perigosas encontram conteúdos análogos/semelhantes ao dos países analisados, como a Lei RoHS, do Japão, que combina a Lei de Reciclagem (Lei para Promoção da Utilização Eficaz de Recursos) com o padrão JIS C 0950 (marcação da presença de substâncias químicas específicas para equipamentos eletroeletrônicos).

Contudo, observa-se, no Brasil uma carência de legislações ou normas apontando diretrizes e critérios para o projeto de produtos e componentes eletroeletrônicos que contribuam para facilitar a sua montagem/desmontagem e, por consequência, a sua manutenção, atualização ou destinação para novos usos. No caso da Inglaterra, esses direcionamentos ocorrem principalmente por meio da transposição da Diretiva de Ecodesign 2009/125/CE (1) (EU, 2009a) e da norma BS8887-211, que trata do “Design para fabricação, montagem, desmontagem e processamento de fim de vida”. Conforme mostra o exemplo dinamarquês, a indução dessas práticas pode ocorrer por meio da exigência de durabilidade mínima, o que pode contribuir de forma positiva para a redução das práticas de obsolescência tecnológica e estética programada.



CONCLUSÃO

O estudo realizado apresenta uma análise abrangente sobre os desafios e oportunidades relacionados aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEEs), com foco em políticas, tecnologias e abordagens adotadas em comparação com outros países relevantes.

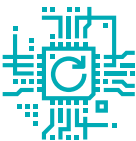
Além disso, a análise comparativa com experiências internacionais oferece insights valiosos para aprimorar nossas práticas e regulamentações, bem como para promover mais conscientização e engajamento por parte da sociedade e dos setores público e privado.

Considerando a evolução histórica e a complexidade das políticas associadas aos REEEs, é evidente a importância de se destacarem tanto os avanços realizados quanto os desafios persistentes.

A progressiva conscientização sobre os riscos ambientais e de saúde relacionados aos REEEs resultou em uma série de iniciativas globais e regulamentações internacionais, destacando-se a Convenção da Basileia, a Convenção de Estocolmo e a Convenção de Minamata. Esses marcos influenciaram as políticas nacionais em todo o mundo, incluindo o Brasil, que implementou a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em 2010, entre outras medidas.

Foi possível verificar que as políticas de gestão de REEEs abrangem uma série de estratégias visando à prevenção, minimização e reutilização desses materiais. A prevenção dos resíduos, priorizando a redução da demanda por equipamentos eletroeletrônicos (EEEs) e a eliminação de substâncias tóxicas em produtos, emerge como um componente essencial. Paralelamente, a minimização da ocorrência de REEEs busca reduzir a quantidade de matéria-prima utilizada, promover a digitalização, miniaturização e otimização do uso dos dispositivos, entre outras medidas. Além disso, políticas voltadas à reutilização visam prolongar a vida útil dos EEEs por meio da aplicação de estratégias como a recuperação de equipamentos, a inclusão digital e a utilização de modelos de empresa social. No entanto, para alcançar resultados significativos, é fundamental o estabelecimento de metas específicas para a implementação efetiva dessas políticas, buscando não apenas benefícios ambientais, mas também sociais e econômicos.

A análise dos sistemas de gestão de REEEs nos Estados Unidos, Inglaterra, Japão e Dinamarca permitiu observar as diferenças entre as abordagens para lidar com esse problema crescente.



Nos Estados Unidos, a ausência de uma regulamentação federal específica resulta em uma abordagem fragmentada, delegando-se a responsabilidade aos estados e municípios. No entanto, alguns estados já implementaram leis próprias para promover a reciclagem e proibir o descarte em aterros.

Na Inglaterra, as regulamentações são mais abrangentes, com leis específicas para diferentes categorias de REEEs e uma ênfase na responsabilidade do produtor. Isso inclui obrigações claras para fabricantes, importadores, varejistas e consumidores.

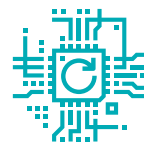
No Japão, as leis de reciclagem de REEEs são complementadas por medidas para promover o uso eficiente de recursos e incentivar a responsabilidade estendida do produtor. Os consumidores contribuem diretamente para um fundo destinado ao tratamento dos resíduos eletroeletrônicos.

Na Dinamarca, a implementação eficaz da Diretiva Europeia para REEE resultou em um modelo centralizado, em que as autoridades locais se tornariam responsáveis pela coleta e triagem dos resíduos eletrônicos.

Frente às práticas internacionais, abrem-se novas perspectivas para o aprendizado no Brasil, com modelos regulatórios abrangentes, enfatizando a responsabilidade do produtor, a participação ativa dos consumidores e o envolvimento das autoridades locais. Essas lições podem orientar o desenvolvimento de políticas mais eficazes e sustentáveis para lidar com os desafios relacionados aos resíduos eletroeletrônicos.

A análise detalhada das legislações e os sistemas de gestão de REEEs em países de referência proporcionou insights valiosos para o contexto brasileiro. Enquanto o Brasil tem avançado na estruturação de sua legislação, destacando-se a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), promulgada em 2010, ainda enfrenta desafios em relação à temporalidade e abrangência das iniciativas. Comparativamente, países como Estados Unidos, Inglaterra, Japão e Dinamarca possuem legislações mais antigas e abrangentes, com diretrizes claras para a gestão de REEEs.

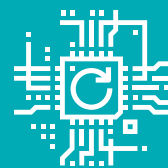
O alinhamento do Brasil às legislações internacionais é reforçado, especialmente considerando-se a importância de restrições ao uso de substâncias perigosas, como estabelecido pela Diretiva de Restrição de Substâncias Perigosas (RoHS) na Europa. O Brasil também enfrenta desafios na promoção do design sustentável de produtos e na implementação de medidas específicas para reutilização de REEEs, áreas a respeito das quais outros países têm legislação e normas mais avançadas.



Apesar dos avanços legislativos e da implementação de sistemas de logística reversa, alguns desafios significativos persistem. A deficiente aplicação das regulamentações, a incerteza econômica na logística reversa e a necessidade de uma abordagem holística que integre educação, governança, inclusão social e tecnologias emergentes são apenas alguns dos obstáculos a serem superados.

Com base nas abordagens discutidas, é possível concluir que a promoção do reuso e reparo de REEEs requer uma abordagem multifacetada, que envolve não apenas a implementação de legislação e regulamentação específicas, mas também o aumento da responsabilidade estendida do produtor, incentivos financeiros e fiscais, bem como a disponibilização e intercambialidade de dados.

Espera-se que os resultados e recomendações apresentados neste estudo incentivem a continuidade do desenvolvimento de políticas mais eficazes e sustentáveis no âmbito dos REEEs no Brasil, em benefício do meio ambiente, da saúde pública e do desenvolvimento socioeconômico do país.



REFERÊNCIAS

ABDELBASIR, S.M.; EL-SHELTAWY, C.T.; ABDO, D.M. Green processes for electronic waste recycling: a review. **Journal of Sustainable Metallurgy**, v. 4, Is 2, p. 295–311. 2018. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s40831-018-0175-3>

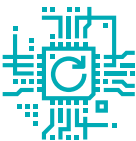
ABRELPE. Overview of solid waste in Brazil 2015 (Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015). 2016. <https://portalods.com.br/wp-content/uploads/2018/02/panoramaz2015.pdf>

ADAM, B.; GÖEN, T.; SCHEEPERS, P.T.J.; ADLIENE, D.; BATINIC, B.; BUDNIK, L.T.; DUCA, R.C.; GHOSCH, M.; GIURGIU, D.I.; GODDERIS, L. From Inequitable to sustainable e-waste processing for reduction of impact on human health and the environment. **Environmental Research**, v. 194, p. 110728, 2021. Disponível em: <https://circulairkennis.nl/wp-content/uploads/2023/04/PP007-From-inequitable-to-sustainable-e-waste-processing.pdf>

AKRAM R.; NATASHA, F.
S.; HASHMI, M.Z.; WAHID, A.; ADNAN, M.; MUBEEN, M.; KHAN, N.; REHMANI, M.I.A.; AWAIS, M.; ABBAS, M.; SHAHZAD, K.; AHMAD, S.; HAMMAD, H.M.; NASIM, W. Trends of Electronic Waste Pollution and its Impact on the Global Environment and Ecosystem. **Environmental Science Pollution Research**, v. 26, n. 17, p. 16923-16938. 2019 Jun. DOI: 10.1007/s11356-019-04998-2.

ALAM, Tanvir; GOLMOHAMMADZADEH, Rabeeh; FARAJI, Fariborz;
SHAHABUDDIN, M. **E-Waste Recycling Technologies: an Overview, Challenges and Future Perspectives**. 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Tanvir-Alam-3/publication/359166904_E-Waste_Recycling_Technologies_An_Overview_Challenges_and_Future_Perspectives/links/628456cb2ecfa61d330a95b0/E-Waste-Recycling-Technologies-An-Overview-Challenges-and-Future-Perspectives.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnNoUGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uIn19.

ALBLOOSHI, B.G.K.M.; AHMAD, S.Z.; HUSSAIN, M.; SING, S.K. Sustainable Management of Electronic Waste: Empirical Evidence from a Stakeholders' Perspective. **Business Strategy and the Environment**, v. 31, n. 4, p. 1856–1874. 2022. <https://doi.org/10.1002/bse.2987>



ALI, S.; SHIRAZI, F. The Paradigm of circular economy and an effective electronic waste management: **Sustainability**. 2023; v. 15, n. 3, p. 1998. <https://doi.org/10.3390/su15031998>

ALI, U.F. **Electrochemical separation and purification of metals from waste electrical and electronic equipment (WEEE)**. Tese (Doutorado) - University Malaysia Perlis (UniMAP), 2011. Disponível em: <https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/7108/1/Md%20Ali-UF-2011-PhD-Thesis.pdf>

ALIAKBARI, R.; MARFAVI, Y.; KOWSARI, E. Recent studies on ionic liquids in metal recovery from e-waste and secondary sources by liquid-liquid extraction and electrodeposition: a review. **Materials Circle Economy**, v. 2, n. 10 2020. <https://doi.org/10.1007/s42824-020-00010-2>

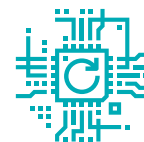
ÁLVAREZ-DE-LOS-MOZOS, E.; RENTERÍA-BILBAO, A.; DÍAZ-MARTÍN, F. WEEE recycling and circular economy assisted by collaborative robots. **Applied Sciences**, v. 10, p. 4800. 2020. <https://doi.org/10.3390/app10144800>

ALVES, D.S.; FARINA, M.C. Disposal and reuse of the information technology waste: a case study in a Brazilian University. **European Business Review**, v. 30, n. 6, p. 720-734. 2018. <https://doi.org/10.1108/EBR-08-2016-0117>

AMBAYE, T.G.; VACCARI, M.; CASTRO, F.D. Emerging technologies for the recovery of rare earth elements (REEs) from the end-of-life electronic wastes: a review on progress, challenges, and perspectives. **Environmental Science Pollution Research**, v. 27, p. 36052–36074. 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09630-2>

ANDERSEN, T.; JAEGER, B.; MISHRA, A. Circularity in waste electrical and electronic equipment (WEEE) directive: comparison of a manufacturer's Danish and Norwegian operations. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 13. 2020. <https://doi.org/10.3390/su12135236>

ARAÚJO, M.G.; MAGRINI, A.; MAHLER, C.F.; BILITEWSKI, B. A Model for Estimation of Potential Generation of Waste Electrical and Electronic Equipment in Brazil. **Waste Management**, v. 32, p. 335 e 342. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.020>



ARGUMEDO-DELIRA R.; GÓMEZ-MARTÍNEZ, M. J.; SOTO, B. J. Gold bioleaching from printed circuit boards of mobile phones by aspergillus niger in a culture without agitation and with glucose as a carbon source. **Metals**, v. 9, n. 5, p. 521. 2019. <https://doi.org/10.3390/met9050521>

ARI, V. A Review of technology of metal recovery from electronic waste. In: MIHAI, F.-C. (Ed.). **E-Waste in Transition: from Pollution to Resource**. IntechOpen, p. 121 e 157. 2016. <https://www.intechopen.com/books/e-waste-in-transition-from-pollution-to-resource/a-review-of-technology-of-metal-recovery-from-electronic-waste>.

ASEFI, H.; SHAHPARVARI, S.; CHHETRI, P. Integrated municipal solid waste management under uncertainty: a tri-echelon city logistics and transportation context. **Sustainable Cities and Society**, v. 50, p. 101606. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101606>.

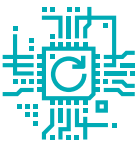
ASHIQ, A.; SARKAR, B.; ADASSOORIYA, N.; WALPITA, J.; RAJAPAKSHA, A.U.; OK, Y.S.; VITHANAGE, M. Processo de sorção de composto de biochar-montmorilonita de resíduos sólidos urbanos para remoção de ciprofloxacina em meio aquoso. **Quimosphera**, v. 236, p. 124384. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124384>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ISO/IEC nº 27.002 de 2013: Tecnologia da Informação – Técnicas de Segurança – Código de prática para controles de segurança da informação**. Disponível em: <http://www.professordiovani.com.br/AdmRedes/NBRISO-IEC27002.pdf>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ISO/NBR nº 14.006 de 2015: Sistemas de Gestão ambiental – Diretrizes para incorporar o ecodesign**. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5559653/mod_resource/content/2/NBRISO14006%20.pdf

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004: resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro-RJ, 2004. Disponível em: <https://analiticaqmcredutos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR IEC 63000: Documentação técnica para a avaliação de produtos elétricos e eletrônicos com relação**



à restrição de substâncias perigosas. 2019. Disponível em: <https://revistapotencia.com.br/portal-potencia/energia/nova-norma-abnt-nbr-iec-63000/>

ATLAS.TI. **Homepage**. 2023. Disponível em: <https://atlasti.com/>

ATTIA, Y.; SOORI, P.K.; GHATH, F. Analysis of households' e-waste awareness, disposal behavior, and estimation of potential waste mobile phones towards an effective e-waste management system in Dubai. **Toxics**, v. 9, n. 236. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2305-6304/9/10/236/pdf?version=1634200805>

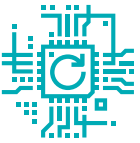
AWASTHI, A.K.; ZENG, X.; LIL, J. Environmental pollution of electronic waste recycling in India: a critical review. **Environmental Pollution**, v. 211, p. 259–270. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.11.027>

AWASTHI, A.K.; LI, J. assessing resident awareness on e-waste management in bangalore, india: a preliminary case study. **Environmental Science Pollution Control Ser**, v. 25, p. 11163–11172. 2018. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-1037-4>.

AWUAL, M.R. Novel ligand functionalized composite material for efficient copper (ii) capturing from wastewater sample. **Composites Part B: Engineering**. V. 172, p. 387–396. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.05.103>

AWUAL, M.R.; HASAN, M.M.; ISLAM, A.; RAHMAN, M.M.; ASIRI, A.M.; KHALEQUE, M.A.; SHEIKH, M.C. Offering an innovative composited material for effective lead (ii) monitoring and removal from polluted water. **Journal of Cleaner Production**, v. 231, p. 214–223. 2019. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.05.125

BAHERS J.B.; KIM, J. Regional approach of waste electrical and electronic equipment (WEEE) Management in France. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 129, p. 45–55. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jean-Baptiste-Bahers/publication/322863383_Regional_approach_of_waste_electrical_and_electronic_equipment_WEEE_management_in_France/links/5b767d5992851ca65064f62f/Regional-approach-of-waste-electrical-and-electronic-equipment-WEEE-management-in-France.pdf?_tp=eyJjb25oZXh0ljp7ImZpcnNoUGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uIn19



BALDE, C.P.; BLUMENTHAL, K.; GILL, S.F.; KERN, M.; MICHELI, P.; MAGPANTAY, E.; HUISMAN, J.; KUEHR, R. **E-waste statistics**: Guidelines on classifications, reporting and indicators, United Nations University IAS -SCYCLE. 2015.

BALDÉ, C.P.; FORTI, V.; GRAY, V.; KUEHR, R.; STEGMANN, P. **The global e-waste monitor**: 2017. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) and International Solid Waste Association, Bonn/Geneva/Vienna. Disponível em: https://collections.unu.edu/eserv/UNU:6341/Global-E-waste_Monitor_2017__electronic_single_pages_.pdf

BARROS, M.; DIMLA, E. From planned obsolescence to the circular economy in the smartphone industry: an evolution of strategies embodied in product features. **Proceedings of the Design Society**, v. 1, p. 1607–1616. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1017/pds.2021.422>

BARTL, A. Moving from recycling to waste prevention: a review of barriers and enables. **Waste Management & Research**, v. 32, n. 9, Supplement p. 3–18, 2014. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0734242X14541986>

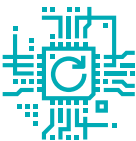
BERNARDES, A.M.; ESPINOSA, D.C.R.; TENÓRIO, J.A.S. Recycling of batteries: a review of current processes and technologies. **Journal of Power Sources**. v. 130, Is 1–2, 2004, p. 291-298. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2003.12.026>

BHUTTA, M.K.S.; OMAR, A.; YANG, X. Electronic waste: a growing concern in today's environment. **Economics Research International**, 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/474230>

BO, B.; YAMAMOTO, K. Characteristics of E-waste Recycling Systems in Japan and China. **International Journal of Environmental and Ecological Engineering**, v. 4, n. 2. 2010. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20201226151329/https://zenodo.org/record/1075042/files/10336.pdf>

BOTSMAN, R.; ROGERS, R. What's mine is yours: the rise of collaborative consumption. New York: Harper Collings Publishers, 2010. DOI: 10.4236/me.2019.101007

BOUZON, M.; GOVINDAN, K.; RODRIGUEZ, C.M.T.; CAMPOS, L.M.S. Identification and analysis of reverse logistics barriers using fuzzy delphi



method and AHP. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 108, p. 182-197, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.05.021>.

BOZKURT, Ö.; STOWELL, A. Skills in the green economy: recycling promises in the UK e-waste management sector. **New Technology, Work and Employment**, v. 31, Issue 2, 2016. <https://doi.org/10.1111/ntwe.12066>

BRACQUENÉ, E.; PEETERS, J.; ALFIERI, F.; SANFÉLIX, J.; DUFLOU, J.; DEWULF, W.; CORDELLA, M. Analysis of evaluation systems for product repairability: a case study for washing machines. **Journal of Cleaner Production**, v. 281, p. 125122. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125122>

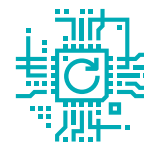
BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 6.151/2019**. Dispõe sobre a obrigatoriedade dos fornecedores de produtos elétrico e eletrônicos a disponibilizar manuais e peças de reposição aos consumidores, e dá outras providências. 2019b. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1837356&filename=PL%206151/2019 Acesso em: 19 jun 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Acordo setorial de logística reversa de eletroeletrônicos**, 2019a. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/acordo-20setorial-20-20eletroeletronicos-pdf> Acesso em: 17 jun 2023.

BRASIL. Ministério das Comunicações, Secretaria de Inclusão Digital. **Programa computadores para inclusão**. Documento propositivo. UNESCO: 2012. Disponível em: <https://siteal.iiep.unesco.org/pt/bdnp/943/programa-computadores-inclusao-documento-propositivo> Acesso em: 20 out 2023.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto n. 875, de 19 de julho de 1993**. promulga o texto da convenção sobre o controle de movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos e seu depósito. 1993. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=DEC&numero=875&ano=1993&ato=721MTWq5ENFpWT8f2>

BRASIL. Presidência da República. **Decreto n. 9.177, de 23 de outubro de 2017**. Regulamenta o art. 33 da lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a política nacional de resíduos sólidos, e complementa os art. 16 e art. 17 do decreto nº 7.404, de 23 de dezembro



de 2010, e dá outras providências. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=DEC&numero=9177&ano=2017&ato=21cMTSU1UeZpWT2f5>

BRASIL. Presidência da República. **Decreto n. 9.373, de 11 de maio de 2018.** Dispõe sobre a alienação, a cessão, a transferência, a destinação e a disposição final ambientalmente adequadas de bens móveis no âmbito da administração pública federal direta, autárquica e fundacional. 2018c. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2018/Decreto/D9373.htm#art18

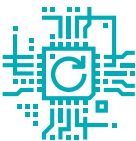
BRASIL. Presidência da República. **Decreto n. 9.470, de 14 de agosto de 2018.** Promulga a Convenção de Minamata sobre Mercúrio, firmada pela República Federativa do Brasil, em Kumamoto, em 10 de outubro de 2013. 2018a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/d9470.htm

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020.** Regulamenta o inciso VI do caput do art. 33 e o art. 56 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e complementa o Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017, quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. Brasília, DF: Palácio do Planalto. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.240-de-12-de-fevereiro-de-2020-243058096>. Acesso em: 20 mai 2023.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022.** Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2022b. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=DEC&numero=10936&ano=2022&ato=2f2UTRE1kMZpWTb9a>

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 11.413, de 13 de fevereiro de 2023.** Institui o Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa, o Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral e o Certificado de Crédito de Massa Futura, no âmbito dos sistemas de logística reversa de que trata o art. 33 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. 2023a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Decreto/D11413.htm

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 11.414, de 13 de fevereiro de 2023.** Institui o Programa Diogo de Sant'Ana Pró-Catadoras e Pró-Catadores para a Reciclagem Popular e o



Comitê Interministerial para Inclusão Socioeconômica de Catadoras e Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis. 2023b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/D11414.htm

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 99.658, de 30 de outubro de 1990.** Regulamenta, no âmbito da Administração Pública Federal, o reaproveitamento, a movimentação, a alienação e outras formas de desfazimento de material. Foi revogada pelo Decreto nº 9.373 de 2018. 1990b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d99658.htm

BRASIL. Presidência da República. **Lei n. 8.078, de 11 de setembro de 1990.** Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. 1990a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8078compilado.htm

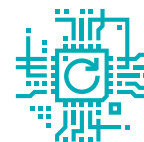
BRASIL. Presidência da República. **Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm

BRASIL. Presidência da República. **Lei n. 13.709, de 14 de agosto de 2018.** Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). 2018b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm

BRASIL. Presidência da República. **Lei n. 14.479, de 21 de dezembro de 2022.** Institui a Política Nacional de Desfazimento e Recondicionamento de Equipamentos Eletroeletrônicos e dispõe sobre o Programa Computadores para Inclusão. 2022a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14479.htm

BRIERLEY, C.L.; BRIERLEY, J.A. Progress in bioleaching: Part B: applications of microbial processes by the minerals industries. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 97, n. 17, p. 7543-52, 2013 Sep. doi: 10.1007/s00253-013-5095-3. Epub 2013 Jul 23. PMID: 23877580.

BUKHARI, M.U.; KHAN, A.; MAQBOOL, K.Q.; ARSHAD, A.; RIAZ, K.; BERMAK, A. Waste to energy: Facile, low-cost and environment-friendly triboelectric nanogenerators using recycled



plastic and electronic wastes for self-powered portable electronics, **Energy Reports**, v. 8, p. 1687-1695, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.12.072>.

CASTELLANI, V.; SALA, S.; MIRABELLA, N. Beyond the throwaway society: a life cycle-based assessment of the environmental benefit of reuse. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 11, p. 373-382. 2015. <http://dx.doi.org/10.1002/ieam.1614>.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL - CETEM/MCTI. **Diagnóstico da mineração urbana dos resíduos eletroeletrônicos no Brasil**: projeto MINARE. Relatório final. Lúcia Helena Xavier (coord.). Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2023. 38 p. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2632/1/Projeto_MINARE_2023.pdf

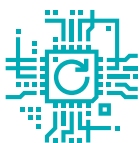
CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. **Políticas e soluções para cidades sustentáveis**: saneamento/resíduos sólidos. Resumo executivo. Brasília, DF: 2022. Disponível em: <https://oics.cgee.org.br/pt/-/pol%C3%ADticas-e-solu%C3%A7%C3%B5es-para-cidades-sustent%C3%A1veis-res%C3%ADuos-s%C3%B3lidos>

CHAKRABORTY, P.; SELVARAJ, S.; NAKAMURA, M.; PRITHIVIRAJ, B.; CINCINELLI, A.; BANG, J.J. PCBs and PCDD/Fs in soil from informal e-waste recycling sites and open dumpsites in India: Levels, congener profiles and health risk assessment. **The Science of the total environment**, v. 621, p. 930-938. 2018. Disponível em: <https://daneshyari.com/article/preview/8861942.pdf>

CHATGPT. **Homepage**. 2023. Disponível em: <https://chat.openai.com/auth/login>

CHATTERJI, Mo. Repairing—not recycling—is the first step to tackling e-waste from smartphones. here's why". **World Economic Forum**, July 19. 2021. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2021/07/repair-not-recycle-tackle-ewaste-circular-economy-smartphones/>. Acesso em: 16 jun 2023.

CHAUHAN, R.; UPADYAY, K. Removal of heavy metal from e-waste: a review. **International Journal of Chemical Studies**, v. 3, p. 15-21. 2015. Disponível em: <https://www.chemijournal.com/archives/2015/vol3issue3/PartA/3-2-19.1.pdf>



CHEN, M.; HUANG, J.; OGUNSEITAN, O.A.; ZHU, N.; WANG, Y.M. Comparative study on copper leaching from waste printed circuit boards by typical ionic liquid acids. **Waste Manage.** V. 41, p. 142–147. 2015. Disponível em: <https://escholarship.org/content/qt76h471zv/qt76h471zv.pdf?t=nqidid>

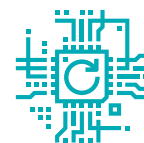
CHIPPERFIELD, M.P.; HOSSAINI, D.R.; MONTZKA, S.A.; REIMANN, S.; SHERRY, D.; TEGTMEIER, S. Renewed and emerging concerns over the production and emission of ozone-depleting substances. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, p. 251-263, 2020. Disponível em: https://eprints.whiterose.ac.uk/166314/1/Chipperfield_March24_EdComments_v4_clean.pdf

CHUNG, S.W.; MURAKAMI-SUZUKI, R. **A Comparative study of e-waste recycling systems in japan, South Korea and Taiwan from the EPR Perspective:** Implications for Developing Countries. 2008. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1586975/mod_resource/content/4/e-waste%20in%20japan%20korea%20and%20taiwan.pdf

CLARKE, C.; WILLIAMS, I.D.; TURNER, D.A. Evaluating the carbon footprint of WEEE management in the UK. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 141, p. 465–473. 2019. Disponível em: https://publicationslist.org/data/david.turner/ref-20/2019%20-%20Clarke%20et%20al.%20-%20RC_R%20-%20Evaluating%20the%20carbon%20footprint%20of%20WEEE%20management%20in%20the%20UK.pdf

COBBING, M. **Toxic Tech:** not in our Backyard, Uncovering the Hidden Flows of E-Waste. Greenpeace International, Amsterdam. February 2008. Disponível em: <https://www.greenpeace.org/usa/wp-content/uploads/legacy/Global/usa/report/2008/2/toxic-tech-not-in-our-backyard.pdf>

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 452, DE 02-07-2012.** Dispõe sobre os procedimentos de controle da importação de resíduos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito. 2012. Disponível em: https://app.sogi.com.br/Manager/texto/arquivo/exibir/arquivo?eyJoeXAiOiJKV1QiLCJhbGciOiJIUzI1NiJ9AUFfJAvMjYoNDc-vUodfUmVxdWlzaXRvXoxlZ2FsX1RleHRvLzAvMCM9SRVNPTFXDh8ODTyBDTo5BTUEgTsK6lDQ1Mi-wgREUGMDItMDctMjAxMjkb2MvMCM8wlgAFFAiZg-TnDCKXF_l4dAuETuSzHwD-7FAQ5cmllXHU5hHJA



CONDEMI, A.; CUCCHIELLA, F.; SCHETTINI, D. Circular economy and e-waste: an opportunity from RFID tags. **Applied Sciences** (Switzerland), v. 9, n. 16, 2019. <https://doi.org/10.3390/app9163422>

CONFORTO, Edivandro Carlos;
AMARAL, Daniel Capaldo; SILVA, Sérgio Luis da. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO**, 8., Porto Alegre, RS 12 a 14 de setembro de 2011. **Anais...** Porto Alegre, RS, 2011. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2205710/mod_resource/content/1/Roteiro%20para%20revis%C3%A3o%20bibliogr%C3%A1fica%20sistem%C3%A1tica.pdf Acesso em: 22 out. 2023.

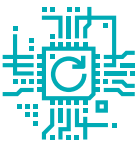
COSTA, A.; ALFAIA, R.; CAMPOS, J. Landfill leachate treatment in Brazil: an Overview. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p.110-116, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.006>

CUI, J.; FORSSBERG, E. Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review. **J. Hazard Mater.** V. 99, p. 243 e 263. 2003. DOI:10.1016/S0304-3894(03)00061-X

DAS, A.; DAVIS, M.A.; RUDE, L. L. Identification of putative active site residues of ACATeEnzymes. **Journal of Lipid Research**, v. 49, n. 8, p. 1770-1781. 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Lawrence-Rudel/publication/5371551_Identification_of_putative_active_site_residues_of_ACAT_enzymes/links/00b7d528c9ef6b1d5c000000/Identification-of-putative-active-site-residues-of-ACAT-enzymes.pdf?_tp=eyJlb250ZXh0ljp7ImZpcnNoUGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uliwicGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uln19

DAVE, S.R.; SHAH, M.B.; TIPGRE, D.R. E-Waste: metal pollution threat or metal resource? **Journal of Advanced Research in Biotechnology**, 1 - 14, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Monal-Shah/publication/299468486_E-Waste_Metal_Pollution_Threat_or_Metal_Resource/links/56fa3ffco8ae81582bf463fo/E-Waste-Metal-Pollution-Threat-or-Metal-Resource.pdf?_tp=eyJlb250ZXh0ljp7ImZpcnNoUGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uliwicGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uln19

DE OLIVEIRA NETO, G.C.; DE JESUS, C.C; Schroeder, A.M. 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.011>.

DENT, P.C.; WALMER, M.H. 4.6: Supply chain sustainability-rare earth materials. **In: 2010 IEEE International Vacuum Electronics Conference (IVEC)** IEEE, p. 57–58. 2010. DOI:10.1109/IVELEC.2010.5503606

DEVAYANI, R.T.; BHUMIKA, R.K.; SHITAL, C.T.; SHAILESH, R.D. The Brighter side of e-waste: a rich secondary source of metal. **Environmental Science and Pollution Research**. V. 28, p.10503–10518. 2021. DOI:10.1007/s11356-020-12022-1

DHIR, A.; MALODIA, S.; AWAN, U.; SAKASHITA, M.; KAUR, P. Extended Valence Theory Perspective on Consumers' E-Waste Recycling Intentions in Japan. **Journal of Cleaner Production**, n. 312. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127443>

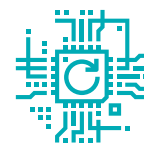
DIAS, P.R.; BENEVIT, M.G., VEIT, H.M. Photovoltaic solar panels of crystalline: characterization and separation. **Waste Management Research**, v. 34, p. 235 e 245. 2016. <https://doi.org/10.1177/0734242X15622812>

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

DIAS, P.; PALOMERO, J.; PILOTTO, M.; SCARAZZATO, T.; BERNARDES, A.M. Electronic Waste in Brazil: generation, collection, recycling and the covid pandemic. **Cleaner Waste Systems**, v. 3, p. 100022. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100022>

DIAZ, L.A.; LISTER, T.E.; PARKMAN, J.A.; CLARK, G.G., Comprehensive process for the recovery of value and critical materials from electronic waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 125, p. 236 e 244, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.061>.

DICIONÁRIO TÉCNICO. **Homepage**. Disponível em: <https://www.dicionariotecnico.com> Acesso em: 20 out 2023.



DOAN, L.; LEE, S.H. Strategies for e-waste management: a literature review. **International Journal of Energy and Environmental Engineering**, v. 11, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/334470034>.

DOMINGUES, G.S.; GUARNIERI, P.; STREIT, J.A.C. Princípios e instrumentos da política nacional de resíduos sólidos: educação ambiental para a implementação da logística reversa. **Revista Gestão, Inovação e Sustentabilidade**, v. 2, n. 1. 2016. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/regis/article/view/19696>

DPA – DANSK PRODUCENT ANSVAR. Homepage. 2023. Disponível em: <https://producentansvar.dk/en/products-and-responsibility/organising-your-producer-responsibility/compliance-schemes/>

EBIN, B.; ISIK, M. I. Pyrometallurgical processes for the recovery of metals from WEEE. In WEEE recycling (pp. 107 e 137). Amsterdam: Elsevier. 2016. DOI:10.1016/B978-0-12-803363-0.00005-5

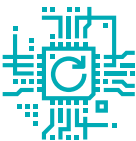
ECHEGARAY F.; HANSSTEIN, F.V. Assessing the intention-behavior gap in electronic waste recycling: the case of Brazil. **Journal of Cleaner Production**. v. 142, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.064>

EIFERT, B.P. **As reformas regulatórias estimulam o investimento e o crescimento?** Evidências dos dados do Doing Business, 2003-07. 2009. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1390326>

ENERGY STAR. **Homepage**. 2023. Disponível em: <https://www.energystar.gov/>

EUROPEAN COMMISSION - EC. DG Environment. **Development of guidance on extended producer responsibility (EPR)**. 2014. Disponível em: https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/target_review/Guidance%20on%20EPR%20-%20Final%20Report.pdf

EUROPEAN UNION - EU. **Commission Regulation (EC) nº 642/2009, of 22 July, 2009**. Implements Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with Regard to Ecodesign Requirements for Televisions. 2009b. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:191:0042:0052:EN:PDF>



EUROPEAN UNION - EU. **Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009.** Establishes a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products. 2009a. Disponível em: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/eur90694.pdf>

EUROPEAN UNION - EU. **Diretiva 2011/65/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 8 de junho de 2011.** Versa sobre a restrição do uso de determinadas substâncias perigosas em equipamentos eléctricos e electrónicos (reformulação). Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32011L0065>. Acesso em: 13 jul 2023.

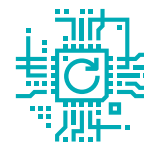
EUROPEAN UNION - EU. **Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE).** Disponível em: <https://www.legislation.gov.uk/eudr/2012/19/contents>. Acesso em: 17 mai 2023.

FAGERHOLM, A.S.; GÖRANSSON, K.; THOMPSON, L.; HEDVALL, P.O. Activism online: Exploring how crises are communicated visually in activism campaigns. **Journal of Contingencies and Crisis Management.** V. 31, n.4, p. 1034-1043, dec. 2023. <https://doi.org/10.1111/1468-5973.12472>

FATIMAH, Y.A.; GOVINDAN, K.; MURNININGSIH, R.; SETIAWAN, A. Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: a case study of Indonesia. **Journal of Cleaner Production**, v. 269, p. 1-15. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122263>.

FETANAT, A.; TAYEBI, M.; SHAFIPOUR, G. Management of waste electrical and electronic equipment based on circular economy strategies: navigating a sustainability transition toward waste management sector. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 23, n. 2, p. 343–369. 2021. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-02006-7>

FOELSTER, A. S.; ANDREW, S.; KROEGER, L.; BOHR, P.; DETTMER, T.; BOEHME, S.; HERRMANN, C., 2016. Electronics recycling as an energy efficiency measure e a Life Cycle Assessment (LCA) study on refrigerator recycling in Brazil. **J. Clean. Prod.** v. 129, p. 30 e 42. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.126>.



FORTI, V.; BALDÉ, C.P.; KUEHR, R.; BEL, G. **The Global E-waste monitor 2020**: Quantities, Flows and the Circular Economy Potential. United Nations Institute for Training and Research (Unitar). Link: https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/11/GEM_2020_def_july1_low.pdf Acesso em: 14 jun 2023.

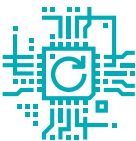
FRANCO, R.G.F.; LANGE, L.C. Flow of E-waste at the city of Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. **Engenharia sanitária e ambiental** v. 16, n. 1, p. 73–82, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Rosana-Franco/publication/262447537_Flow_of_e-waste_at_the_city_of_Belo_Horizonte_Minis_Gerais_Brazil/links/5c386d9592851c22a36b9db6/Flow-of-e-waste-at-the-city-of-Belo-Horizonte-Minas-Gerais-Brazil.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnNoUGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uIn19

FU, J.; ZHOU, Q.; LIU, J.; LIU, W. WANG, T.; ZHANG, Q.; JIANG, G. High levels of heavy metals in rice (*Oryzasativa* L.) from a typical e-waste recycling area in southeast China and its potential risk to human health. **Chemosphere**, v. 71, n. 7, p. 1269–1275, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jianjie-Fu/publication/5561810_High_Levels_of_Heavy_Metals_in_Rice_Oryza_sativa_L_from_a_Typical_E-Waste_Recycling_Area_in_Southeast_China_and_Its_Potential_Risk_to_Human_Health/links/5cda750f299bf14d9595120d/High-Levels-of-Heavy-Metals-in-Rice-Oryza-sativa-L-from-a-Typical-E-Waste-Recycling-Area-in-Southeast-China-and-Its-Potential-Risk-to-Human-Health.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnNoUGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uIn19

GARDEA-TORRESDEY, J.L.; DE LA ROSA, G.; PERALTA-VIDEA, J.R. Use of phytofiltration technologies in the removal of heavy metals: a review. **Pure and Applied Chemistry**, v. 76, n. 4, p. 801-813. 2004. <https://doi.org/10.1351/pac200476040801>

GARLAPATI, V.K. E-waste in India and developed countries: Management, recycling, business and biotechnological initiatives. **Renewable Sustainable Energy Reviews Journal**, v. 54, p. 874-881, 2016. DOI: 10.1016/j.rser.2015.10.106

GHARFALKAR, M.; ALI, Z.; HILLIER, G. Clarifying the disagreements on various reuse options: Repair, recondition, refurbish and remanufacture. **Waste Management & Research**, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/296056151_Clarifying_the_disagreements_on_various_reuse_options_Repair_recondition_refurbish_and_remanufacture



GHISOLFI, V.; CHAVES, G.D.L.D.; SIMAN, R.R.; XAVIER, L. H. Dinâmica de sistemas aplicada a cadeias de suprimentos de circuito fechado de desktops e laptops no Brasil: uma perspectiva para inclusão social de catadores. **Gestão de resíduos**, v.60, p. 14-31. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.018>

GIBBS, G. **Implicações das dimensões da qualidade em um ambiente de mercado**. Série de Pesquisa HEA. Academia de Ensino Superior. York Science Park, Innovation Way, Heslington, York YO10 5BR, Reino Unido. 2012.

GIBBS, C.; MCGARRELL, E.F.; AXELROD, M. Transnational white-collar crime and risk. **Criminology & Public Policy**, v. 9, p. 543-560. 2010.

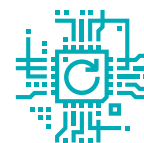
GIZ - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH Regis. **Business model toolbox for setting up e-waste recycling facility in India**. Nova Deli, India, 2022. Disponível em: https://www.giz.de/en/downloads_els/Business%20Model%20Toolbox%20for%20Setting%20up%20E-Waste%20Recycling%20Facility%20in%20India.pdf

GLOBAL E-WASTE STATISTICS PARTNERSHIPS. **About us**. Disponível em: <https://globalewaste.org/about-us/> Acesso em: 15 dez 2023.

GONZÁLEZ, X.M.; RODRÍGUEZ, M.; PENA-BOQUETE, Y. The social benefits of WEEE re-use schemes. A cost benefit analysis for PCs in Spain. **Waste Management**, v. 64, p. 202-213. Jun 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Miguel-Rodriguez-94/publication/315293165_The_social_benefits_of_WEEE_re-use_schemes_A_cost_benefit_analysis_for_PCs_in_Spain/links/59e70ac84585151e54658c9e/The-social-benefits-of-WEEE-re-use-schemes-A-cost-benefit-analysis-for-PCs-in-Spain.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnNoUGFnZSI6IlgkaXJlY3QlLCJwYXVWdWlljoicHVibGljYXRpb24ifXo

GONZÁLEZ-WELLER, D.; KARLSSON, L.; CABALLERO, A.; HERNÁNDEZ, F.; GUTIÉRREZ, A.; GONZÁLEZ-IGLESIAS, T.; HARDISSON, A. Lead and cadmium in meat and meat products consumed by the population in Tenerife Island Spain.

Food Additives and Contaminants, v. 23, n. 8, p. 757–763, 2006. Disponível em: <https://hal.science/hal-00577600/document>



GÖTZE, R.; PIVNENKO, K.; BOLDRIN, A.; SCHEUTZ, C. ASTRUP, F. **Physico-chemical characterisation of material fractions in residual and source-segregated household waste in Denmark.** *In: Waste Management.* May 2016 DOI: 10.1016/j.wasman.2016.05.009

GOV.UK. UK Government. **Regulations on waste and eletronic equipament.** 2023. Disponível em: <https://www.gov.uk/guidance/regulations-waste-electrical-and-electronic-equipment> Acesso em: 20 mai 2023.

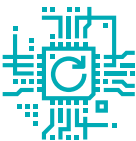
GOV.UK. UK Government. **The Ecodesign for Energy-Related Products and Energy Information Regulations.** 2021. Disponível em: <https://www.legislation.gov.uk/uksi/2021/745/contents/made> Acesso em: 16 jun 2023.

GRAMATYKA, P.; NOWOSIELSKI, R.; SAKIEWICZ, P. Recycling of waste electrical and electronic equipment. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, v. 20, n. 1-2, p. 535-538. 2007. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/81232683/1530S-libre.pdf>

GREENELETRON. Gestora de logística reversa. **Relatório Anual de Atividades 2022.** Disponível em: <https://www.positivoempresas.com.br/wp-content/uploads/2023/05/RELAT%C3%93RIO-ANUAL-DE-ATIVIDADES-2022.pdf>

GRUNOW, M.; GOBBI, C. Designing the reverse network for WEEE in Denmark. *CIRP Annals. Manufacturing Technology*, v. 58, n. 1, p. 391–394. 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2009.03.036>.

GUO, Y.; HUO, X.; LI, Y.; WU, K.; LIU, J.; HUANG, J.; XU, X. Monitoring of lead, cadmium, chromium and nickel in placenta from an e-waste recycling town in China. *Science of The Total Environment*, v. 408, n. 16, p. 3113–3117. 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Xia-Huo-2/publication/44582040_Monitoring_of_Lead_Cadmium_Chromium_and_Nickel_in_Placenta_from_an_E-Waste_Recycling_Town_in_China/links/621492a708bee946f395adcb/Monitoring-of-Lead-Cadmium-Chromium-and-Nickel-in-Placenta-from-an-E-Waste-Recycling-Town-in-China.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0b2p7ImZpcnNoUGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uIn19



GUO Y.; HUO, X.; WU, K.; LIU, J.; ZHANG, Y.; XU, X. Carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in umbilical cord blood of human neonates from Guiyu China. **Science of the Total Environment**, v. 427, p. 35–40, 2012. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.04.007

HABIB, K.; ELHAM, M.; WITHANAGE, S. **A first comprehensive estimate of electronic waste in Canada**. J Hazard Mater p. 130865. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130865>

HENNEBEL, T.; BOON, N.; MAES, S.; LENZ, M. Biotechnologies for critical raw material recovery from primary and secondary sources: R&D priorities and future perspectives. **New Biotechnology**, v. 32, p. 121-127. 2015. DOI:10.1016/j.nbt.2013.08.004

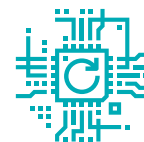
HISCHIER, R.; BÖNI, H.W. Combining environmental and economic factors to evaluate the reuse of electrical and electronic equipment: a Swiss case study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 166, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105307>.

HOAG, C.; BERTONI, F.; BUBANDT, N. Wasteland ecologies: undomestication and multispecies gains on an anthropocene dumping ground. **Journal of Ethnobiology**, v. 38, n. 1, p. 88-104. 2018. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-38.1.088>

HOANG, N.H.; FOGARASSY, C. Sustainability evaluation of municipal solid waste management system for hanoi (vietnam): why to choose the 'waste-to-energy' concept. **Sustainability** 2020, v. 12, p. 1085. <https://doi.org/10.3390/su12031085>

HOLBREY, J.; SEDDON, K. Ionic Liquids. **Clean Products and Processes**, v. 1, p. 223–236, 1999. <https://doi.org/10.1007/s100980050036>

HONDA, S.; KHETRIWAL, D.S.; KUHER, R. **Regional e-waste monitor**: East and Southeast Asia. United Nations University & Japanese Ministry of the Environment, 2016. Disponível em: https://collections.unu.edu/eserv/UNU:6348/Regional_E-waste_Monitor_Easr_Southeast_Asia_low.pdf



HSU, E.; BARMAK, K.; WEST, A.C.; PARK, A. Advancements in the treatment and processing of electronic waste with sustainability: a review of metal extraction and recovery technologies. **Green Chemistry**, v. 21, p. 919–936. 2019. <https://doi.org/10.1039/c8gc03688h>.

INSTITUTO BRASILEIRO

DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Exportação de resíduos**: Convenção de Basileia, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/residuos/exportacao-de-residuos-convencao-de-basileia> Acesso em: 17 jun 2023.

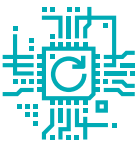
IBANESCU, D.; CAILEAN GAVRILESCU, D.; TEODOSIU, C.; FIORE, S. Assessment of the waste electrical and electronic equipment management systems profile and sustainability in developed and developing European Union countries. **Waste Management**, v. 73, p. 39–53. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.022>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Metodologia das estimativas das populações residentes nos municípios brasileiros para 1º de julho de 2008**: uma abordagem demográfica para estimar o padrão histórico e os níveis de subenumeração de pessoas nos censos demográficos e contagens. Rio de Janeiro, 2007, 104 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Nota Técnica Estimativas da População dos Municípios Brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2014**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/arquivo/noticias/pdf/analise_estimativas_2014.pdf Acesso em: 14 jun. 2023.

ILANKOON, I.M.; GORBANI, Y.; CHONG, M.N.; HERATH, G.; MOYO, T.; PETERSEN, J. 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, p.258–275, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.018>

ILO. **Decent work in the management of electrical and electronic waste (e-waste)**. geneva, Switzerland. 2019. Link: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---sector/documents/publication/wcms_673662.pdf Acesso em: 14 jun 2023.



ILYAS, S.; LEE, J.L.; KIM, B. Bioremoval of heavy metals from recycling industry electronic waste by a consortium of moderate thermophiles: process development and optimization, **Journal of Cleaner Production**, v. 70, p. 194-202, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.019>.

ILYASSOVA, G.; NUKUSHEVA, A.; ARENOVA, L.; KARZHASSOVA, G.; AKIMZHANOVA, M. Prospects of legal regulation in the field of electronic waste management in the context of a circular economy. **International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics**, v. 21, n. 3, p. 367–388, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10784-020-09514-3>

INFOMONEY. **Venda de computadores cresce 6% no Brasil no 1º trimestre, aponta levantamento**. 2023. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/consumo/venda-de-computadores-cresce-6-no-brasil-no-1o-trimestre-aponta-levantamento/>. Acesso em: 22 jul 2023.

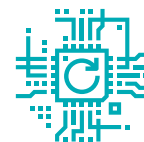
INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION – ITU. **Measuring digital development: Facts and Figures 2022**. Disponível em: <https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/facts-figures-2022/> Acesso em: 20 out 2023.

INTLEKOFER, K.; BRAS, B.; FERGUSON, M. Energy implications of product leasing. **Environmental Science and Technology**. V. 44, p. 4409–4415. 2010. <https://doi.org/10.1021/es9036836>.

IRIMIA-VLADU, M.D.; GLOWACKI, E.D.; VOSS, G.; BAUER, S.; SARICIFTCI, N.S. Green and biodegradable electronics. **Materials Today**, v. 15, Is 7–8, p. 340-346, 2012. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(12\)70139-6](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(12)70139-6).

ISILDAR, A.; RENE, E.R.; VAN HULLENBUSCH, E.D.; LENS, P.N.L. Electronic waste as a secondary source of critical metals: Management and recovery technologies. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, p. 296–312. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.031>.

JADHAO, P.R.; AHMAD, E.; PANT, K.K.; NIGAM, K.D.P. Advancements in the field of electronic waste Recycling: Critical assessment of chemical route for generation of energy and valuable products coupled with metal recovery. **Separation and Purification Technology**, v. 289, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.120773>.



JAPAN INDUSTRIAL WASTE INFORMATION SYSTEM - JWNET. Electronic manifest system for industrial waste in japan, July 2023. Disponível em: https://www.jwnet.or.jp/uploads/media/2023/07/Electronic_Manifest_System_for_Industrial_Waste_in_Japan_July2023.pdf

JHA, M.K.; KUMARI, A.; CHOUBEY, P.K. LEE, J.; KUMAR, V.; JEONG, J. Leaching of lead from solder material of waste printed circuit boards (PCBs). **Hydrometallurgy**, v. 121–124, p. 28–34, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2012.04.010>.

JIANG, B.; ADEBAYO, A.; JIAD, J.; XING, Y.; DENG, S.; GUO, L.; LIANG, Y.; ZHANG, D. Impacts of heavy metals and soil properties at a Nigerian e-waste site on soil microbial community. **Journal of Hazardous Materials**, v. 362, p. 187–195, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.08.060>

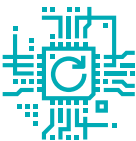
JOHNSON, M.; FITZPATRICK, C.; MCMAHON, K. **Research of upcycling supports to increase re-use, with a focus on waste electrical and electronic equipment (UpWEEE)**. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Michael-Johnson-72/publication/325767060_Research_of_Upcycling_Supports_to_Increase_Re-use_with_a_Focus_on_Waste_Electrical_and_Electronic_Equipment_UpWEEE/links/5b22c12e458515270fcc44a0/Research-of-Upcycling-Supports-to-Increase-Re-use-with-a-Focus-on-Waste-Electrical-and-Electronic-Equipment-UpWEEE.pdf?tp=eyJlb250ZXh0ljp7ImZpcnNoUGFnZSI6IlgkaXJlY3QiLCJwYWdlIjoicHVibGljYXRpb24ifXo

JULIER, Guy. From design culture to design activism. **Design and Culture**, v. 5, n. 2, p. 215–236, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/272214277_From_Design_Culture_to_Design_Activism

KAHHAT, R.; KIM, J.; XU, M.; ALLENBY, B.; WILLIAMS, E.; ZHANG, P. Exploring e-waste management systems in the United States. **Resources, conservation and recycling**, v. 52, n. 7, p. 955–964. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.03.002>

KAIM, V.; RINTALA, J.; HE, C. Selective recovery of rare earth elements from e-waste via ionic liquid extraction: a review. **Separation and Purification Technology**, v. 306, Part B, 2023, p. 122699. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122699>.

KAMBEROVIC, Ž.; ROMHANJI, E.; FILIPOVIC, M.; KORAC, M. A reciclagem de estimativa de ligas de alumínio com alto teor de magnésio do procedimento mais confiável em



metalurgija. Savez inženjera metalurgije Srbije, **Beograd**, v. 15, n. 3, p. 189-200. 2009.
https://hdl.handle.net/21.15107/rcub_technorep_1372

KANCHANAPIYA, P.; PINHYO, W.; JAREEMIT, S.; KWONPONGSAGOON, S. Recycling of non-metallic powder from printed circuit board waste as a filler material in a fiber reinforced polymer. **Environment Protection Engineering**, v. 41, n. 4. 2015.
<https://doi.org/10.5277/epe150412>

KANG, H.; LIU, Y.; CAO, K.; ZHAO, Y.; JIAO, L.; WANG, Y.; YUAN, H. Update on anode materials for Na-ion batteries. **Journal of Materials Chemistry A**, v. 3, n. 35, p. 17899-17913. 2015.
<https://doi.org/10.1039/C5TA03181H>

KASPER, A.C.; BERSELLI, G.B.T.; FREITAS, B.D. *et al.* Printed wiring boards for mobile phones: characterization and recycling of copper. **Waste Management**, v. 31, p. 2536–2545. 2011.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.08.013>

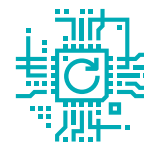
KAYA, M. Recovery of metals and nonmetals from electronic waste by physical and chemical recycling processes. **Waste Management**, v. 57, p. 64–90. Elsevier Ltd. 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.004>

KAZA, S.; YAO, L.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN, F. **What a Waste 2.0**: a global snapshot of solid waste management to 2050. World Bank Group. 2018.
<https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>

KHALIQ, A.; RHAMDHANI, M.A.; BROOKS G, MASOOD S. Metal extraction processes for electronic waste and existing industrial routes: a review and Australian perspective. **Resources**, v. 3, n. 1, p. 152-179. 2014. <https://doi.org/10.3390/resources3010152>

KIDDEE, P.; NAIDU, R.; WONG, M.H. Electronic waste management approaches: An overview. **Waste Management** (Elmsford) 2013, v. 33, p. 1237–1250. Disponível em: https://www.nqr.gov.in/sites/default/files/File%202_waste%20mgt.pdf

KIDDEE, P.; PRADHAN, J.K.; MANDAL, S.; BISWAS, J.K. SARKAR, B.
An overview of treatment technologies of e-waste, in Handbook of Electronic Waste



Management, ed. by M. N. V. Prasad, M. Vithanage, A. Borthakur, (Elsevier, 2020), pp. 1–18.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817030-4.00022-X>

KINOSHITA, T.; AKITA, S.; KOBAYASHI, N.; NII, S.; KAWAIZUMI, F.; TAKAHASHI, K. Metal recovery from non-mounted printed wiring boards via hydrometallurgical processing. **Hydrometallurgy**, v. 69, n. 1–3, p. 73–79. 2003. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(03\)00031-8](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(03)00031-8)

KLOSOWSKI, Thorin. What you should know about right to repair. **Wirecutter**: Reviews for the Real World. 15 jul 2021. Disponível em: <https://www.nytimes.com/wirecutter/blog/what-is-right-to-repair/>

KOLLIKKATHARA, N.; FENG, H.; STERN, E. A purview of waste management evolution: Special emphasis on USA. **Waste management**, v. 29, n. 2, p. 974-985. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.06.032>

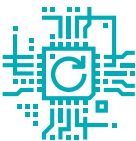
KUMAR, A.; GAUR, D.; LIU, Y.; SHARMA, D. Sustainable waste electrical and electronic equipment management guide in emerging economies context: A structural model approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 336. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130391>

KUMAR, A.; HOLUSZKO, M.; ESPINOSA, D.C.R. E-waste: an overview on generation, collection, legislation and recycling practices. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 122, p. 32 e 42. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.018>.

LABUNSKA, I.; HARRAD, S.; WANG, M.; SANTILLO, D.; JOHNSTON, P. Human dietary exposure to PBDEs around e-waste recycling sites in eastern China. **Environmental Science & Technology**, v. 48, n. 10, p. 5555-5564, 2014. DOI: 10.1021/es500241m

LACY, P.; RUTQVIST, J. **Waste to wealth**: the circular economy advantage. 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/306234018_Waste_to_wealth_The_circular_economy_advantage

LAMBERT, F.; GAYDARDZHIEV, S.; LEONARD, G.; LEWIS, G.; BAREEL, P.F.; BASTIN, D. Copper leaching from waste electric cables by biohydrometallurgy. **Minerals Engineering**, v. 76, p. 38–46. 2015. Disponível em: <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/178909/1/article.pdf>



LAMBERTON, C.P.; ROSE, R.L. When is ours better than mine? a framework for understanding and altering participation in commercial sharing systems. **Journal of Marketing**, v. 76, n. 4, p. 109-125. 2012. <https://doi.org/10.1509/jm.10.0368>

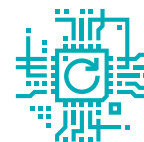
LASE, I.S.; RAGAERT, K.; DEWULF, J.; DE MEESTER, S. Multivariate input-output and material flow analysis of current and future plastic recycling rates from waste electrical and electronic equipment: The case of small household appliances. **Resources, Conservation and Recycling**, V. 174, p. 105772. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105772>

LAU, W.K.Y.; LIANG, P.; MAN, Y.B.; CHUNG, S.S.; WONG, M.H. Human health risk assessment based on trace metals in suspended air particulates, surface dust, and floor dust from e-waste recycling workshops in Hong Kong, China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, p. 3813 - 3825. 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Shan-Chung-2/publication/259003616_Human_health_risk_assessment_based_on_trace_metals_in_suspended_air_particulates_surface_dust_and_floor_dust_from_e-waste_recycling_workshops_in_Hong_Kong_China/links/of31752e777edo82c6000000/Human-health-risk-assessment-based-on-trace-metals-in-suspended-air-particulates-surface-dust-and-floor-dust-from-e-waste-recycling-workshops-in-Hong-Kong-China.pdf

LECLER, M.T.; ZIMMERMAN, F.; SILVENTE, E.; MASSON, A.; MORÈLE, Y.; REMY, A.; CHOLLOT, A. Improving the work environment in the fluorescent lamp recycling sector by optimizing mercury elimination. **Waste Management**, v. 76, p. 250–260. 2018. DOI 10.1016/j.wasman.2018.02.037

LECLERC, S.H.; BADAMI, M.G. Extended producer responsibility for E-waste management: Policy drivers and challenges. **Journal of Cleaner Production**, v. 251. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119657>.

LESMANA, S.O.; FEBRIANA, N.; SOETAREDJO, F.E. SUNARSO, J.; ISMADJI, S. Studies on potential applications of biomass for the separation of heavy metals from water and wastewater. **Biochemical Engineering Journal**, v. 44, Is 1, p. 19-41, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2008.12.009>.



LI, H.; EKSTEEN, J.; ORABY, E. Hydrometallurgical recovery of metals from waste printed circuit boards (WPCBs): Current status and perspectives - a review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 139, p. 122 e 139. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.08.007>

LI, J.; LU, H.H.; GUO J.; XU, Z.; ZHOU, Y. Recycle technology for recovering resources and products from waste printed circuit boards. **Environmental Science and Technology**, v. 41, p. 1995–2000. 2007. <https://doi.org/10.1021/es0618245>

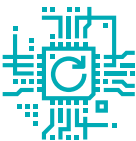
LI, K.; XU, Z. A review of current progress of supercritical fluid technologies for e-waste treatment. **Journal of Cleaner Production**, v. 227, 2019, p. 794-809. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.104>.

LI, W.H.; ZHI, Y.; DONG, Q.Y.; LIU, L.L.; LI, J.H.; LIU, S.L.; XIE, H.H. Research progress on the recycling technology for nonmetallic materials from wasted printed circuit board. **Procedia Environmental Sciences**, v. 16, p. 569 e 575. 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jinhui-Li/publication/257728686_Research_Progress_on_the_Recycling_Technology_for_Nonmetallic_Materials_from_Wasted_Printed_Circuit_Board/links/00b7d52d53cofdb8e8000000/Research-Progress-on-the-Recycling-Technology-for-Nonmetallic-Materials-from-Wasted-Printed-Circuit-Board.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ljpw7lmZpcnNoUGFnZSl6lnB1YmxpY2FoaW9uliwicGFnZSl6lnB1YmxpY2FoaW9uln19

LIU, F.; ZOU, H.; PENG, J.; HU, J.; LIU, H.; CHEN, Y., LU, F. Removal of copper (II) using deacetylated konjac glucomannan conjugated soy protein isolate. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 86, p. 338–344. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.092>

LIU, H.; ZHOU, Q.; WANG, Y.; ZHANG, Q.; CAI, Z.; JIANG, G. E-waste recycling induced polybrominated diphenyl ethers, polychlorinated biphenyls, polychlorinateddibenzo-p-dioxins and dibenzo-furans pollution in the ambient environment. **Environment International**, v.34, n. 1, p. 67–72. 2008. DOI 10.1016/j.envint.2007.07.008

LIU, K.; TAN, Q.; YU, J.; Wang, M. A global perspective on e-waste recycling. **Circular Economy**, v. 2, n. 1, p. 100028, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.cec.2023.100028>



LU, B.; YANG, J.; IJOMAH, W.; WU, W.; ZLAMPARET, G. Perspectives on reuse of WEEE in China: lessons from the EU. **Resources Conservation and Recycling**. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.012>.

LUO, C.; LIU, C.; WANG, Y.; LIU, X.; LI, F.; ZHANG, G.; LI, X. Heavy metal contamination in soils and vegetables near an e-waste processing site, south China. **Journal of Hazardous Materials**, v. 186, Issue 1, 2011, p. 481-490, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.11.024>.

LUO, Y.; LUO, X. J.; LIN, Z.; CHEN, S. J.; LIU, J.; MAI, B.X.; YANG, Z.Y. Polybrominated diphenyl ethers in road and farmland soils from an e-waste recycling region in Southern China: concentrations, source profiles, and potential dispersion and deposition. **Science of the Total Environment**, v. 407, n. 3, p. 1105-13. 2009 Jan 15 Doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.10.044. Epub 2008 Nov 18. PMID: 19019410.

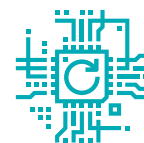
MA, J.; HIPEL, K.W. Exploring social dimensions of municipal solid waste management around the globe—a systematic literature review. **Waste Management**, v. 56, p. 3-12. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.06.041>

MENAD, N.; BJORKMAN, B.; ALLAIN, E. G. Combustion of plastics contained in electric and electronic scrap. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 24, p. 65 e 85. 1998. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(98\)00040-8](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(98)00040-8).

MENG, M.; LI, B.; SHAO, J.; WANG, T.; HE, B.; SHI, J.; YE, Z.; JIANG, G. Accumulation of total mercury and methylmercury in rice plants collected from different mining areas in China, **Environmental Pollution**, v. 184, p. 179-186, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.08.030>.

MIELKE, H.W.; REAGAN, P.L. Soil is an important pathway of human lead exposure. **Environmental Health Perspectives**, v. 106, n. 1, p. 217–229. 1998. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Howard-Mielke/publication/51331187_Soil_Is_an_Important_Pathway_of_Human_Lead_Exposure/links/5f04fccd45851550509464ea/Soil-Is-an-Important-Pathway-of-Human-Lead-Exposure.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnNoUGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uliwi-cGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uliwi

NAMIAS, J. **The Future of electronic waste recycling in the United States**: Obstacles and domestic solutions, Department of Earth and Environmental Engineering, Columbia



University, 2013. Disponível em: https://allgreenrecycling.com/wp-content/uploads/2016/11/Namias_Thesis_07-08-1312.pdf

NEEDHIDASAN, S.; SAMUEL, M.; CHIDAMBARAM, R. Electronic waste – an emerging threat to the environment of urban India. **Journal of Environmental Health Science Engineering**, v. 12, p. 1–9. 2014. DOI:10.1186/2052-336X-12-36

NELEN, D.; MANSHOVEN, S.; PEETERS, J.R.; VANEGAS, P.; D’HAESE, N.; VRANCKEN, K. A multidimensional indicator set to assess the benefits of WEEE material recycling. **Journal of Cleaner Production**, v. 83, p. 305 e 316, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.09>.

OHAJINWA, C.M.; VAN BODEGOM, P.M.; VIJVER, M.G.; PEIJNENBURG, W.J.G.M. Impact of informal electronic waste recycling on metal concentrations in soils and dusts. **Environmental Research**, v. 164, p. 385-394, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935118301191>

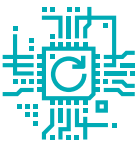
OLIVEIRA, U.R. **Contributions to improve the management of waste electrical and electronic equipment in Brazil, in the context of environmental sustainability**. UNESP, São Paulo, 2016.

OLYMPIO, K.P.K.; GONÇALVES, C.G.; SALLES, F.J.; FERREIRA, A.P.S. da S.; SOARES, A.S.; BUZALAF, M.A.R.; CARDOSO, M.R.A.; BECHARA, E.J.H. What are the blood lead levels of children living in Latin America and the Caribbean? **Environment International**, v. 101, p. 46 e 58. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.022>.

ONGONDO, F.O.; WILLIAMS, I.D.; WHITLOCK, G. Distinct Urban Mines: Exploiting secondary resources in unique anthropogenic spaces. **Waste Management**, v. 45, p. 4–9. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.05.026>

ORA. **Homepage**. 2023. Disponível em: <https://ora.sh/>

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD. **Business models for the circular economy: opportunities and challenges for policy**. Paris: OECD Publishing, 2019. <https://doi.org/10.1787/g2g9dd62-en>.



ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD.

Extended Producer Responsibility: Updated Guidance for Efficient Waste Management, OECD Publishing, Paris, 2016. <https://doi.org/10.1787/9789264256385-en>.

OSIBANJO, O.; NNOROM, I. The challenge of electronic waste (e-waste) management in developing countries. **Waste Management & Research**, v. 25, n. 6, p. 489-501. 2007. <https://doi.org/10.1177/0734242X07082028>

PALANISAMY, K.; SUBBURAJ, R.G. Integration of electronic waste management: a review of current global generation, health impact, and technologies for value recovery and its pertinent management technique. **Environmental Science and Pollution Research**. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. 2023. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26719-6>

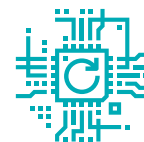
PANCHAL, R.; SINGH, A.; DIWAN, H. Economic potential of recycling e-waste in India and its impact on import of materials. **Resources Policy**, v. 74, 1 dez. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102264>

PARAJULY, K.; HABIB, K.; LIU, G. Waste electrical and electronic equipment (WEEE) in Denmark: Flows, quantities and management. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 123, p. 85-92, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.08.004>.

PARDINI, K.; RODRIGUES, J.J.P.C.; DIALLO, O.; DAS, A.K.; DE ALBUQUERQUE, V.H.C.; KOZLOV, S.A. A smart waste management solution geared towards citizens. **Sensors** (Switzerland), v. 20, n. 8, 2020. <https://doi.org/10.3390/s20082380>

PATEL, S.; KASTURE, A. E (Electronic) Waste Management using Biological systems-overview. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 3, n. 7, p.495-504, 2014. Disponível em: <https://www.ijcmas.com/vol-3-7/Shuchi%20Patel%20and%20Avani%20Kasture.pdf>

PATIL, R.A.; RAMAKRISHNA, S. A comprehensive analysis of e-waste legislation worldwide. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, Issue 13, p. 14412–14431). Springer. 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07992-1>



PENG, M.; XIANG, D.; GUANGHONG, D. Products made from nonmetallic materials reclaimed from waste printed circuit boards. **Tsinghua Science and Technology**, v. 18, Is 3. 2007.

Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6076214>

PETHKAR, A.V.; PAKNIKAR, K.M. Recovery of gold from solutions using *Cladosporium cladosporioides* biomass beads. **Journal of Biotechnology**, v. 63, n. 2, p. 121-136. 1998. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Aniroodha-Pethkar/publication/223856420_Recovery_of_Gold_from_Solutions_Using_Cladosporium_cladosporioides_Biomass_Beads/links/5ca46974458515f7851ff647/Recovery-of-Gold-from-Solutions-Using-Cladosporium-cladosporioides-Biomass-Beads.pdf?_tp=eyJlb250ZXh0ljp7ImZpcnNoUGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uIiwicGFhZSI6InB1YmxpY2FoaW9uIn19

PETRIDIS, N.E.; PETRIDIS, K.; STIAKASIS, E. Análise da rede global de comércio de lixo eletrônico. **Recursos, Conservação e Reciclagem**, v. 158, p. 104742. 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104742>

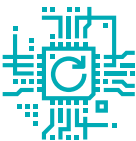
PORTUGAISE, M.K.; JÓHANNSDÓTTIR, L.; MURAKAMI, S. Extended producer responsibility's effect on producers' electronic waste management practices in Japan and Canada: drivers, barriers, and potential of the urban mine. **Discovery Sustainability**, v. 4, p. 8, 2023.

<https://doi.org/10.1007/s43621-023-00124-y>

PRIYA, A.; HAIT, S. Comprehensive characterization of printed circuit boards of various end-of-life electrical and electronic equipment for beneficiation investigation. **Waste Management**, v.75, p. 103-123, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.02.014>.

PROCHASKA, James O.; NORCROSS, John C. Stages of change. **Psychotherapy: theory, research, practice, training**, v. 38, n. 4, p. 443, 2001. Disponível em: https://clinica.ispa.pt/ficheiros/areas_utilizador/user11/69._stages_of_change.pdf

PUCKETT, J.; BYSTER, L.; WESTERVELT, S.; GUTIERREZ, R.; DAVIS, S.; HUSSAIN, A.; DUTTA, M. **Exporting Harm: The High-Tech Trashing of Asia**. 2002. Disponível em: <https://noharm-uscanada.org/documents/exporting-harm-high-tech-trashing-asia> Acesso em: 22 out 2023.



RAI, V.; LIU, D.; XIA, D.; JAYARAMAN, Y.; GABRIEL, J.C.P. Electrochemical approaches for the recovery of metals from electronic waste: a critical review. **Recycling**, v. 6, p. 53. 2021. <https://doi.org/10.3390/recycling6030053>

RAMACHANDRA, T.V.; VARGHESE, K. Environmentally sound options for e-waste management. **Envis Journal of Human Settlements**, v. 3, p. 1–10. 2004. Disponível em: <https://wgbis.ces.iisc.ac.in/energy/paper/ewaste/static.htm>

RIBER, C.; FREDRIKSEN, G.; CHRISTENSEN, T. Heavy metal content of combustible municipal solid waste in Denmark. **Waste Management & Research**, v. 23, n. 2, p. 126-132. 2005. <https://doi.org/10.1177/0734242X05051195>

RIZOS, V.; BRYHN, J. Implementation of circular economy approaches in the electrical and electronic equipment (EEE) sector: Barriers, enablers and policy insights. **Journal of Cleaner Production**, v. 338, p.1-13. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130617>.

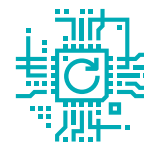
ROHS Guide. **European Union**. 2011. Disponível em: <https://www.rohsguide.com/> Acesso em: 22 out 2023.

ROY, Sanghita; BAG, Manigrib. Green computing: New horizon of energy efficiency and e-waste minimization. **World perspective vis-à-vis Indian scenario**. CSI, India, p. 64-69, 2009. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=2da1b9cbcac96d93155fe041boe838094a84d79f>

RUIZ, A. **Latest global E-waste statistics and what they tell us**. The Roundup: Fredericksburg, TX, USA. 2022. Disponível em: <https://theroundup.org/global-e-waste-statistics/>

SACHS, J.D. From millennium development goals to sustainable development goals. **The lancet**, v. 379, n. 9832, p. 2206-2211. 2012. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60685-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60685-0)

SAHLE-DEMESSIE, E.; MEZGEBE, B.; DIETRICH, J.; SHAN, Y.; HARMON, S.; CHUN, C.L. Material recovery from electronic waste using pyrolysis: Emissions measurements and risk assessment. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, Is 1. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104943>.



SAKAI, S.; YANO, J.; HIRAI, Y. *et al.* Waste prevention for sustainable resource and waste management. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 19, p. 1295–1313, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10163-017-0586-4>

SÁNCHEZ-CARRACEDO, F.; LÓPEZ, D. A service-learning based computers reuse program. **Sustainability** (Switzerland), v. 13, n. 14. 2021. <https://doi.org/10.3390/su13147785>

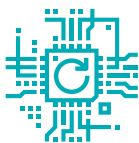
SANTOS, Aguinaldo dos. **Seleção do método de pesquisa**: guia para pós-graduandos em Design e áreas afins. 1. ed. Curitiba: Editora Insight, 2018. v. 1. 234 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Aguinaldo-Dos-Santos/publication/332767198_O_RG_A_N_I_Z_AC_AO_Selecao_do_Metodo_de_Pesquisa_GUIA_PARA_POS-GRADUANDOS_EM_DESIGN_E_AREAS_AFINS/links/5cc8ce56a6fdcc1d49bbf613/O-RG-A-N-I-Z-AC-AO-Selecao-do-Metodo-de-Pesquisa-GUIA-PARA-POS-GRA DUANDOS-EM-DESIGN-E-AREAS-AFINS.pdf

SCHLUEP, M.; KUEHR R *et al.* **Recycling**: from e-waste to resources. United Nations Environment Programme & United Nations University. 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Christina-Meskers/publication/278849195_Recycling_-_from_e-waste_to_resources/links/5587304608ae7bc2f44d31fa/Recycling-from-e-waste-to-resources.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0ljp7lmZpcnNoUGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uliwicGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uln19

SCHLUEP, M.;
SPITZBART, M.; BLASER, F. **Guia de desmontagem para equipamentos de TI**. UNIDO: Train the trainer program, 2015. Disponível em: https://www.sustainable-recycling.org/wp-content/uploads/2020/09/2015_Schluep_et_al_SRI_DismGuide_IT_Equipment_Portugues.pdf

SCHUMACHER, K.A. AGBEMABIESE, L. Towards comprehensive e-waste legislation in the United States: Design considerations based on quantitative and qualitative assessments. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 149, p. 605–621. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.06.033>

SEPÚLVEDA, A.; SCHLUEP, M.;
RENAUD, F.G.; STREICHER, M.; KUEHR, R.; HAGELUKEN, C.; GERECKE, A.C., A review of the en-



vironmental fate and effects of hazardous substances released from electrical and electronic equipment during recycling: Examples from China and India. **Environment Impact Assessment Review**, 30, 28 e 41. 2010. DOI:10.1016/j.eiar.2009.04.001

SHEN, C.; CHEN, Y.; HUANG, S.; WANG, Z.; YU, C.; QIAO, M.; LIN, Q. Dioxin-like compounds in agricultural soils near e-waste recycling sites from Taizhou area, China: chemical and bioanalytical characterization. **Environment International**, v. 35, n. 1, p. 50–55. 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222424087_Dioxin-like_compounds_in_agricultural_soils_near_e-waste_recycling_sites_from_Taizhou_area_China_Chemical_and_bioanalytical_characterization/fulltext/oe60399bf0c46d4foaa1fcoe/Dioxin-like-compounds-in-agricultural-soils-near-e-waste-recycling-sites-from-Taizhou-area-China-Chemical-and-bioanalytical-characterization.pdf?_tp=eyJjb25oZXh0ljp7ImZpcnNoUGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uliwicGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uln19

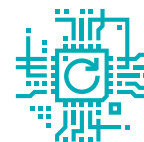
SHEVCHENKO, T.; LAITALA, K.; DANKO, Y. Compreendendo o comportamento de reciclagem de lixo eletrônico do consumidor: introduzindo um novo incentivo econômico para aumentar as taxas de coleta. **Sustentabilidade**. V. 11, n. 9, p. 2656. 2019. <https://doi.org/10.3390/su11092656>

SHITTU, O.S.; WILLIAMS, I.D., SHAW, P.J., Global E-waste management: Can WEEE make a difference? A review of e-waste trends, legislation, contemporary issues and future challenges. **Waste Management**, v. 120, p. 549–563. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.016>.

SIMPSON, D.; POWER, D.; RIACH, K.; TSARENKO, Y. Consumer motivation for product disposal and its role in acquiring products for reuse. **Journal of Operations Management**. V. 65, Issue7, p. 612-635, Oct 2019. Disponível em: https://pure.rug.nl/ws/portalfiles/portal/112113654/Simpson_et_al_2019_Journal_of_Operations_Management.pdf

SINGH, A.; AGRAWAL, M.; MARSHALL, F. **The role of organic vs. inorganic fertilizers in reducing phytoavailability of heavy metals in a wastewater-irrigated area**. p.1-8. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.07.021>

SINGH, M.P.; CHAKRABORTY, A.; ROY, M. Developing an extended theory of planned behavior model to explore circular economy readiness in manufacturing



MSMEs. India. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 135, p. 313-322. 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917301945>)

SINGHA, B.; DAS, S.K. Biosorption of Cr (VI) ions from aqueous solutions: kinetics, equilibrium, thermodynamics and desorption studies. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 84, n. 1, p. 221-232. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2011.01.004>

SLOMSKI, V.G.; SILVA LIMA, I.C.; SLOMSKI, V.; SLAVOV, T. Pathways to urban sustainability: an investigation of the economic potential of untreated household solid waste (HSW) in the city of São Paulo. **Sustainability**, v. 12, p. 5249. 2020. <https://doi.org/10.3390/su12135249>

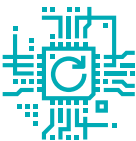
SRIVASTAV, A.L.; MARKANDEYA, N.P.; PANDEY, M.; PANDEY, A.K.; DUBEY, A.K.; KUMAR, A., BHARDWAJ, A.K.; CHAUDHARY, V.K. Concepts of circular economy for sustainable management of electronic wastes: challenges and management options. **Environmental Science and Pollution Research**. V.30, p.48654-48675, 2023. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11356-023-26052-y.pdf>

STEP. **Solving the e-waste problem**. 2018. Disponível em: <http://www.step-initiative.org/>. Acesso em: 13 jun 2023.

STEP. Green Paper: Solving the e-waste problem. **E-waste prevention, take back system design and policy approaches**. 2015. Disponível em: https://www.step-initiative.org/files/_documents/green_papers/Step%20Green%20Paper_Prevention%26Take-backy%20System.pdf

TECCHIO, P.; MCALISTER, C.; MATHIEUX, F.; ARDENTE, F. In search of standards to support circularity in product policies: A systematic approach. **Journal of cleaner production**, v. 168, p. 1533-1546. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.198>

THANOMSANGAD, P.; TENGJAROENKUL, B.; SRIUTTHA, M.; NEERATANAPHAN, L. Heavy metal accumulation in frogs surrounding an e-waste dump site and human health risk assessment. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, v. 26, p. 1313 - 1328. 2020. DOI:10.1080/10807039.2019.1575181



THOMAS, L.D.; HODGSON, S.; NIEUWENHUIJSEN, M.; JARUP, L. Early kidney damage in a population exposed to cadmium and other heavy metals. **Environmental Health Perspectives**, v. 117, n. 2, p. 181–184, 2009. Disponível em: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/pdf/10.1289/ehp.11641>

TIPRE, D.R.; KHATRI, B.R.; THACKER, S.C.; DAVE, S.R. The brighter side of e-waste-a rich secondary source of metal. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 9, p. 10503–10518. Mar 2021 doi: 10.1007/s11356-020-12022-1. Epub 2021 Jan 12. PMID: 33438127.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means systematic review. **British Journal of Management**, v. 14. P. 207–222. 2003. Disponível em: [https://josephmahoney.web.illinois.edu/BADM504_Fall%202019/6_Tranfield,%20Denyer%20and%20Smart%20\(2003\).pdf](https://josephmahoney.web.illinois.edu/BADM504_Fall%202019/6_Tranfield,%20Denyer%20and%20Smart%20(2003).pdf)

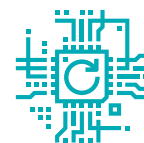
TSYDENOVA, O.; BENGTSSON, M. Chemical hazards associated with treatment of waste electrical and electronic equipment. **Waste Management**, v. 31, Is 1, p. 45–58. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.08.014>

TUNCUK, A.; STAZI, V.; AKCIL, A.; YAZICI, E.Y.; DEVECI, H. Aqueous metal recovery techniques from e-scrap: Hydrometallurgy in recycling. **Minerals Engineering**, v. 25, n. 1, p. 28–37. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.09.019>

UK – UNITED KINGDOM. House of Commons. Environmental audit committee electronic waste and the circular economy: first report third special report of session 2019–21. Disponível em: <https://committees.parliament.uk/publications/3675/documents/35777/default/> Acesso em: 15 dez 2023.

ULLAH, S.; FERREIRA NETO, E.P.; HAZRA, C.; PARVEEN, R.; ROJAS-MANTILLA, H.D.; CALEGARO, M.L. *et al.* Broad spectrum photocatalytic system based on BiVO₄ and NaYbF₄: Tm³⁺ upconversion particles for environmental remediation under UV-vis-NIR illumination. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 243, p. 121–135. 2019. doi:10.1016/j.apcatb.2018.09.091

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROTECTION – UNEP. **E-waste volume I and II: inventory assessment manual**. 2007. Disponível em: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7857/EWasteManual_Vol1.pdf?sequence=3&isAllowed=y



e [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9801/](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9801/EWasteManual_Vol2.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
[EWasteManual_Vol2.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9801/EWasteManual_Vol2.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION - UNIDO. **Reuse & Recycle: Growing Green Businesses.** nov 2009. Disponível em: https://www.unido.org/sites/default/files/2010-03/o_Green_busines_o.PDF

UNITED NATIONS UNIVERSITY – UNU. **2014 Annual Report.** 53-70 Jingumae 5-chome Shibuya-ku, Tokyo 150-8925 JAPAN. p.1-35. 2014. https://i.unu.edu/media/unu.edu/publication/55521/unu_ar2014_en.pdf

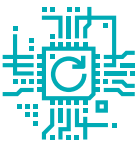
UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - US EPEA. Solid Waste and Emergency Response (5306W). **Electronics: A New Opportunity for Waste Prevention, Reuse, and Recycling.** EPA 530-F-01-006. 2001. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/10000JZ5.PDF?DockKey%10000JZ5.PDF>

VAN DER VOET, E.; SALMINEN, R.; ECKELMAN, M.; NORGATE, T.; MUDD, G.; HISSCHIER, R.; DE KONING, A. **Environmental challenges of anthropogenic metals flows and cycles.** United Nations Environment Programme. 2013. Disponível em: https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/54666484/Environmental_Challenges_Metals_Full_Report.pdf

VAN YKEN, J.; BOXALL, N.J.; CHENG, K.Y.; NIKOLOSKE, A.N.; MOHEIMANI, N.R.; KAKSONEN, A.H. E-Waste recycling and resource recovery: a review on technologies, barriers and enablers with a focus on Oceania. **Metals**, v. 11, p. 1313. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4701/11/8/1313/pdf?version=1629379609>

VANEGAS, P.; PEETERS, J. R.; CATTRYSSE, D.; TECCHIO, P.; ARDENTE, F.; MATHIEUX, F.; DUFLOU, J. R. Facilidade de desmontagem de produtos para apoiar estratégias de economia circular. **Recursos, Conservação e Reciclagem**, p. 323-334. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.06.022>

VASQUES, R.A. **Design, posse e uso compartilhado: reflexões e práticas.** 2015. Tese (Doutorado em Design e Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo; Universidade de São Paulo, 2015. <https://doi.org/10.11606/T.16.2016.tde-08032016-165707>



VEIT, H.; JUCHNESKI, N.; SCHERER, J. Use of gravity separation in metals concentration from printed circuit board scraps. **Rem: Revista Escola de Minas**. v.67, p. 73-79. 2014. 10.1590/S0370-44672014000100011.

VEZZOLI, C.; KOHTALA, C.; SRINIVASA, A.; DIEHL, J.C.; FUSAKUL, S.M.; XIN, L.; SATEESH, D.; SANTOS, Aguinaldo; CHAVES, L.I.; CASTILLO, L.A.G.; GOMEZ, C.R.P.; NUNES, V.G.A.; LEPRE, P.R.; ENGLER, R.C.; MARTINS, S.B. **Sistema produto + serviço sustentável**: fundamentos. 1. ed. Curitiba: Editora Insight, 2018. v. 1. 178 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Aguinaldo-Dos-Santos/publication/331805283_Sistema_ProdutoServico_Sustentavel_Fundamentos/links/5c8cf87f92851c1df94478d1/Sistema-Produto-Servico-Sustentavel-Fundamentos.pdf

VUK, A.; SZÜCS, I.; GÁTHY, A. Packaging waste and recycle in EU. **International Review of Applied Sciences and Engineering**. 2023. <https://doi.org/10.1556/1848.2023.00615>

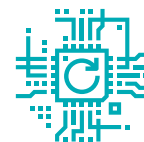
WAGNER, T.P. Shared responsibility for managing electronic waste: A case study of Maine, USA. *Waste Management*, v. 29, p. 3014-3021. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.015>

WANG, R.; XU, Z. Recycling of non-metallic fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE): a review. **Waste Management**, v. 34, p. 1455–1469. 2014. DOI:10.1016/j.wasman.2014.03.004

WANG, Y.; HAZEN, B.T. Consumer product knowledge and intention to purchase remanufactured products. **International Journal of Production Economics**, v. 181, p. 460–469. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.08.031>.

WANG, Y.; LUO, C.; LI, J. YIN, H.; LI, X.; ZHANG, G. Characterization of PBDEs in soils and vegetations near an e-waste recycling site in South China. **Environmental Pollution**, v. 159, p. 2443–2448. 2011. DOI:10.1016/j.envpol.2011.06.030

WIDMER, R.; SWALD-KRAPF, H.; SINHA-KHETRIWAL, D.; SCHNELLMANN, M.; BONI, H. Global perspectives on e-waste. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 25, p. 436 e 458. 2005. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2005.04.001>



WILLIAMS, I. D. Global metal reuse, and formal and informal recycling from electronic and other high-tech wastes. *In*: IZZAT, R.M. (Ed.), **Metal sustainability: global challenges, consequences, and prospects**. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, p. 23–51. 2016. <https://doi.org/10.1002/9781119009115.ch2>.

WILSON, J. Volunteering. **Annual Review of Sociology**. v. 26, n. 26, p. 215. 2000. doi:10.1146/annurev.soc.26.1.215

WONG, M.H.; WU, S.C.; DENG, W.J.; YU, X.Z.; LUO, Q.; LEUNG, A.O.W.; WONG, C.S.C.; LUKSEMBURG, W.J.; WONG, A.S. **Export of toxic chemicals – A review of the case of uncontrolled electronic-waste recycling**. *Environmental Pollution*. v. 149, is. 2, p. 131–140. 2007. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.01.044>

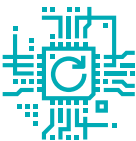
WORLD ECONOMIC FORUM. **A New circular vision for electronics: time for a global reboot**. 2019. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf Acesso em: 16 jun 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Children and digital dumpsites: E-Waste exposure and child health**. 2021. Disponível em: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/341718/9789240023901-eng.pdf?sequence=1>

XAVIER, L.H.; OTTONI, M.; LEPAWSKY, J. Circular economy and e-waste management in the Americas: Brazilian and Canadian frameworks. **Journal of Cleaner Production**, v. 297, p. 126570, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126570>.

XIONG, L.B.; LI, J.L., YANG, B.; Yu, Y. Ti 3 + in the surface of titanium dioxide: generation, properties and photocatalytic application. **Journal of Nanomaterials**, p. 5–8, 2012. DOI: 10.1155/2012/831524

XU, X.; LIAO, W.; LIN, Y.; DAI, Y.; SHI, Z. HUO, X. Blood concentrations of lead, cadmium, mercury and their association with biomarkers of DNA oxidative damage in preschool children living in an e-waste recycling area. **Environmental Geochemistry Health**, v. 40, n. 4, p. 1481–1494, 2018. Disponível em: https://hjxy.jnu.edu.cn/_upload/article/files/09/89/f90foae24a489d8e8b17600e8e61/6fb8d748-b1d9-4a75-b238-583b67ea9786.pdf



YAMANE, L.H.; MORAES, V.T.; ESPINOSA, D.C.R.; TENÓRIO, J.A.S. Recycling of WEEE: characterization of spent printed circuit boards from mobile phones and computers. **Waste Management** v. 31, p. 2553–2558. 2011. DOI:10.1016/j.wasman.2011.07.006

YAN, C.H.; XU, J.; SHEN, X.M. Childhood lead poisoning in China: challenges and opportunities. **Environmental Health Perspectives**. v. 121, n. 10, p. A294. 2013 Oct. DOI: 10.1289/ehp.1307558. PMID: 24218672; PMCID: PMC3801475.

YANG, X.S.; ZHENG, X.X.; ZHANG, T.Y.; DU, Y.; LONG, F. Waste electrical and electronic fund policy: Current status and evaluation of implementation in China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 24. 2021. <https://doi.org/10.3390/ijerph182412945>

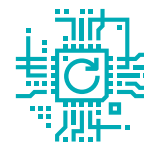
YAZICI, E.Y.; DEVECI, H. Cupric chloride leaching (HCl-CuCl₂-NaCl) of metals from waste printed circuit boards (WPCBs). **International Journal of Mineral Processing**, v. 134, p. 89–96. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2014.10.012>

YLÄ-MELLA, J.; KEISKI, R.; PONGRÁCZ, É. Electronic waste recovery in finland: consumers' perceptions towards recycling and re-use of mobile phones. **Waste Management**, v. 45, p. 374-384. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.031>

YONG, Y.S.; LIM, Y.A.; ILANKOON, I.M.S.K. An analysis of electronic waste management strategies and recycling operations in Malaysia: Challenges and future prospects. **Journal of Cleaner Production**, 224, 151–166. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.205>

YOSHIDA, F.; YOSHIDA, H. E-Waste management in Japan: A focus on appliance recycling. **Advanced Materials Research**. v. 878, p. 420-423. 2014. 10.4028/www.scientific.net/AMR.878.420.

ZACAR, C.R.H. **Design e flexibilidade**: estratégias para o gerenciamento da obsolescência de telefones celulares. 183 p. Dissertação (Mestrado em Design) - Programa de Pós-Graduação em Design, UFPR, 2010. Disponível em: https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/bitstream/handle/1884/22333/Dissertacao_Claudia_Zacar.pdf?sequence=1&isAllowed=y



ZACHO, K.O.; BUNDGAARD, A.M.; MOSGAARD, M.A. Constraints and opportunities for integrating preparation for reuse in the Danish WEEE management system. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 138, p. 13–23. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.06.006>

ZAMAN, A.U.; LEHMANN, S. The zero-waste index: A performance measurement tool for waste management systems in a “zero waste city”. **Journal of Cleaner Production**, v. 50, p. 123–132. 2013. Disponível em: <https://smartnet.niua.org/sites/default/files/resources/thezerowasteindex.pdf>

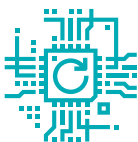
ZENG, X.; Li, J.; STEVELS, A.L.N.; LIU, L. Perspective of electronic waste management in China based on a legislation comparison between China and the EU. *Journal of Cleaner Production*, v. 51, p. 80–87. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.030>.

ZHAN, Lu; XU, Zhenming. **State-of-the-art of recycling e-wastes by vacuum metallurgy separation**. *Environmental Science & Technology*, v. 48, p. 14092–14102. 2014. <https://doi.org/10.1021/es5030383>

ZHANG, A.; VENKATESCH, V. G.; LIU, Y.; WAN, M.; QU, T.; HUISINGH, D. Barriers to smart waste management for a circular economy in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 240, p. 118198, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118198>.

ZHANG, K.; SCHNOOR, J.L.; ZENG, E.Y. E-waste recycling: Where does it go from here? **Environmental Science & Technology**, v. 46, p. 10861–10867. 2012. <https://doi.org/10.1021/es303166s>

ZHANG, L.; XU, Z. Are view of current progress of recycling technologies for metals from waste electrical and electronic equipment. **Journal of Cleaner Production**, v. 127 p. 19 - 36. 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Lingen-Zhang/publication/301277358_A_Review_of_Current_Progress_of_Recycling_Technologies_for_Metals_from_Waste_Electrical_and_Electronic_Equipment/links/5ba9f447299bf13e604a572d/A-Review-ofCurrent-Progress-of-Recycling-Technologies-for-Metals-from-Waste-Electrical-and-Electronic-Equipment.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnNoUGFnZSl6InB1YmxpY2FoaW9uIiwicGFnZSl6InB1YmxpY2FoaW9uIn19

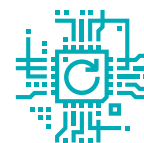


LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Categorias de REEE de acordo com a Diretiva 2012/10/UE	22
Figura 2: Geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) no Brasil (2008 - 2020) (milhões de toneladas/ano)	24
Figura 3: Evolução histórica das legislações associadas a REEEs: contexto nacional e internacional	37
Figura 4: Perspectiva multidimensional de uma política abrangente para REEE	38
Figura 5: Sistema norte-americano de gestão de REEE	100
Figura 6: Sistema britânico de gestão de REEE	106
Figura 7: Sistema japonês de gestão de REEE	111
Figura 8: Sistema dinamarquês de gestão de REEE	116
Figura 9: Sistema brasileiro de gestão de REEE	123

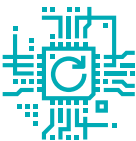
LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Planejamento da RBS	17
Quadro 2: Resultados da aplicação dos <i>strings</i> de busca no filtro 01 da RBS	18
Quadro 3: Exemplificação de potenciais aplicações de materiais oriundos de REEE	30
Quadro 4: Ênfases das leis/decretos nacionais em relação às categorias de políticas para REEE	56
Quadro 5: Exemplos de oportunidades de avanços na Política Nacional de Desfazimento	78
Quadro 6: Papel do governo e de organizações terceirizadas na gestão de REEE	124



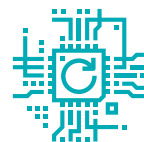
LISTA DE CASOS

Caso 1: Indice de Réparabilité - França	47
Caso 2: SWICO - Suíça	48
Caso 3: SWaCH - Índia	49
Caso 4: Dell - Malásia	49
Caso 5: Worldloop - Bélgica	50
Caso 6: Recereum - EUA	51
Caso 7: TMobile - EUA	51
Caso 8: Recupel - Bélgica	53
Caso 9: iFixit - EUA	53
Caso 10: Prefeitura de Viena - Áustria	54
Caso 11: E-Waste Day - WEEE Forum (Bélgica)	54
Caso 12: Precious Elements Campaign - Grã-Bretanha	55
Caso 13: MerIT - Grã-Bretanha	56
Caso 14: Fairphone - Holanda	57
Caso 15: Runder Tisch Reparatur - Alemanha	58
Caso 16: RepairCafe - Holanda	59
Caso 17: Restart - Grã-Bretanha	59
Caso 18: SWAPPIE - Finlândia	60
Caso 19: ENVIE - França	60
Caso 20: E-waste Nederland - Holanda	61
Caso 21: Recover-e Foundation - Bélgica	62
Caso 22: ADISA - Inglaterra	62
Caso 23: Aihuishou - China	63
Caso 24: Back Market - França	64



SIGLAS E ABREVIATURAS ENCONTRADAS NESTA PUBLICAÇÃO

ABNT		Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS		Acrilonitrilo-butadieno-estireno
Anab		ANSI-ASQ National Accreditation Board
ANSI		American National Standards Institute
APP		Atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos ambientais
ART		Anotação de Responsabilidade Técnica
ARF		Taxa de Recuperação Avançada
ASQ		American Society for Quality
ATF		Approved Authorized Treatment Facility
AVCB		Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros
B2B		Business to business
BR		Brasil
BRF		Retardadores de chama bromados
BS		British Standard
BSI		British Standards Institution
C2C		Consumer to consumer
Capes		Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CE		Comissão Europeia
Cetem		Centro de Tecnologia Mineral
CETEM		Centro de Tecnologia Mineral
CFL		Computers for Learning (Computadores para Aprendizagem)
CGEE		Centro de Gestão de Estudos Estratégicos
CPU		Central processing unit
CR		Certificado de Regularidade
CRC		Conselho Regional de Contabilidade
CRT		Cathodic Ray Tube (tubo de raios catódicos)
CTF		Cadastro Técnico Federal
DePin		Departamento de Projetos de Infraestrutura e de Inclusão Digital
DNA		Ácido desoxirribonucleico
DOE		Departamento de Energia dos Estados Unidos da América
DPA		Danish Producer Responsibility



DRAM | Dynamic random access memory

DTS | Distributor Take-Back Scheme (esquema de logística reversa)

EC | Comunidade Econômica Europeia

EC | Diretiva de Ecodesign

EEE | Equipamentos eletroeletrônicos

EN | Norma europeia

EPA | Agência de Proteção Ambiental

EPCA | Energy Policy and Conservation Act (Lei de Política e Conservação de Energia)

EPR | Responsabilidade estendida do produtor

ErPs | Produtos relacionados à energia

ESG | Environment, Social, Governance

EU | European Union

EuPs | Equação universal de perdas de solo

FEEMA | Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Rio de Janeiro

Fiesp | Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

GESp | Global E-Waste Statistics Partnership

GPS | Global Positioning System

HD | Hard drive (disco rígido)

IA | Inteligência artificial

IEC | Comissão Eletrotécnica Internacional

IoT | Internet das coisas

IPCB | Bifenilos policlorados

ISO | International Organization for Standardization

ISWA | Associação Internacional de Resíduos Sólidos

ITU | União Internacional de Telecomunicações

JISC | Japanese Industrial Standards Committee

LGPD | Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais

LO | Licença de Operação

LPUER | Lei de Promoção do Uso Efetivo de Recursos

LREE | Lei de Reciclagem de Eletrodomésticos Específicos

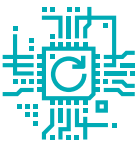
MCom | Ministério das Comunicações

MCTI | Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MGI | Ministério da Gestão e Inovação em Serviços Públicos

MMA | Ministério do Meio Ambiente

NBR | Norma Técnica Brasileira



NIR | Near Infrared

ODS | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONG | Organizações não governamentais

ONU | Organização das Nações Unidas

OSC | Organizações da Sociedade Civil

P&D | Pesquisa e Desenvolvimento

Pa | Pascal

PAS | Public Available Specification

PBDE | Éteres difenílicos polibromados

PBE | Programa Brasileiro de Etiquetagem

PC | Computador pessoal

PC | Policarbonato

PCI | Placa de circuito impresso

PCMSO | Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional

PCS | Esquema de conformidade do produtor

PL | Projeto de Lei

PNRS | Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNUMA | Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

POP | Poluente orgânico persistente

PP | Polipropileno

PPRA | Programa de Prevenção de Risco Ambiental

PS | Poliestireno

PSS | Sistema Produto + Serviço

PVC | Policloreto de vinila

R2 | Reciclagem responsável

RBA | Revisão Bibliográfica Assistemática

RBS | Revisão Bibliográfica Sistemática

REEE | Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

REP | Responsabilidade estendida do produtor

RFID | Radio Frequency Identification

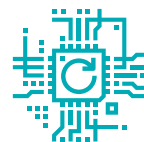
RoHS | Diretiva de Restrição de Substâncias Perigosas

SGA | Sistema de Gestão Ambiental

SINIR | Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos

Sisnama | Sistema Nacional de Meio Ambiente

SNVS | Sistema Nacional de Vigilância Sanitária



TENG | Nanogerador triboelétrico

TI | Tecnologia da informação

TIC | Tecnologia da Informação e Comunicação

UE | União Europeia

UFMG | Universidade Federal de Minas Gerais

UFRP | Universidade Federal do Paraná

UFSC | Universidade Federal de Santa Catarina

UK | United Kingdom

UNITAR-SCYCLE | Programa de ciclos sustentáveis da United Nations Institute for Training and Research

UNU-SCYCLE | Programa de ciclos sustentáveis da Universidade das Nações Unidas

USP | Universidade de São Paulo

VCM | Volume Colocado no Mercado

VDI | Verein Deutscher Ingenieure

