



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

VICTOR GUEDES BARBOSA

**PADRONIZAÇÃO DOS CARREGADORES DE DISPOSITIVOS
ELETROELETRÔNICOS PORTÁTEIS COMO ESTRATÉGIA PARA
ANTECIPAÇÃO À GERAÇÃO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS**

VITÓRIA
2024

VICTOR GUEDES BARBOSA

**PADRONIZAÇÃO DOS CARREGADORES DE DISPOSITIVOS
ELETROELETRÔNICOS PORTÁTEIS COMO ESTRATÉGIA PARA
ANTECIPAÇÃO À GERAÇÃO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável.

Orientadora:

Prof^a. Dra. Luciana Harue Yamane

VITÓRIA

2024


VICTOR GUEDES BARBOSA

PADRONIZAÇÃO DOS CARREGADORES DE DISPOSITIVOS ELETROELETRÔNICOS PORTÁTEIS COMO ESTRATÉGIA PARA ANTECIPAÇÃO À GERAÇÃO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (Modalidade Profissional) da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável na área de concentração em Saneamento Ambiental e Saúde Pública.

Aprovada em 07 de fevereiro de 2024.

COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 LUCIANA HARUE YAMANE
Data: 07/02/2024 15:42:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Luciana Harue Yamane
Orientadora - PPGES/CT/UFES

Documento assinado digitalmente
 RENATO RIBEIRO SIMAN
Data: 07/02/2024 16:11:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Renato Ribeiro Siman
Examinador Interno - PPGES/CT/UFES

DANIELA DA G E
SILVA V M DE
MORAES:3377754
4825
Assinado de forma digital
por DANIELA DA G E SILVA
V M DE
MORAES:33777544825
Dados: 2024.02.07
15:55:15 -03'00'

Prof.^a Daniela G. S. V. M. de Moraes
Examinadora Externa - IFES

AGRADECIMENTOS

Ao longo da minha trajetória como discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, da Universidade Federal do Espírito Santo, diversos indivíduos desempenharam papéis cruciais na edificação desta dissertação, através de ensinamentos, orientações, conselhos, exemplos, motivações, inspirações e principalmente no apoio no âmbito da vida pessoal, acadêmica, profissional e familiar.

Em primeiro lugar, desejo manifestar meu apreço pelas orientações e pelo exemplo de dedicação, competência e profissionalismo da Professora Dra. Luciana Harue Yamane, minha orientadora, e do Professor Dr. Renato Ribeiro Siman, que sempre demonstraram aos seus orientandos que a excelência de um trabalho científico é resultado do esforço pessoal, da dedicação e da competência do próprio aluno, incumbindo aos orientadores guiar o caminho mais propício para a pesquisa e o êxito.

Meu reconhecimento também se estende à equipe de servidores da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), com destaque para os Diretores Dra. Cristina Engel de Alvarez (UFES), Dr. Elton Siqueira Moura (UFES) e Dr. Celso Alberto Saibel Santos (UFES). Seus exemplos, conselhos e dedicação constituíram fontes de motivação que me impulsionaram a ingressar no mestrado.

Por último, e de maneira mais significativa, quero expressar minha imensa gratidão à dedicação e paciência da minha esposa, Natália Barcellos de Freitas Coutinho. Seu apoio na administração do nosso lar, no cuidado de nossas duas filhas, uma delas prematura, e durante o período de assistência à saúde da minha mãe, falecida no decorrer do mestrado, revelou-se indispensável para a conclusão desta dissertação.

Aos mencionados atores, cujos exemplos e orientações permanecerão como guias em minha trajetória, expresso meu sincero agradecimento. Muito obrigado!

“Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reutilização” (ONU-ODS 12.5).

RESUMO

Os periféricos de dispositivos eletroeletrônicos portáteis (DEP), como carregadores, são frequentemente negligenciados nas políticas de gestão e gerenciamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), sendo muitas vezes descartados erroneamente junto ao resíduo domiciliar ou acumulados em gavetas; nesse sentido, tem-se como lacuna de pesquisa a falta de estudos sobre os efeitos da padronização de periféricos de DEP como estratégia de antecipação da geração de REEE. O objetivo desta pesquisa foi identificar os principais elementos que influenciam na padronização dos carregadores de DEP e sistematizá-los usando as categorias PESTEL (política, econômica, social, tecnológica, ambiental e legal), como foco de estratégias de não-geração e redução da geração de REEE. A metodologia utilizada foi a revisão sistemática da literatura associada à análise PESTEL e a Árvore de Realidade Atual (ARA). O lapso temporal de pesquisa se deu entre 2009 (ano de publicação do Memorando de entendimento (MoU) entre União Europeia e fabricantes de telefones celulares) até 2023 (ano de publicação da diretiva da União Europeia que determina a utilização do padrão USB Tipo-C nos conectores de dispositivos eletroeletrônicos portáteis no mercado europeu). Ao todo, foram analisados 23 documentos e 235 artigos, sendo levantados 19 elementos de discussão que influenciam diretamente na padronização dos carregadores de DEP. Assim, esta pesquisa contribuiu para reforçar que a padronização de componentes de DEP pode ser uma estratégia fundamental para não-geração e redução de REEE, buscando desta forma uma economia mais circular e sustentável. Além disso, este estudo fornece um maior embasamento técnico para tomadas de decisão entre *stakeholders* em relação às iniciativas de padronização de componentes de DEP.

Palavras-chave: Economia Circular; Dispositivos Eletroeletrônicos Portáteis (DEP); Smartphones; Carregadores; Resíduos Eletroeletrônicos; Padronização.

ABSTRACT

Peripheral devices for portable electronic devices (PEDs), such as chargers, are often overlooked in policies for the management and disposal of waste electrical and electronic equipment (WEEE), being frequently discarded improperly with household waste or accumulated in drawers. In this sense, there is a research gap in the lack of studies on the effects of standardization of PED peripherals as a strategy to anticipate the generation of WEEE. The aim of this research was to identify the main elements influencing the standardization of PED chargers and to systematize them using the PESTEL categories (political, economic, social, technological, environmental, and legal), focusing on non-generation and reduction strategies of WEEE. The methodology used was a systematic literature review associated with PESTEL analysis and the Current Reality Tree (CRT). The temporal scope of the research ranged from 2009 (year of publication of the Memorandum of Understanding (MoU) between the European Union and mobile phone manufacturers) to 2023 (year of publication of the European Union directive mandating the use of the USB Type-C standard in connectors for portable electronic devices in the European market). In total, 23 documents and 235 articles were analyzed, identifying 19 discussion elements that directly influence the standardization of PED chargers. Thus, this research confirms that the standardization of PED components can be a fundamental strategy for non-generation and reduction of WEEE, aiming for a more circular and sustainable economy. Additionally, this study contributes to a greater technical basis for decision-making among stakeholders, particularly regarding initiatives for standardization of PED components.

Keywords: Circular Economy; Portable Electronic Devices (PEDs); Smartphones; Chargers; Electronic Waste; Standardization.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	- Fluxo do Procedimento Metodológico	39
Quadro 2	- Termos de busca e resultados encontrados por base de dados	40
Quadro 3	- Elementos que influenciam na padronização dos carregadores de Dispositivos Eletroeletrônicos Portáteis, segundo a literatura.....	43
Quadro 4	- Matriz PESTEL com os principais elementos que influenciam na padronização dos carregadores de DEP	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Exemplo de carregador de DEP.....	62
Figura 2	- Padrão dos plugues e receptáculos dos carregadores de DEP	63
Figura 3	- A padronização de Dispositivos Eletroeletrônicos Portáteis (DEP) como estratégia de redução da geração de REEE	87
Figura 4	- Relação entre os elementos que influenciam a padronização dos carregadores de DEP.....	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	- Corrente Alternada
BFR	- Retardadores de Chama Bromados
CE	- Comissão Europeia
CEN	- Comitê Europeu de Padronização
CENELEC	- Comitê Europeu de Padronização Eletrotécnica
CFC	- Clorofluorcarbonos
DC	- Corrente Contínua
DEP	- Dispositivo Eletroeletrônico Portátil
DoC	- Declaração de Conformidade da UE
EEE	- Equipamento Eletroeletrônico
EPS	- <i>External Power Supply</i> (Fonte de Alimentação Externa)
EUROPOL	- <i>European Union Agency for Law Enforcement</i>
HCFC	- Hidroclorofluorcarbonos
ICSMS	- <i>Information and Communication System for Market Surveillance</i>
IEC	- <i>International Electrotechnical Commission</i>
ITU	- <i>International Telecommunication Union</i>
ISO	- Organização Internacional de Normalização
MoU	- <i>Memorandum of Understanding</i> (Memorando de Entendimento)
ODS	- Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	- Organização das Nações Unidas
PESTEL	- Político, Econômico, Social, Tecnológico, Ambiental e Legal
RAPEX	- <i>Rapid Alert System for All Dangerous Consumer Products</i>
REEE	- Resíduos Eletroeletrônicos
SENACON	- Secretaria Nacional do Consumidor
UE	- União Europeia
USB	- <i>Universal Serial Bus</i>
UBS IF	- <i>USB Implementers Forum</i>
USB-PD	- Protocolo USB (<i>Power Delivery</i>)
ETSI	- Instituto Europeu de Padrões de Telecomunicações

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	IMPACTOS AMBIENTAIS DOS EEE	16
2.1.1	Problemas associados a demanda crescente por matéria-prima	17
2.1.2	Problemas associados a geração de REEE	18
2.2	A BUSCA POR UMA ECONOMIA CIRCULAR E SUSTENTÁVEL	19
2.2.1	Breve histórico legislativo sobre Economia Circular dos EEE	20
2.2.2	O empreendedorismo, o reparo e a remanufatura de EEE	22
2.2.3	Vantagens e desvantagens da padronização de componentes EEE ...	24
2.3	A INOVAÇÃO E A OBSOLESCÊNCIA	26
2.3.1	A inovação radical e a inovação incremental	26
2.3.2	A obsolescência de EEE	28
2.4	O HISTÓRICO DA PADRONIZAÇÃO DOS CARREGADORES DE DEP	31
3	OBJETIVOS	35
3.1	OBJETIVO GERAL.....	35
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	35
4	METODOLOGIA	36
4.1	APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	36
4.2	REFERENCIAL METODOLÓGICO	36
4.2.1	Revisão Sistemática da Literatura	36
4.2.2	Análise PESTEL	37
4.3	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	39
4.3.1	Etapa I e II - Revisão Sistemática da Literatura	40
4.3.2	Etapa III - Análise PESTEL	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1	ELEMENTOS POLÍTICOS	46
5.1.1	Interesses de diferentes <i>stakeholders</i>	47
5.1.2	Carência de embasamento técnico para tomada de decisão	48
5.2	ELEMENTOS ECONÔMICOS.....	51
5.2.1	Custos para adaptação das linhas de produção	51
5.2.2	Preço final do carregador repassado ao consumidor	53

5.2.3	Produtos falsificados ou contrabandeados (EEE “cinzas”)	55
5.3	ELEMENTOS SOCIAIS	57
5.3.1	Acúmulo e/ou descarte irregular dos carregadores	57
5.3.2	Problemas relacionados à segurança do carregador	58
5.3.3	Falta de consciência ambiental dos consumidores.....	60
5.4	ELEMENTOS TECNOLÓGICOS.....	62
5.4.1	Maturidade tecnológica para padronização dos EEE	64
5.4.2	Compatibilidade dos DEP e carregadores.....	69
5.4.3	Protocolos elétricos e de transferência de dados	72
5.5	ELEMENTOS AMBIENTAIS.....	74
5.5.1	Materiais utilizados na fabricação dos DEP	75
5.5.2	Modularidade dos DEP	76
5.5.3	Impactos ambientais da padronização	78
5.6	ELEMENTOS LEGAIS.....	78
5.6.1	Incertezas sobre acordos comerciais e restrições legais	79
5.6.2	Origem do padrão escolhido para os EEE.....	80
5.6.3	Tipo de instrumento escolhido para a padronização	81
5.6.4	Necessidade de revisão das normas de padronização	84
5.6.5	Custos com avaliação da conformidade e fiscalização.....	85
5.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
6	CONCLUSÃO	90
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
	APÊNDICE A	103
	APÊNDICE B	106
	APÊNDICE C	109

1 INTRODUÇÃO

O aumento vertiginoso na fabricação, consumo e descarte de equipamentos elétricos e eletroeletrônicos (EEE) em decorrência do progresso tecnológico, da melhoria na qualidade de vida da população e da obsolescência tem gerado uma quantidade substancial de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE), tornando este resíduo a tipologia que mais cresce no mundo (AHMAD; FERNANDES, 2020; BRITISH STANDARDS, 2017; COLE et al., 2019; CORDELLA et al., 2021; CUCCHIETTI et al., 2011; DIAZ et al., 2021; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b; FORTI et al., 2020; GOLLAKOTA; GAUTAM; SHU, 2020; ISLAM et al., 2021; JUCHNESKI; ANTUNES, 2022; MESA et al., 2022; PARAJULY et al., 2019; SCHISCHKE et al., 2017; SHITTU; WILLIAMS; SHAW, 2021; TECCHIO et al., 2018; VAN DE POEL, 2017; WOJNAROWSKA; SOŁTYSIK; PRUSAK, 2021; XAVIER et al., 2021; XAVIER; OTTONI; LEPAWSKY, 2021). Em 2019, a geração global de REEE atingiu aproximadamente 50 milhões de toneladas, e as projeções indicam que até 2030 e 2050, esse número aumentará para 75 milhões e 111 milhões de toneladas, respectivamente (AHMAD; FERNANDES, 2020; FORTI et al., 2020; GREEN ELETRON, 2021; PARAJULY et al., 2019).

Os *smartphones*, por exemplo, são utilizados em média por apenas dois anos antes de serem descartados ou armazenados em gavetas, mesmo que ainda em funcionamento (PROSKE; JAEGER-ERBEN, 2019). Esses dispositivos representam aproximadamente 48% do consumo anual de produtos por unidade de EEE vendidos nos Estados Unidos (ALTHAF; BABBITT; CHEN, 2021) e muitas vezes vêm acompanhados de acessórios, como carregadores.

Estes acessórios, frequentemente, acabam se tornando incompatíveis com novas gerações de Dispositivos Eletroeletrônicos Portáteis (DEP), seja devido à falta de padronização dos conectores ou à incompatibilidade dos protocolos elétricos e de transferência de dados entre diferentes fabricantes e modelos de dispositivos disponíveis no mercado (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b; RÉBAY, 2011).

Em 2016, Dalhammar, após analisar os regulamentos europeus relacionados às responsabilidades dos fabricantes no gerenciamento de resíduos, identificou a falta de estudos sobre categorias específicas de EEE e a promoção do *ecodesign*, bem como

sobre as conexões entre as fases de *design* de produtos e a geração de resíduos (DALHAMMAR, 2016). Essa mesma lacuna foi corroborada por muitos outros autores que concluíram que os estudos sobre REEE se concentram principalmente nas fases de uso e pós-uso dos produtos, com pouca atenção às fases de fabricação e *design*, nas quais os usuários raramente são levados em consideração (AGUIAR et al., 2022; ALTHAF; BABBITT; CHEN, 2021; BRESSANELLI et al., 2020; BRITISH STANDARDS, 2017; COLE et al., 2019; FORTI et al., 2020; SUCKLING; LEE, 2015).

Bressaneli et al. (2020), após revisarem 115 artigos científicos sobre a sustentabilidade na indústria de REEE, apontaram a falta de estudos destinados à otimização de sistemas de produção existentes, visando a redução de desperdício e superprodução desnecessária (BRESSANELLI et al., 2020). Além disso, Islam (2021) e Proske (2022) afirmam que é fundamental estudar o tempo de uso dos EEE e os motivos que levam às substituições precoces desses equipamentos pelos consumidores, evitando uma superestimação dos benefícios da durabilidade (ISLAM et al., 2021; PROSKE, 2022).

Mesa et al. (2022) destacam que a durabilidade dos EEE precisa ser estudada de forma multidisciplinar, incluindo áreas como engenharia, psicologia e *design* de produto, levando em consideração elementos econômicos e ambientais (MESA et al., 2022). Entretanto, Cole et al. (2019), ressaltam que a falta de dados na literatura para quantificar o sucesso das estratégias de reutilização de EEE é um problema significativo para iniciativas de prevenção à geração de REEE (COLE et al., 2019).

Em 2022, Aguiar et al. após analisarem qualitativamente 120 artigos, perceberam que a maioria dos artigos encontrados na literatura sobre estratégias de prevenção de resíduos associadas ao *design* de produto se dá a partir de 2017 e recomendaram que outras abordagens de *design* de produto fossem pesquisadas, como a padronização de EEE, integrando modelos de negócios circulares (AGUIAR et al., 2022).

Nessa mesma linha, Vries et al. (2018) afirmam que a padronização de componentes de EEE poderia representar uma ferramenta valiosa para acelerar a transição para modelos de produção e consumo mais sustentáveis, porém, essa é uma área multidisciplinar pouco investigada (DE VRIES et al., 2018). Além disso, os autores destacam a falta de estudos científicos sobre o impacto dos padrões nas pequenas

e médias empresas e na sociedade, reforçando a necessidade de mais pesquisas nesse âmbito (DE VRIES et al., 2018).

Ainda em 2018, após uma extensa revisão de literatura que abrangeu mais de 157 artigos relacionados a EEE e REEE, Islam e Huda (2018) destacaram a falta de estudos direcionados a produtos específicos, como periféricos de Dispositivos Eletroeletrônicos Portáteis (DEP) (ISLAM; HUDA, 2018). Eles também observaram que a maioria das publicações sobre REEE e EEE tratava principalmente de questões econômicas, com poucos artigos abordando as dimensões sociais, ambientais e tecnológicas relacionadas à sustentabilidade (ISLAM; HUDA, 2018).

O exemplo dos padrões *Universal Serial Bus* (USB) ilustra como a compatibilidade de componentes de EEE pode contribuir significativamente para reduzir a variedade de equipamentos disponíveis no mercado, melhorando a conveniência para o consumidor, minimizando impactos ambientais negativos e incentivando uma economia mais sustentável (AHMAD; FERNANDES, 2020; CUCCHIETTI et al., 2011; EGYEDI; MUTO, 2012; EGYEDI, 2014; EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021a, b; RÉBAY, 2011; SCHISCHKE et al., 2017).

O primeiro Memorando de Entendimento (MoU) para padronização dos carregadores de telefones celulares entre indústria e União Europeia (UE) surgiu em 2009 e conseguiu padronizar 3/4 do mercado mundial para o padrão USB Micro-B possibilitando que todos os cabos dos carregadores fossem fabricados independentes das fontes de alimentação (EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021a, b).

A repercussão do MoU (2009) foi estudada por Egydi e Muto (2012), que analisaram as vantagens da padronização dos carregadores afirmando que seria interessante uma pesquisa futura com foco na padronização como uma forma de *ecodesign* (EGYEDI; MUTO, 2012). Os autores também alertaram a ausência de estudos sobre a potencialidade da padronização como estratégia “verde” para problemas de escassez de recursos no setor de fabricação de EEE (EGYEDI; MUTO, 2012).

Em estudo robusto realizado pela UE (2019), que utilizou como base várias entrevistas e pesquisas junto a associações, representantes, consumidores e fabricantes de *smartphones* e DEP, os autores afirmaram que foram encontradas poucas

informações sobre carregadores na literatura científica e que a maioria dos estudos encontrados se concentravam nos *smartphones*, mas esqueciam de abordar os diversos impactos relacionados aos carregadores destes dispositivos (EUROPEAN COMMISSION, 2019). Outra afirmação é que a literatura que explora a relação entre instrumentos regulatórios e inovação é escassa e inconclusiva, tendo poucos estudos direcionados, de forma significativa, à distinção entre padronização e o consequente impacto sobre a inovação (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

Em 2021, devido à falta de acordo com os representantes da indústria em relação à adoção de um carregador universal para Dispositivos Eletroeletrônicos Portáteis (DEP), incluindo *smartphones*, a Comissão Europeia propôs uma Diretiva para a União Europeia, que exige que os fabricantes utilizem o padrão internacional USB Tipo-C em DEP vendidos em seu território (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b). Essa Diretiva foi aprovada pelo Parlamento Europeu no dia 04 de outubro de 2022.

Assim, até o final de 2024, todos os novos DEP, incluindo *smartphones*, *tablets*, câmaras digitais, fones de ouvido, caixas de som portáteis, videogames portáteis, leitores digitais e outros dispositivos semelhantes, com até 100W de potência, vendidos na UE, terão que adotar obrigatoriamente o padrão USB Tipo-C em seus conectores, sendo que a partir de 2026, esta obrigação também se estenderá a laptops (EUROPEAN COMMISSION, 2021a).

Diante do exposto, considerando o aumento da geração de REEE em decorrência da demanda crescente de produção de DEP, e ainda, considerando as diversas lacunas identificadas que apontam para os potenciais benefícios da padronização dos carregadores de DEP como estratégia de não-geração e redução da geração de REEE, pergunta-se: Quais são os principais elementos que influenciam na tomada de decisão para padronização de componentes de DEP, como carregadores?

O presente estudo teve como objetivo identificar os principais elementos que influenciam na padronização dos carregadores de DEP e sistematiza-los usando as categorias PESTEL (política, econômica, social, tecnológica, ambiental e legal), como foco de estratégias de não-geração e redução da geração de REEE.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta revisão bibliográfica são abordados os principais impactos ambientais relacionados aos EEE, a busca recente por uma economia circular e sustentável, e por fim, os problemas relacionados a inovação e a obsolescência de EEE.

2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS DOS EEE

O elevado consumo de EEE incentivado pelo avanço tecnológico e melhoria da qualidade de vida da população gera emissões de GEE, escassez de recursos naturais e um volume considerável de REEE acarretando em impactos significativos ao meio ambiente, sendo fundamental tornar a produção e o consumo de EEE mais sustentáveis, desde o projeto do produto até o fim da vida útil (BRITISH STANDARDS, 2017; FORTI et al., 2020; HU et al., 2023; PARAJULY et al., 2019; SHITTU; WILLIAMS; SHAW, 2021; VAN DE POEL, 2017; WOJNAROWSKA; SOŁTYSIK; PRUSAK, 2021; XAVIER et al., 2021; XAVIER; OTTONI; LEPAWSKY, 2021).

Estima-se que a população mundial em 2030 atinja mais de 8 bilhões de pessoas e até 2050 de 9 bilhões de pessoas, aumentando ainda mais a demanda por EEE e a competição por recursos naturais, agravando cada vez mais a degradação ambiental e os consequentes problemas socioambientais relacionados às mudanças climáticas (AFFAIRS, 2022; BRITISH STANDARDS, 2017).

Desde a revolução industrial, o desenvolvimento econômico no mundo se baseia na produção linear caracterizado pela extração de matéria prima, produção de produtos manufaturados, distribuição e venda destes produtos no mercado, consumo e consequente descarte, na maioria das vezes inadequado (BALKENENDE; BAKKER, 2015; PARAJULY et al., 2019; VAN DE POEL, 2017).

Affairs (2022), afirma que se o sistema de produção atual não adotar políticas buscando a sustentabilidade do planeta, através de uma economia mais circular e estratégias de prevenção a geração de resíduos, não haverá garantias de sobrevivência para gerações atuais e futuras (AFFAIRS, 2022).

Desta forma, nos dois próximos subtítulos, serão abordados especificamente os problemas associados a demanda crescente por matéria-prima para fabricação de

EEE e os problemas associados a geração de REEE, por serem os dois impactos ambientais mais relevantes identificados nesta revisão bibliográfica sobre EEE.

2.1.1 Problemas associados a demanda crescente por matéria-prima

Estimasse que aproximadamente 3/4 das emissões de GEE relacionados ao ciclo de vida de EEE e seus acessórios ocorrem nas etapas da extração da matéria-prima e produção destes equipamentos, sendo que a maior parte destas emissões é atribuída ao consumo de água e energia necessários para mineração e para fabricação de componentes complexos, como *displays*, baterias e circuitos de EEE (EUROPEAN COMMISSION, 2019; JUCHNESKI; ANTUNES, 2022; LEAL et al., 2020; O'CONNOR et al., 2016; PAMMINGER; GLASER; WIMMER, 2021; PARAJULY et al., 2019; PROSKE, 2022; PROSKE; JAEGER-ERBEN, 2019; RÉBAY, 2011; ROMARE et al., 2021; SCHISCHKE et al., 2017; SUCKLING; LEE, 2015).

Além disso, muitos destes EEE disponíveis atualmente no mercado, como DEP complexos, demandam recursos críticos, de difícil substituição e extremamente escassos na natureza como ouro, germânio, índio, lítio, tântalo e elementos terras raras (COLE et al., 2019; FORTI et al., 2020; JUCHNESKI; ANTUNES, 2022; LEAL et al., 2020; O'CONNOR et al., 2016; XAVIER et al., 2021).

Alternativas como a reciclagem conseguem atenuar de 10 a 20% das emissões de GEE relacionados à mineração de recursos primários, caso 100% dos EEE fossem reciclados (SCHISCHKE et al., 2017). Entretanto, segundo os autores, por uma questão de viabilidade técnica e econômica, esta compensação está muito longe de ser alcançada. O fato é que o percentual de reciclagem de REEE no mundo não tem sido suficiente para atender a demanda crescente da indústria por matéria-prima (FORTI et al., 2020).

Apesar das taxas de coleta de REEE para reciclagem serem relativamente altas em países desenvolvidos (35% na UE e 22% nos EUA) (PARAJULY et al., 2019), essas taxas nos países em desenvolvimento são muito baixas (3% no Brasil) (GREEN ELETRON, 2021). Segundo Affairs (2022), isso ocorre devido à carência de infraestrutura logística e de processamento de materiais para atender o volume de resíduos gerados (AFFAIRS, 2022).

Alguns autores como Gallakota, Gautam e Shu (2020) e Cole (2019) afirmam que a reciclagem de REEE, para ser economicamente viável, precisa ser realizada de forma

abrangente, para recuperar o máximo de recursos possíveis, evitando o foco na reciclagem somente de elementos específicos (COLE et al., 2019; GOLLAKOTA; GAUTAM; SHU, 2020). Porém, os processos atualmente adotados para reciclagem em escala comercial, utilizando a combinação de processos mecânicos, térmicos e químicos, ainda não recupera todos os elementos químicos valiosos e escassos (BALKENENDE; BAKKER, 2015; BISSCHOP; HENDLIN; JASPERS, 2022; COLE et al., 2019; PROSKE, 2022; TALENS PEIRÓ; ARDENTE; MATHIEUX, 2017).

Além disso, os incentivos para recuperação de materiais secundários dependem do preço de mercado das commodities, das políticas e regulamentos adotados em cada país e de mecanismos fiscais efetivos que beneficiem as indústrias de reciclagem e as estratégias de prevenção a geração de resíduos (DALHAMMAR, 2016; MAITRE-EKERN, 2021; TECCHIO et al., 2017).

Por estes motivos, devido à curta vida dos EEE e seus periféricos, por obsolescência ou defeito, muitos autores afirmam que é necessário o desenvolvimento de estratégias que promovam a durabilidade destes equipamentos, mitigando possíveis impactos ambientais derivados da mineração de recursos naturais primários e minimizando a geração de REEE (BEDFORD et al., 2022; BISSCHOP; HENDLIN; JASPERS, 2022; BRITISH STANDARDS, 2017; EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN PARLIAMENT, 2009; O'CONNOR et al., 2016; WOJNAROWSKA; SOŁTYSIK; PRUSAK, 2021).

2.1.2 Problemas associados a geração de REEE

Um desafio complexo e amplamente discutido na literatura científica é a gestão do volume crescente de REEE no mundo, visto que a produção, o consumo e o descarte de EEE, da forma que ocorre atualmente, são insustentáveis (AHIRWAR; TRIPATHI, 2021; COLE et al., 2019; FORTI et al., 2020; ISLAM et al., 2021; ISLAM; HUDA, 2018; PARAJULY et al., 2019). Segundo o *The Global e-waste Monitor* de 2020, foram gerados no mundo 53,6 milhões de toneladas de REEE em 2019 e a previsão é que sejam gerados 74,7 milhões de toneladas em 2030 (FORTI, 2020).

Países desenvolvidos como a Noruega geram em média 28,5kg de REEE por pessoa por ano, enquanto países africanos produzem apenas 2kg por pessoa por ano (PARAJULY et al., 2019). O americano médio consome em média 17 vezes mais EEE

do que seu equivalente mexicano e centenas de vezes mais que o cidadão do Congo, demonstrando a diferença do consumo de tecnologia eletroeletrônica entre países desenvolvidos e em desenvolvimento (VAN DE POEL, 2017).

Outro fator é que muitos REEE contêm vários elementos contendo aditivos tóxicos ou substâncias perigosas, como chumbo, mercúrio, retardadores de chama bromados (BFR) e clorofluorcarbonos (CFCs) ou hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) que quando descartados ou manejados incorretamente, representam riscos significativos para o meio ambiente e para a saúde humana (FORTI et al., 2020; SHITTU; WILLIAMS; SHAW, 2021). Para se ter uma ideia, um total de 50 toneladas de mercúrio e 71.000 toneladas de plásticos BFR são encontrados em fluxos não documentados de REEE anualmente no mundo (FORTI et al., 2020).

Diante dos dois problemas apresentados, a demanda crescente por matéria-prima para fabricação de EEE e os problemas associados a geração de REEE, é necessário uma transição para uma economia circular e sustentável que exija menos produção e menos consumo, principalmente de empresas nas etapas de mineração e produção de EEE (MAITRE-EKERN, 2021; SONEGO; ECHEVESTE; DEBARBA, 2022).

Essa transição é extremamente relevante para produtos que apresentam ciclos rápidos de inovação e substituição, como os DEP, e que consomem muitos recursos naturais escassos, gerando uma quantidade exorbitante de REEE complexos para serem reciclados (JUCHNESKI; ANTUNES, 2022).

DEP com perfis de carregamento semelhantes aos dos *smartphones*, por exemplo, somam quase 260 milhões de unidades de EEE vendidas em 2018, isso somente na UE (EUROPEAN COMMISSION, 2019). Com relação aos carregadores destes dispositivos, há poucas informações específicas sobre os impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida destes equipamentos, tanto na literatura quanto em documentos publicados por fabricantes (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

2.2 A BUSCA POR UMA ECONOMIA CIRCULAR E SUSTENTÁVEL

O conceito de economia circular envolve todo o ciclo de vida dos produtos, desde o projeto até a gestão dos resíduos, buscando estratégias de não-geração, prevenção e reutilização de produtos para o reaproveitamento de recursos, componentes e

materiais, sempre pensando na sustentabilidade dos recursos naturais e mecanismos de produção a longo prazo, potencializando ciclos econômicos mais resilientes que não comprometam gerações futuras (BRASIL, 2010; BRITISH STANDARDS, 2017; DIAZ et al., 2021; EUROPEAN PARLIAMENT, 2009; JUCHNESKI; ANTUNES, 2022; MAITRE-EKERN, 2021; SONEGO; ECHEVESTE; DEBARBA, 2022; TECCHIO et al., 2017; VAN DE POEL, 2017; XAVIER; OTTONI; LEPAWSKY, 2021).

Vários autores afirmam que materiais e recursos deveriam permanecer na economia o maior tempo possível através de estratégias de não-geração, redução e reutilização sendo estes requisitos fundamentais para promoção do consumo sustentável e direcionamento para uma economia circular mais efetiva (BALKENENDE; BAKKER, 2015; BRITISH STANDARDS, 2017; DIAZ et al., 2021; EUROPEAN PARLIAMENT, 2018; FOFU; JIANG; WANG, 2021; FORTI et al., 2020; HAZELWOOD; PECHT, 2021; JUCHNESKI; ANTUNES, 2022; MAITRE-EKERN, 2021; MESA et al., 2022; PAMMINGER; GLASER; WIMMER, 2021; POLVERINI, 2021; SUCKLING; LEE, 2015; TECCHIO et al., 2018; XAVIER et al., 2021).

Assim, nos três próximos subtítulos são apresentados um breve histórico legislativo sobre a economia circular de EEE, principalmente na UE, as iniciativas empreendedoras voltadas para economia circular como o reparo e a remanufatura e as vantagens da padronização de componentes de EEE como estratégia de antecipação à geração de resíduos.

2.2.1 Breve histórico legislativo sobre Economia Circular dos EEE

Na década de 1970, a Diretiva-Quadro de Resíduos (75/442/EEC) introduziu pela primeira vez a definição de resíduo, hierarquia de manejo de resíduos e estratégias destinadas a prevenir os impactos nocivos dos resíduos na saúde humana e no meio ambiente (COLE et al., 2019). Em muitas legislações sobre gestão de resíduos sólidos, a hierarquia do manejo dos resíduos é formada pelas estratégias de não-geração (prevenção), redução, reutilização, reciclagem, outros tipos de valorização como a incineração, o tratamento de resíduos e por último a eliminação/disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010, 2022; EUROPEAN PARLIAMENT, 2018).

Muitos países, incluindo a União Europeia (UE), tem buscado regulamentar estratégias antecipativas de não-geração, redução e reutilização de EEE a fim de mitigar a extração de recursos naturais, evitar a geração de REEE e reduzir a quantidade de GEEE emitidos na atmosfera (BRASIL, 2010, 2022; EUROPEAN COMMISSION, 2020; FORTI et al., 2020; MESA et al., 2022; PARAJULY et al., 2019).

Apesar disso, em 2019, apenas 78 dos 193 países do mundo estavam cobertos por uma legislação nacional sobre gerenciamento de REEE, o que equivale a 71% da população mundial (FORTI et al., 2020). Este número era de 61 países em 2014, demonstrando que nos últimos anos esta estatística tem evoluído, entretanto, a falta de motivação política e investimentos em países em desenvolvimento acabam atrasando os avanços legislativos e iniciativas voltadas para uma economia circular efetiva (FORTI et al., 2020).

A Europa está na vanguarda do fluxo de pesquisa sobre REEE desde o início dos anos 2000, graças à introdução da primeira versão da Diretiva REEE em 2002, sendo esta legislação exemplo para outros regulamentos implementados ao redor do mundo (BRESSANELLI et al., 2020; COLE et al., 2019; EUROPEAN PARLIAMENT, 2018; GOLLAKOTA; GAUTAM; SHU, 2020; PARAJULY et al., 2019).

O continente também tem sido o principal centro de estudos sobre *design* de produto circular no mundo, principalmente Suécia, Holanda, Reino Unido e Dinamarca, envolvendo *design* para reciclagem, facilidade de manutenção e reparo de produtos, reutilização, desmontagem, durabilidade e remanufatura com foco no *ecodesign* de produtos eletroeletrônicos (AGUIAR et al., 2022).

A Diretiva Europeia sobre REEE, de 2003, foi a primeira legislação específica para REEE com detalhes técnicos sobre metas de coleta e reciclagem e responsabilização do produtor pelos resíduos gerados; a Diretiva de Restrição de Substâncias Perigosas do mesmo ano proibiu o uso de produtos químicos perigosos na fabricação de EEE; a iniciativa *Resource Efficient Europe "Flagship"* da Comissão Europeia (CE), de 2011, e o Plano de Ação para a Economia Circular, de 2015, detalham os desafios do uso de recursos em EEE (PARAJULY et al., 2019).

Entretanto, políticas, legislações, regulamentos e ciclos de vida relacionados a EEE acabam se concentrando apenas em estratégias remediativas de gerenciamento de

resíduos, indo na contramão das estratégias preventivas e fundamentais para a economia circular (AGUIAR et al., 2022; ALTHAF; BABBITT; CHEN, 2021; BRESSANELLI et al., 2020; BRITISH STANDARDS, 2017; COLE et al., 2019; FORTI et al., 2020; SUCKLING; LEE, 2015). Maitre-Ekern (2021) afirma que não é surpresa que tomadores de decisão tentem primeiro adaptar a economia linear, através de processos de reciclagem, e tentem associar a gestão de resíduos como elemento central da economia circular (MAITRE-EKERN, 2021).

A durabilidade de DEP, proporcionada pela padronização e modularidade de peças e componentes, e o consequente incentivo ao reparo e a remanufatura, são exemplos de estratégias de prevenção a geração de REEE fundamentais para o estabelecimento de uma economia circular efetiva (COLE et al., 2019; CORDELLA et al., 2021; CORDOVA-PIZARRO et al., 2020; DIAZ et al., 2021; EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN PARLIAMENT, 2009, 2018; FOFU; JIANG; WANG, 2021; KHAN et al., 2018; MAITRE-EKERN, 2021; MESA et al., 2022; POLVERINI, 2021).

2.2.2 O empreendedorismo, o reparo e a remanufatura de EEE

Empresas de pequeno e médio portes, com propostas disruptivas e inovadoras, como *startups*, têm um papel fundamental no desenvolvimento econômico de um país, sendo capazes de reagir de forma rápida e eficiente às mudanças do mercado (VAN DE POEL, 2017). Estas *startups* também possuem maior capacidade de distribuição dos rendimentos comparado às grandes empresas, gerando mais empregos e de forma mais descentralizada (COLE et al., 2019; VAN DE POEL, 2017; XAVIER et al., 2021). Muitas destas empresas têm como princípio a economia circular, explorando nichos de mercado inexistentes ou pouco consolidados, sendo este um fator de competitividade fundamental a longo prazo (BRITISH STANDARDS, 2017).

A inovação voltada para estratégias de economia circular pode otimizar linhas de produção, estratégias de reciclagem e reutilização de produtos e componentes, criando nichos de mercado e modelos de negócio setoriais específicos como empresas de reparo, locação e venda de produtos usados ou remanufaturados, ajudando a prolongar a vida útil de produtos e recuperação de materiais secundários (BALKENENDE; BAKKER, 2015; BRITISH STANDARDS, 2017; EUROPEAN COMMISSION, 2021a; PARAJULY et al., 2019; TECCHIO et al., 2017; XAVIER et al., 2021).

Materiais valiosos, por exemplo, podem ser recuperados de REEE, gerando modelos de negócio direcionados à mineração urbana, promovendo a recuperação de matérias-primas secundárias (EGYEDI; MUTO, 2012; XAVIER et al., 2021). Outro exemplo de iniciativa empreendedora benéfica para o meio ambiente, evitando a geração de REEE, é a recuperação destes equipamentos, através de estratégias como o reparo e a remanufatura de DEP (HAZELWOOD; PECHT, 2021).

O mercado de *smartphones* remanufaturados, por exemplo, teve um crescimento significativo de 2010 a 2020 devido à busca dos consumidores por produtos mais baratos (HAZELWOOD; PECHT, 2021). Muitas empresas de reparo foram abertas no mesmo período focadas principalmente no conserto de *smartphones* (PROSKE, 2022).

A Suécia tem oferecido isenções fiscais para empresas de reparo de EEE buscando prolongar a vida útil de produtos e incentivar consumidores a consertar seus equipamentos, mantendo o dinheiro circulando na economia local ao invés de adquirir novos produtos importados (BISSCHOP; HENDLIN; JASPERS, 2022).

Requisitos relacionados à disponibilidade de peças de reposição de EEE para reparo e capacidade de renovação destes equipamentos estão cada vez mais inseridos em regulamentos voltados para o *ecodesign* (POLVERINI, 2021). Entretanto, empresas evitam divulgar informações sobre o reparo de seus produtos, não projetam produtos desmontáveis e não disponibilizam peças de reposição para empresas de reparo, limitando consideravelmente a prestação de serviços voltados para economia circular (PROSKE, 2022; SONEGO; ECHEVESTE; DEBARBA, 2022). Svensson-Hoglund et al. (2021) sustentam que este tipo de estratégia acaba prejudicando e restringindo o mercado de reparo e remanufatura de EEE (SVENSSON-HOGLUND et al., 2021).

Esta estratégia ocorre porque produtos remanufaturados, ou até mesmo reparados, concorrem diretamente com produtos novos, impactando o lucro de fabricantes e sua participação no mercado consumidor (BRITISH STANDARDS, 2017; SONEGO; ECHEVESTE; DEBARBA, 2022; SVENSSON-HOGLUND et al., 2021). Outro problema é que o compartilhamento de informações entre fabricantes e prestadores de serviço também pode promover a engenharia reversa de EEE, intensificando falsificações, principalmente de peças para reparo e remanufatura relacionadas ao pós-venda (DALHAMMAR, 2016; DIAZ et al., 2021; VAN DE POEL, 2017).

Outros fatores que acabam prejudicando significativamente o surgimento de novos negócios direcionados ao reparo e remanufatura de EEE é a falta de disponibilidade ou acessibilidade à prestadores de serviço especializados, o tempo de espera para execução de serviços de reparo, os custos elevados com mão-de-obra em comparação à aquisição de novos produtos e a depreciação e obsolescência de EEE usados, ocasionados por fatores culturais e socioeconômicos (BRITISH STANDARDS, 2017; COLE et al., 2019; DALHAMMAR, 2016; FOFU; JIANG; WANG, 2021; KHAN et al., 2018; RIZOS; BRYHN, 2022; SONEGO; ECHEVESTE; DEBARBA, 2022).

Esses problemas apresentados poderiam ser mitigados através da adoção de padrões universais em EEE, facilitando a desmontagem e substituição de peças e componentes, reduzindo custos e diversificando a quantidade de fornecedores para um mesmo equipamento (EGYEDI; MUTO, 2012; EGYEDI, T. M.; ORTT, 2017).

2.2.3 Vantagens e desvantagens da padronização de componentes EEE

Os padrões são um conjunto de diretrizes e regras documentadas que buscam instruir e facilitar o desenvolvimento de produtos, assim como EEE, podendo abordar vários requisitos como especificações técnicas, de segurança, de qualidade, de desempenho e ambientais (EGYEDI; MUTO, 2012; EGYEDI, T. M.; ORTT, 2017; EUROPEAN COMMISSION, 2009; ORTT; EGYEDI, 2013, 2014; TECCHIO et al., 2017, 2018). Eles podem fornecer informações relevantes para pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias, permitindo descrever, quantificar e avaliar características de determinado produto, estabelecendo requisitos a serem cumpridos e eliminando possíveis incertezas de *stakeholders* e do mercado (EGYEDI, T. M.; ORTT, 2017; EGYEDI, T. M.; WIDLAK, 2019).

Os padrões garantem a compatibilidade, a confiabilidade, a continuidade e a solidez de tecnologias, permitindo o compartilhamento de informações e especificações técnicas entre fabricantes, evitando o monopólio de empresas que possuem maior capacidade de investimento em tecnologia e inovação, garantindo assim a transparência do mercado consumidor e a redução dos custos de linhas de produção (EGYEDI; MUTO, 2012; EGYEDI, 2014; EGYEDI, T. M.; WIDLAK, 2019; EUROPEAN COMMISSION, 2019; ORTT; EGYEDI, 2013, 2014; TECCHIO et al., 2018).

Muitos equipamentos como impressoras, copiadoras, encadernadoras, fax e escâneres, por exemplo, foram desenvolvidos a partir da padronização do formato A4 de papel, extremamente difundido e consolidado (EGYEDI; MUTO, 2012). Outro exemplo são os contêineres, de 20 e 40 pés, que influenciaram diretamente a padronização dos meios de transportes, criando um efeito de compatibilidade em cascata que reduz custos da economia linear (EGYEDI, T. M.; ORTT, 2017).

Dalhammar (2016) informa que os padrões devem ser específicos, permitindo uma interpretação única por fabricantes e organismos responsáveis pela avaliação da conformidade e fiscalização de produtos (DALHAMMAR, 2016). O autor ainda afirma que as indústrias geralmente tem sido mais receptivas às estratégias de durabilidade com foco na padronização da qualidade do produto, eliminando produtos inferiores do mercado, do que às estratégias de *ecodesign* que buscam a reparabilidade de produtos com defeito (DALHAMMAR, 2016).

Entretanto, vários autores sustentam que a padronização de componentes de EEE pode afetar o surgimento de novas tecnologias incrementais, sobrando espaço apenas para inovações disruptivas que nem sempre são as mais adequadas para o avanço tecnológico (EGYEDI, T. M.; WIDLAK, 2019; ORTT; EGYEDI, 2014; RÉBAY, 2011). A padronização de componentes de EEE precipitada pode adotar uma tecnologia ineficiente ou estagnar uma tecnologia prematura com potencial de desenvolvimento tecnológico (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

A padronização dos carregadores de DEP, por exemplo, envolve: o *design* de conectores e receptáculos; protocolos de carregamento e transferência de dados; modularidade entre cabos, carregadores e dispositivos; venda casada de dispositivos e carregadores; e informações sobre segurança e compatibilidade entre EEE (EUROPEAN COMMISSION, 2021b; TREFFERS, 2015).

Proske e Jaeger-Erben (2019) afirmam que um *smartphone* modular, com peças e componentes padronizados, na qual vários *stakeholders* possam projetar, produzir e vender componentes, é mais resistente ao fracasso do que o desenvolvimento de projetos individuais por diferentes fabricantes (PROSKE; JAEGER-ERBEN, 2019).

2.3 A INOVAÇÃO E A OBSOLESCÊNCIA

A inovação e o desenvolvimento de novos produtos é essencial para o crescimento econômico e sobrevivência das indústrias a longo prazo, principalmente em indústrias de EEE, como DEP, cujo mercado possui pressão competitiva entre *stakeholders*, produção em escala linear acentuada, variedade de dispositivos com funcionalidades semelhantes e dispendioso volume de investimentos em pesquisas e desenvolvimento tecnológico (BEDFORD et al., 2022; VAN DE POEL, 2017; XAVIER; OTTONI; LEPAWSKY, 2021). Estas empresas competem em um mercado aberto e globalizado com rápidas mudanças tecnológicas atendendo diferentes desejos dos consumidores (VAN DE POEL, 2017).

2.3.1 A inovação radical e a inovação incremental

O conceito de inovação pode seguir dois caminhos distintos: a inovação radical, baseada na criação de bens e serviços totalmente novos; ou a inovação incremental, baseada no aperfeiçoamento de bens e serviços já existentes (BRITISH STANDARDS, 2017; ORTT; EGYEDI, 2013; VAN DE POEL, 2017).

Muitas empresas, dependendo da capacidade tecnológica instalada e dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento aplicados, evitam adotar a inovação radical em seus produtos por haver muitas incertezas técnicas, de mercado, organizacionais e de recursos envolvidos (VAN DE POEL, 2017). A inovação incremental, por outro lado, segue um processo estruturado e previsível, demandando menor investimento por parte das empresas (VAN DE POEL, 2017).

A escolha entre a inovação radical ou incremental depende necessariamente das características do ciclo de vida do produto e da maturidade de comercialização deste produto no mercado, passando pelas fases de introdução, crescimento, estabilização, obsolescência e descontinuação (VAN DE POEL, 2017). Alguns produtos podem levar séculos para adotarem inovações radicais, enquanto outros, como os DEP e seus periféricos, podem adotar inovações radicais em poucos anos (ORTT; EGYEDI, 2013, 2014).

O exemplo dos telefones celulares e *smartphones* demonstra como inovações incrementais e radicais podem coexistir no desenvolvimento tecnológico de novos produtos. Desde a década de 1980, estes dispositivos passaram por várias melhorias

como redução do peso de 1,4 quilos para aproximadamente 100 gramas, eficiência energética das baterias, redução do uso de materiais tóxicos, desenvolvimento de novos *softwares* e acúmulo de funções de outros DEP (ROMARE et al., 2021).

Fabricantes entrevistados em estudo realizado pela Comissão Europeia em 2018 afirmam que inovações tecnológicas em DEP geralmente são implementadas primeiro em dispositivos com maior valor de mercado, mais sofisticados, como *smartphones* de primeira linha, para depois serem aplicadas em dispositivos mais simples e populares (EUROPEAN COMMISSION, 2019). Os *smartwatches*, por exemplo, tornaram-se cada vez mais populares após o lançamento do Apple Watch a partir de 2015, influenciando na fabricação de produtos similares e mais populares ao longo do tempo, como os *wearables* (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Fabricantes de *smartphones* como Qualcomm, Oppo, Huawei e Apple interpretam o desenvolvimento de novas tecnologias como vantagens competitivas que geram benefícios comerciais, reserva de mercado e *royalties* (EUROPEAN COMMISSION, 2021b). Alguns destes diferenciais para *smartphones*, por exemplo, podem estar em câmeras de melhor qualidade, telas com maior resolução, tecnologias 5G, maior capacidade de processamento e memória dos DEP, qualidade dos materiais e velocidade de carregamento das Fontes de Alimentação Externa (EPS) (EUROPEAN COMMISSION, 2021b; JUCHNESKI; ANTUNES, 2022).

A fabricante Apple, mesmo tendo 18% do mercado da UE em unidades vendidas de DEP em 2020, sendo 50% destas vendas relacionadas a *smartphones*, investiu aproximadamente 18 bilhões de dólares em pesquisa e desenvolvimento de novos dispositivos somente naquele ano (EUROPEAN COMMISSION, 2021b). A fabricante Huawei, que tinha 22% do mercado de *smartphones* em 2018 e 2019, também investe consistentemente no desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas a DEP e seus periféricos (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Os *smartphones* e *tablets*, por exemplo, tem acumulado as funções dos videogames portáteis e leitores digitais, forçando fabricantes como Nintendo e Sony a descontinuarem alguns de seus produtos por falta de demanda do mercado consumidor (EUROPEAN COMMISSION, 2021b). Esse acúmulo de funções em um mesmo dispositivo associado a miniaturização tem contribuído para a obsolescência e

substituição de DEP com funcionalidades limitadas, acelerando o surgimento de novas tecnologias e consequente geração de REEE (SHITTU; WILLIAMS; SHAW, 2021).

2.3.2 A obsolescência de EEE

A sustentabilidade econômica e sobrevivência de muitos fabricantes EEE está diretamente atrelada a estratégias de obsolescência, incentivadas principalmente pelo fluxo da economia linear e consequente fabricação e lançamento de novos produtos eletroeletrônicos que estimulam o consumismo (BISSCHOP; HENDLIN; JASPERS, 2022; BRIDGENS et al., 2019; BRITISH STANDARDS, 2017; EGYEDI; MUTO, 2012; KHAN et al., 2018; PROSKE; JAEGER-ERBEN, 2019; SVENSSON-HOGLUND et al., 2021).

Entretanto, apesar dos benefícios econômicos a curto prazo destas estratégias para as empresas fabricantes, a rápida obsolescência tem acelerado a geração de REEE causando danos ambientais a médio e longo prazo (BEDFORD et al., 2022; BISSCHOP; HENDLIN; JASPERS, 2022; CORDOVA-PIZARRO et al., 2020; EGYEDI; MUTO, 2012; KHAN et al., 2018; MESA et al., 2022; PARAJULY et al., 2019; PROSKE; JAEGER-ERBEN, 2019; SHITTU; WILLIAMS; SHAW, 2021; XAVIER et al., 2021; XAVIER; OTTONI; LEPAWSKY, 2021).

A obsolescência pode ser definida como a limitação da vida útil de um determinado produto, deixando-o obsoleto de forma prematura, incentivando assim o consumo de novos produtos (BEDFORD et al., 2022; BISSCHOP; HENDLIN; JASPERS, 2022; PARAJULY et al., 2019; PROSKE; JAEGER-ERBEN, 2019; SHITTU; WILLIAMS; SHAW, 2021; XAVIER; OTTONI; LEPAWSKY, 2021). Essa obsolescência é constantemente utilizada no mercado de DEP através da atualização de modelos, *hardwares* e *softwares* de novos dispositivos que muitas vezes são incompatíveis com as gerações de dispositivos anteriores (BISSCHOP; HENDLIN; JASPERS, 2022; BRIDGENS et al., 2019; EGYEDI; MUTO, 2012; KHAN et al., 2018; PARAJULY et al., 2019; PROSKE, 2022; SCHISCHKE et al., 2017; SUCKLING; LEE, 2015).

A obsolescência pode ser dividida em obsolescência psicológica, quando consumidores substituem EEE ainda em funcionamento, por preocupações estéticas ou por *status* social; e obsolescência física, quando as funcionalidades do EEE não atendem mais as

expectativas do consumidor, por incompatibilidade de *hardware* ou *software* (BISSCHOP; HENDLIN; JASPERS, 2022; PARAJULY et al., 2019; PROSKE; JAEGER-ERBEN, 2019; SHITTU; WILLIAMS; SHAW, 2021).

No primeiro caso, as inovações nos produtos são na maioria das vezes incrementais, com pequenas melhorias, muitas vezes imperceptíveis e superficiais, buscando criar um desejo de curta duração no consumidor para incentivar a compra de novos dispositivos (BISSCHOP; HENDLIN; JASPERS, 2022; CORDOVA-PIZARRO et al., 2020; PROSKE; JAEGER-ERBEN, 2019; RIZOS; BRYHN, 2022; SCHISCHKE et al., 2017; SONEGO; ECHEVESTE; DEBARBA, 2022).

Já no segundo caso, as mudanças são mais radicais, com alterações nos padrões de conectores e protocolos de transferência de dados, lançamento de novas tecnologias de *hardware* e atualizações de *softwares* incompatíveis com versões anteriores de dispositivos (BISSCHOP; HENDLIN; JASPERS, 2022; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2020; GOLLAKOTA; GAUTAM; SHU, 2020; PARAJULY et al., 2019; PROSKE; JAEGER-ERBEN, 2019).

Muitos fabricantes de DEP, por exemplo, limitam propositalmente a capacidade de reparo destes dispositivos, utilizando colas ou parafusos especiais que tornam economicamente inviável sua desmontagem (BEDFORD et al., 2022; BRIDGENS et al., 2019; EUROPEAN COMMISSION, 2020; PARAJULY et al., 2019). Outra tática utilizada na obsolescência é a perda da garantia do produto, caso este seja desmontado por uma empresa não autorizada pelo fabricante, sendo que o custo para o reparo na autorizada é quase o valor de um produto novo (SVENSSON-HOGLUND et al., 2021). Como consequência, a obsolescência tecnológica de muitos EEE tem se tornado mais rápida do que a fadiga do material utilizado na fabricação destes equipamentos (GOLLAKOTA; GAUTAM; SHU, 2020).

A verdade é que do ponto de vista legal, a obsolescência intencional promovida por fabricantes, na maioria das vezes, não é caracterizada como crime, sendo apenas interpretada como desvio ético e moral (BISSCHOP; HENDLIN; JASPERS, 2022).

Bisschop, Hendlin e Jaspers (2022) afirmam que o conceito de obsolescência quase nunca é citado explicitamente em legislações socioambientais direcionadas para uma

economia circular efetiva (BISSCHOP; HENDLIN; JASPERS, 2022). Os autores ainda afirmam que o poder público é o principal responsável pelo combate à obsolescência, implementando medidas de responsabilidade estendida do produtor e exigindo que fabricantes sejam responsáveis por todo o ciclo de vida dos EEE disponíveis no mercado (BISSCHOP; HENDLIN; JASPERS, 2022).

Atualmente há uma crescente demanda no mercado por produtos circulares e sustentáveis, reforçada por pressões sociais e legais, impactando diretamente na reputação das marcas que negligenciam fatores socioambientais e utilizam a obsolescência como estratégia de mercado (COLE et al., 2019; JUCHNESKI; ANTUNES, 2022; MESA et al., 2022; PARAJULY et al., 2019; VAN DE POEL, 2017).

Assim, para evitar a variedade de soluções tecnológicas disponíveis no mercado e a consequente obsolescência de produtos incompatíveis, com características e funcionalidades muito semelhantes, muitos *stakeholders* tem buscado ao longo do tempo a padronização de produtos e componentes EEE (EGYEDI; MUTO, 2012; EGYEDI, 2014). Esta estratégia para reduzir a obsolescência de DEP e acessórios possibilita que consumidores escolham diferentes produtos de diferentes fabricantes, porém compatíveis, aumentando assim concorrência no mercado de forma equilibrada e consequente redução do preço destes dispositivos ao consumidor final (EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2019).

No entanto, Egyedi e Muto (2012), Ortt, Egyedi (2013), Dalhamar (2016), De Vries et al. (2018), Bressanelli et al. (2020), Aguiar et al. (2022) e os dois estudos realizados pela União Europeia (2019, 2022) apontam que há carência de pesquisas científicas que abordem a padronização de EEE como estratégia antecipativas de não-geração e redução de REEE, principalmente em relação a DEP (AGUIAR et al., 2022; BRESSANELLI et al., 2020; DALHAMMAR, 2016; DE VRIES et al., 2018; EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b; ORTT; EGYEDI, 2013).

Aguiar et al. (2022) destacam que a maior parte dos artigos científicos que associam modificações no *design* de produto como estratégia de antecipação a geração de REEE se dá a partir de 2017 (AGUIAR et al., 2022). Cordova-Pizarro et al. (2020) ainda reforçam que estes estudos envolvendo DEP são quase que inexistentes em países da América-latina, como o Brasil (CORDOVA-PIZARRO et al., 2020).

Assim, a aprovação da Diretiva da União Europeia em 2022 que obriga o uso do padrão internacional USB Tipo-C em DEP vendidos naquele bloco econômico a partir de 2024 (EUROPEAN COMMISSION, 2021a) associada às diversas lacunas identificadas neste trabalho demonstram a importância de se realizar mais estudos sobre a padronização de acessórios de DEP como estratégia de antecipação a geração de REEE.

2.4 O HISTÓRICO DA PADRONIZAÇÃO DOS CARREGADORES DE DEP

Em junho de 2009, por solicitação da Comissão Europeia, os principais fabricantes de celulares concordaram em assinar um Memorando de Entendimento (MoU) voluntário para padronizar os carregadores de celulares vendidos na UE (EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b). Esta iniciativa buscou reduzir a variedade de tipos de conectores disponíveis no mercado, aumentar a compatibilidade de dispositivos e reduzir a obsolescência técnica precoce de carregadores, reduzindo assim a geração de REEE e aumentando a conveniência do consumidor (EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2021a, b).

A International Telecommunication Union (ITU) anunciou em 2009 que o *design* de conector USB Micro-B seria o mais apropriado como ponto de partida para um carregador universal (EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2021a; TECCHIO et al., 2017). As quatorze empresas que assinaram o MoU de 2009 com a UE foram a Apple, a Emblaze Mobile, a Huawei Technologies, a LG, a Motorola, a NEC, a Nokia, a Qualcomm, a Research in Motion, a Samsung, a Sony Ericsson, a TCT Mobiles, a Texas Instruments e a Atmel (EGYEDI; MUTO, 2012; RÉBAY, 2011). O uso de adaptadores também foi permitido para empresas que não adotassem o padrão USB Micro-B (EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2021b).

Apesar dos consumidores terem se frustrado com o fato de a CE não envolver os conectores de outros DEP além dos celulares, o MoU de 2009 conseguiu reduzir o número de conectores de trinta para apenas três modelos e permitiu a modularidade entre cabos e EPS, possibilitando a substituição destes acessórios de forma independente (EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2021a, b; RÉBAY, 2011). O padrão USB Micro-B passou a ser adotado por 3/4 dos carregadores de DEP disponíveis no mercado em 2018 e quase todos os EPS passaram a utilizar o padrão USB Tipo-A em seus receptáculos (EUROPEAN COMMISSION, 2019,

2021a, b). A exceção foi o padrão de conector Lightning, adotado pela fabricante Apple, que frustrou o MoU de 2009 e a consequente universalização dos modelos de carregadores (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b).

Após duas cartas de renovação, o MoU de 2009 acabou sendo expirando em 2014, testemunhando mudanças profundas no mercado de DEP (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b). Desde então, a CE tem buscado um acordo voluntário com *stakeholders* para padronização universal dos carregadores de DEP, não sendo encontrada nenhuma solução que fosse satisfatória tanto para as empresas quanto para a UE (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b).

Em março de 2018, após ampla discussão com *stakeholders*, representantes da indústria, responsáveis por 54% do mercado de *smartphones* vendidos na UE, elaboraram uma proposta de MoU, permitindo o uso de conectores proprietários até a migração definitiva dos DEP para os conectores USB Tipo-C (EUROPEAN COMMISSION, 2021a, b). A proposta foi mais uma vez rejeitada pela CE, já que esta comissão buscava a universalização total dos carregadores disponíveis para venda no mercado (EUROPEAN COMMISSION, 2021a, b).

Entre 2018 e 2019, a CE iniciou um estudo sobre o impacto da padronização dos carregadores de DEP e seus efeitos sobre a conveniência do consumidor e a redução da geração de REEE, proporcionada também pela venda separada de dispositivos e seus periféricos (EUROPEAN COMMISSION, 2021a, b). O estudo concluiu que apenas a padronização dos conectores não garantiria a compatibilidade universal dos carregadores, sendo necessário também a padronização obrigatória dos protocolos elétricos e de transferência de dados dos dispositivos (EUROPEAN COMMISSION, 2021a, b).

Em janeiro de 2020, o Parlamento Europeu publicou uma resolução que alertava sobre a urgência na padronização dos carregadores de *smartphones*, solicitando a CE uma medida legislativa impositiva para estabelecer um carregador universal, evitando assim o aumento da variedade de conectores e protocolos de carregamento disponíveis no mercado (EUROPEAN COMMISSION, 2021a, b). A solicitação também buscava evitar a venda casada de carregadores e DEP, reduzindo assim o

volume de itens fabricados e consequente geração de REEE (EUROPEAN COMMISSION, 2021a, b).

Em outubro do mesmo ano, a CE encomendou um estudo de avaliação de impacto a Ipsos e Trinomics, representando o consórcio liderado pela Economisti Associati, buscando fortalecer a base de evidências para uma possível proposta legislativa para padronização obrigatória dos carregadores de DEP (EUROPEAN COMMISSION, 2021a). Este estudo foi baseado em três outros estudos de apoio: um sobre o impacto da padronização em carregadores de *smartphones* e DEP semelhantes; um sobre o nível de maturidade dos carregadores com e sem fio; e um sobre o impacto da venda separada dos DEP e seus periféricos (EUROPEAN COMMISSION, 2021a).

Em janeiro de 2021, a Ipsos e Trinomics realizou uma pesquisa utilizando Ipsos Online Panels e coletou respostas de 5.010 entrevistados divididos igualmente entre os seis maiores Estados-Membros da UE (França, Alemanha, Itália, Polónia, Romênia e Espanha) (EUROPEAN COMMISSION, 2021a, b). Além dessa pesquisa, foram realizados entre maio de 2019 e abril de 2021 uma revisão documental e de literatura, uma análise de dados do mercado e um questionário com 121 *stakeholders* e 33 entrevistados (EUROPEAN COMMISSION, 2021b). Dos que contribuíram para a pesquisa, 84% estavam na UE sendo 31% cidadãos, 23% empresas privadas (fabricantes, distribuidores e varejistas), 23% autoridades públicas e 18% organizações da sociedade civil (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Em 23 de setembro de 2021, a CE apresentou uma proposta de Diretiva para o Parlamento Europeu buscando alterar a Diretiva 2014/53/UE, que aborda a padronização das legislações dos Estados-Membros sobre a disponibilização no mercado de equipamentos de rádio (EUROPEAN COMMISSION, 2021a). A proposta teve como objetivo padronizar os conectores e os protocolos de carregamento dos DEP, permitindo a expansão da compatibilidade dos carregadores para outros dispositivos além dos *smartphones* (EUROPEAN COMMISSION, 2021a). A proposta também buscou evitar a venda casada de carregadores e dispositivos, além de exigir que fabricantes informem aos consumidores as características técnicas e de compatibilidade destes periféricos (EUROPEAN COMMISSION, 2021a).

A Diretiva citada foi aprovada no dia 04 de outubro de 2022 obrigando todos os novos DEP, até o final de 2024, incluindo *smartphones*, *tablets*, câmaras digitais, fones de ouvido, caixas de som portáteis, videogames portáteis, leitores digitais e outros dispositivos semelhantes, com até 100W de potência, vendidos na UE, a adotar obrigatoriamente o padrão USB Tipo-C em seus conectores, sendo que a partir de 2026, esta obrigação também se estenderá a laptops (EUROPEAN COMMISSION, 2021a).

Iniciativas de padronização de carregadores de *smartphones* já foram realizadas no Brasil com os Projetos de Lei 5758/2013, 32-C/2015, 2643/2022 e 2799/2022, sendo todos recusados (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2013, 2015; SENADO FEDERAL, 2022a, b).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Identificar os principais elementos que influenciam na padronização dos carregadores de DEP e sistematiza-los usando a categorias PESTEL (política, econômica, social, tecnológica, ambiental e legal), como foco de estratégias de não-geração e redução da geração de REEE.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os principais elementos que influenciam na padronização de cabos, fontes de alimentação externa e conectores de DEP;
- Sistematizar nas categorias PESTEL os principais elementos que influenciam na padronização dos carregadores de DEP;
- Identificar como os elementos se relacionam em relação a falta de padronização.

4 METODOLOGIA

4.1 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho se enquadra na área de concentração de Saneamento Ambiental, na linha de pesquisa de Saneamento Ambiental e Saúde Pública, dentro do tema Gestão e Gerenciamento de Resíduos Eletroeletrônicos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (PPGES) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). O desenvolvimento do projeto foi realizado com o apoio do Laboratório de Gestão do Saneamento Ambiental (LAGESA). Trata-se de uma pesquisa exploratória, qualitativa, de natureza aplicada sobre a padronização de DEP e a consequente não-geração e redução de REEE.

4.2 REFERENCIAL METODOLÓGICO

4.2.1 Revisão Sistemática da Literatura

A revisão sistemática da literatura é uma metodologia de pesquisa que busca analisar e organizar as publicações sobre um determinado assunto, de forma pragmática, permitindo uma visão panorâmica sobre o tema estudado e sobre o material disponível pesquisado, seguindo um protocolo específico que pode ser reproduzido por outros pesquisadores (GALVÃO; RICARTE, 2019).

A seleção do portfólio bibliográfico envolve procedimentos tais como consultas em bases de dados, estratégias de busca, seleção e escolha dos documentos e publicações científicas, critérios de inclusão e exclusão adotados, processos de análise, limitações de cada publicação e limitações da própria pesquisa, todos de forma registrada e detalhada (GALVÃO; RICARTE, 2019).

Para realização das buscas em bases de dados são necessários, além de operadores booleanos, procedimentos específicos e detalhados, utilizando terminologias e sinônimos que apresentam relação com o problema de pesquisa estudado, os quais terão um impacto decisivo na qualidade dos resultados que se espera com a aplicação deste método de seleção de base de dados (GALVÃO; RICARTE, 2019).

Várias pesquisas relacionadas a REEE utilizaram a revisão sistemática da literatura como principal metodologia exploratória e qualitativa para coleta e análise de dados (AHIRWAR; TRIPATHI, 2021; DIAZ et al., 2021; ISLAM et al., 2021; ISLAM; HUDA, 2018; ISMAIL; HANAFIAH, 2020; PROSKE; JAEGER-ERBEN, 2019; SHITTU; WILLIAMS; SHAW, 2021; VLACHOKOSTAS; MICHAILEDOU; ACHILLAS, 2021). As principais ferramentas utilizadas para este tipo de revisão são a pesquisa bibliográfica e a pesquisa documental.

A pesquisa bibliográfica consiste na leitura, análise e interpretação da literatura acadêmica e científica disponível sobre o tema estudado, principalmente livros e artigos científicos (MAZUCATO et al., 2018). Já a pesquisa documental busca materiais que não receberam nenhum tipo de tratamento analítico podendo ser interpretado ou reinterpretado de acordo com os objetivos da pesquisa (PROVDANOV; FREITAS, 2013). Relatórios de pesquisa, relatórios de empresas e tabelas estatísticas são exemplos de fontes consideradas como documentos (PROVDANOV; FREITAS, 2013).

Independentemente do tipo de pesquisa adotado, todo material coletado na revisão sistemática da literatura deve ser avaliado pelo pesquisador, preferencialmente por pares, para verificar a originalidade e a consistência dos dados, sendo que estes materiais devem ser sistematizados, permitindo que outros pesquisadores repitam o procedimento metodológico utilizado (GALVÃO; RICARTE, 2019).

4.2.2 Análise PESTEL

A análise PESTEL, cuja sigla se resume às categorias Político, Econômico, Social, Tecnológico, Ambiental e Legal formatadas em uma matriz, é uma ferramenta analítica que ajuda a identificar elementos relevantes que devem ser considerados na análise de um problema. Tal ferramenta possibilita um panorama geral de um determinado contexto, considerando várias perspectivas, identificando possíveis tendências e impactos que podem afetar as tomadas de decisão (AGYEKUM et al., 2021; TANYA, SAMMUT-BONNICI; GALEA, 2019; THOMAS et al., 2021; UNICEF KE, 2015; ZHOU et al., 2020; ZIOUT; AZAB; ATWAN, 2014).

Diversas pesquisas utilizaram a análise PESTEL como principal ferramenta exploratória e qualitativa para análise, organização e sistematização de dados (AGYEKUM et al., 2021; THOMAS et al., 2021; ZHOU et al., 2020; ZIOU; AZAB; ATWAN, 2014). A ferramenta explora questões principalmente de natureza qualitativa e analisa problemas de forma holística permitindo que investidores e tomadores de decisão monitorem situações que poderiam afetar um determinado processo, atividade, projeto e decisão, avaliando riscos e oportunidades (AGYEKUM et al., 2021; TANYA, SAMMUT-BONNICI; GALEA, 2019; THOMAS et al., 2021; UNICEF KE, 2015; ZHOU et al., 2020; ZIOU; AZAB; ATWAN, 2014).

A análise PESTEL busca determinar a relevância dos principais elementos que influenciam um determinado contexto, assim, estes elementos são agrupados e categorizados em uma matriz lógica e objetiva, buscando facilitar o entendimento do problema (ZIOU; AZAB; ATWAN, 2014). No uso desta ferramenta apenas termos essenciais devem ser incluídos na matriz buscando sintetizar informações para definição clara do cenário analisado. Se esta ferramenta não for usada criteriosamente, ela pode se tornar interminável resultando em uma análise inconclusiva (TANYA, SAMMUT-BONNICI; GALEA, 2019; UNICEF KE, 2015).

Neste estudo, a análise PESTEL foi utilizada para sistematização e categorização dos elementos identificados na revisão sistemática de literatura, sendo escolhida em função da quantidade de categorias que esta ferramenta aborda e a organização e distribuição destas categorias.

4.2.3 Árvore de Realidade Atual (ARA)

A Árvore da Realidade Atual (ARA) é uma ferramenta analítica e visual que fornece uma representação detalhada das relações de causa e efeito entre determinados elementos (LIBRELATO et al., 2014; YIN, 2012). Esta ferramenta facilita a identificação de causas-raízes que são responsáveis pela ocorrência de determinado problema, sendo este problema nomeado como “efeito indesejado” (LIBRELATO et al., 2014).

Em sistemas complexos de decisão, no qual vários elementos se relacionam e são responsáveis por um determinado efeito indesejado, é possível, através do uso da ARA, identificar, de forma simples, sequencial, lógica e visual, os elementos raízes destes

problemas, poupando tempo e concentrando esforços para tomadas de decisão mais assertivas (LIBRELATO et al., 2014; YIN, 2012)

Para construção da ARA é necessário listar os elementos que geram determinado efeito indesejado. Logo em seguida, estes elementos são agrupados em uma sequência lógica de causa e efeito, formando um desenho semelhante a uma árvore de elementos conectados. Desta forma, é possível identificar as causas-raízes de um determinado problema, permitindo otimizar a compreensão dos elementos que geram o efeito indesejado (LIBRELATO et al., 2014; YIN, 2012).

Nesta pesquisa, os elementos foram identificados utilizando a Revisão Sistemática de Literatura, sistematizados nas categorias PESTEL e relacionados através da ARA.

4.3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O procedimento metodológico utilizado neste trabalho foi desenvolvido em quatro etapas envolvendo as pesquisas bibliográfica e documental, a sistematização da revisão de literatura em uma Matriz PESTEL e a construção da ARA buscando relacionar os elementos que influenciam na falta de padronização dos carregadores de DEP, conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Fluxo do Procedimento Metodológico.

Objetivo Geral			
Identificar os principais elementos que influenciam na padronização dos carregadores de DEP e sistematiza-los usando a categorias PESTEL (política, econômica, social, tecnológica, ambiental e legal), como foco de estratégias de não-geração e redução da geração de REEE.			
Etapa	Metodologia	Ferramentas	Base de Dados
I	Revisão Sistemática da Literatura	Pesquisa Bibliográfica (2009-2023)	Scopus, Web of Science, IEEE Xplore
II	Revisão Sistemática da Literatura	Pesquisa Documental (2009-2023)	Regulamentações da União Europeia, estudos da Organização das Nações Unidas e regulamentações e estudos sobre REEE no Brasil.
III	Análise PESTEL	Matriz PESTEL	Categorização da revisão sistemática da literatura nas categorias Política, Econômica, Social, Tecnológica, Ambiental e Legal.
IV	ARA	Diagrama de Causa e Efeito	Elementos identificados na revisão sistemática da literatura que influenciam na falta de padronização dos componentes de DEP

Fonte: produção do próprio autor.

Siglas: REEE - Resíduos Eletroeletrônicos; PESTEL - Política, Econômica, Social, Tecnológica, Ambiental e Legal; ARA – Árvore da Realidade Atual.

4.3.1 Etapa I e II - Revisão Sistemática da Literatura

Para revisão sistemática da literatura foi utilizado como lapso temporal o período a partir da publicação do MoU em 2009 pela UE, sendo este o primeiro a tratar da padronização dos carregadores de telefones celulares no mundo, até um ano após a aprovação da Diretiva da União Europeia pelo Parlamento Europeu, em 2022, obrigando o uso do Padrão USB Tipo-C em todos os novos DEP comercializados naquele bloco econômico (EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2021a).

A pesquisa bibliográfica se concentrou em artigos científicos, artigos de revisão e artigos de conferência localizados nas bases de dados *Scopus*, *Web of Science* e *IEEE Xplore*, sendo que os termos de busca e operadores booleanos utilizados estão listados no Quadro 2. Esses termos foram selecionados após refinamento pelo autor e revisão por dois pesquisadores especialistas em REEE do Laboratório de Gestão do Saneamento Ambiental (LAGESA-UFES).

Quadro 2 - Termos de busca e resultados encontrados por base de dados.

Termos de Busca	Base de Dados	Resultados
("cell phone?" OR "smartphone?" OR "mobile phone?" OR "portable electronic? device?" OR "radio equipment?" OR "portable device?") AND ("power adapter" OR "charger?" OR "power supply adapter" OR "external power supplie?" OR "EPS") AND ("standard*" OR "regula*" OR "harmoniz*" OR "conform*" OR "universal*")	SCOPUS	48
	WEB OF SCIENCE	18
	IEEE XPLORE	121

Fonte: Produção do próprio autor.

Conforme apresentado no Quadro 2, foram encontrados 187 artigos cujo conteúdo passou por três filtros antes da leitura sistemática: o primeiro em relação ao título, descartando os que não apresentavam relação com EEE; o segundo em relação ao resumo, descartando os que não apresentavam relação com DEP e seus acessórios; e o terceiro em relação às discussões, resultados e conclusões, descartando os textos que não abordavam a padronização ou a regulamentação de periféricos de DEP como estratégia para economia circular. Estes filtros foram escolhidos pelo autor.

Todos os artigos encontrados, após análise dos títulos e resumos, estão listados no Apêndice A. Além destes artigos, outros 48 artigos sobre economia circular e REEE foram selecionados pelo autor, após ampla revisão bibliográfica, para complementar as discussões e resultados deste trabalho, sendo estes, listados no Apêndice B.

Já a pesquisa documental se concentrou nas principais regulamentações da União Europeia e do Brasil, estudos conduzidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), além de estudos considerados relevantes pelo autor para as discussões e resultados deste trabalho, cujo conteúdo aborda os DEP associados a problemática do crescente volume de REEE gerados no mundo. Ao todo foram analisados 53 documentos sendo selecionados 10 da União Europeia, incluindo Reino Unido, 5 da ONU e 8 do Brasil, conforme listado no Apêndice C.

Importante destacar que na pesquisa documental, contemplando países asiáticos e americanos, incluindo América Latina e Caribe, não foram encontrados documentos relevantes, com conteúdo e qualidade semelhantes aos encontrados na União Europeia (EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021a, b), sendo que a maioria das iniciativas de padronização dos carregadores de DEP destes países são baseadas nas publicações do MoU (2009) e Diretiva (2021).

Após concluída a pesquisa bibliográfica e documental, foram encontrados apenas um artigo científico (TREFFERS, 2015), quatro artigos de conferência (AHMAD; FERNANDES, 2020; CUCCHIETTI et al., 2011; EGYEDI; MUTO, 2012; RÉBAY, 2011), um memorando de entendimento (EUROPEAN COMMISSION, 2009), uma proposta de Diretiva da Comissão Europeia ao Parlamento Europeu (EUROPEAN COMMISSION, 2021a), dois estudos publicados pela Comissão Europeia (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b) e quatro projetos de Lei do Brasil (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2013, 2015; SENADO FEDERAL, 2022a, b) relacionados especificamente à padronização de carregadores de DEP, demonstrando que, além das lacunas identificadas e descritas na introdução deste trabalho, há carência de estudos e documentos que associem a padronização destes dispositivos como estratégia de não-geração e redução da geração de REEE.

Todos os 235 artigos e 23 documentos selecionados nesta revisão sistemática de literatura passaram por uma primeira leitura, a fim de identificar e compreender o seu conteúdo. Em seguida, realizou-se uma segunda leitura, com o objetivo de selecionar os parágrafos que abordavam especificamente os elementos identificados no Quadro 3.

Além disso, foram também destacados trechos que tratavam especificamente sobre economia circular envolvendo EEE ou estratégias de antecipação à geração de resíduos como padronização de componentes de EEE, reparo e remanufatura.

4.3.2 Etapa III - Análise PESTEL

Após realizadas as pesquisas bibliográfica e documental, os elementos identificados foram destacados por categoria (política, econômica, social, ambiental e legal) e sistematizados numa matriz PESTEL permitindo uma análise individual de cada categoria e ao mesmo tempo proporcionando uma visão panorâmica do problema analisado.

Os elementos categorizados foram então validados por dois pesquisadores especialistas em REEE do Laboratório de Gestão do Saneamento Ambiental (LAGESA) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), proporcionando clareza às informações encontradas. Destaca-se que esta sistematização foi fundamental para os resultados e discussão deste trabalho, permitindo a construção da ARA.

4.3.3 Etapa IV - Árvore de Realidade Atual (ARA)

Buscando analisar como os elementos que influenciam na padronização dos carregadores de DEP se relacionavam, foi construída uma ARA. Nesta ARA, os elementos sistematizados na matriz PESTEL foram distribuídos de forma alinhada e parametrizada e conectados através da relação de causa e efeito.

Desta forma, foi possível identificar quais são as causas-raízes para a falta de padronização de componentes de DEP, sendo este o efeito indesejado que impede a utilização da padronização como estratégia de antecipação a geração de REEE.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificados 19 elementos que influenciam diretamente na padronização dos carregadores de DEP, baseado em 5 artigos e 4 documentos publicados que tratam especificamente da padronização de carregadores de DEP. Estes elementos estão sumarizados e referenciados no Quadro 3.

Quadro 3 – Elementos que influenciam na padronização dos carregadores de Dispositivos Eletroeletrônicos Portáteis, segundo a literatura.

Elemento	Descrição	Referências
Acúmulo e descarte irregular dos carregadores	Incômodo em relação ao acúmulo de carregadores obsoletos em gavetas e preocupação com o descarte irregular destes equipamentos, gerando impactos ambientais negativos e impedindo que recursos valiosos retornem ao ciclo produtivo.	(CUCCHIETTI et al., 2011; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b)
Carência de embasamento técnico para tomada de decisão	Carência de estudos sobre o ciclo de vida dos carregadores de DEP, fornecendo assim o embasamento técnico necessário para tomadas de decisão pela padronização destes periféricos como estratégia de antecipação a geração de REEE.	(EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a)
Compatibilidade dos DEP e carregadores	Compatibilidade entre diferentes marcas de DEP e carregadores, reduzindo a variedade de interfaces disponíveis no mercado, evitando o uso de adaptadores, possibilitando atualizações de <i>hardware</i> e o compartilhamento de equipamentos, aumentando a conveniência para o consumidor, a transparência do mercado e a concorrência entre fornecedores.	(CUCCHIETTI et al., 2011; EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021a, b; RÉBAY, 2011; TREFFERS, 2015)
Custos com avaliação da conformidade e fiscalização.	Necessidade de avaliação da conformidade e fiscalização dos carregadores fabricados e disponibilizados no mercado, gerando custos para o poder público, fabricantes e consumidores, porém, garantindo a qualidade e desempenho técnico destes produtos e a segurança dos consumidores, combatendo a concorrência desleal e a falsificação e preservando a reputação de fabricantes idôneos.	(EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b)
Custos para adaptação das linhas de produção	Custos necessários para o redesenho e adequação das linhas de produção, buscando atender ao novo padrão de conformidade exigido para os carregadores de DEP.	(CUCCHIETTI et al., 2011; EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b; RÉBAY, 2011; TREFFERS, 2015)
Falta de consciência ambiental dos consumidores	Carência de informações sobre as características técnicas dos carregadores de DEP, através de mecanismos de rotulagem, e necessidade de campanhas de sensibilização apoiadas pelo setor público, incentivando a não-geração, a redução, a reutilização e a reciclagem destes acessórios.	(EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021a, b)

Interesses de diferentes <i>stakeholders</i>	Interesses dos diferentes atores sociais como poder público, fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e consumidores em relação a padronização dos carregadores de DEP e seu real impacto social, econômico e ambiental.	(CUCCHIETTI et al., 2011; EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021a, b; RÉBAY, 2011; TREFFERS, 2015)
Impactos ambientais da padronização	Impactos ambientais positivos e negativos da padronização dos carregadores de DEP e possível redução da produção de EEE, da geração de REEE, da emissão de GEE e da extração de recursos primários.	(AHMAD; FERNANDES, 2020; CUCCHIETTI et al., 2011; EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021a, b; RÉBAY, 2011)
Incertezas sobre acordos comerciais e restrições legais	Riscos e insegurança jurídica relacionados à livre circulação de mercadorias a acordos comerciais internacionais, provocados por legislações específicas sobre direitos do consumidor e características técnicas obrigatórias dos carregadores, podendo gerar litígios futuros entre países, fabricantes e importadores.	(EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021a, b)
Materiais utilizados na fabricação dos DEP	Tipo, qualidade, quantidade e variedade dos materiais utilizados para fabricação dos carregadores de DEP, influenciando na eficiência, durabilidade e obsolescência destes equipamentos.	(CUCCHIETTI et al., 2011; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b)
Maturidade tecnológica para padronização dos EEE	Estágio de evolução tecnológica do <i>design</i> dos carregadores, materiais utilizados e protocolos elétricos e de comunicação, dando certeza de que o padrão escolhido está consolidado no mercado, mitigando a obsolescência e evitando a estagnação da inovação, permitindo a compatibilidade com diversos DEP.	(AHMAD; FERNANDES, 2020; EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021a, b; RÉBAY, 2011; TREFFERS, 2015)
Modularidade dos DEP	Modularidade de componentes de DEP, proporcionada pela padronização de receptáculos e conectores, permitindo a substituição de peças e componentes.	(EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b)
Necessidade de revisão das normas de padronização	Tempo razoável para início da vigência da padronização, permitindo que fabricantes adequem o <i>design</i> dos carregadores de DEP e as linhas de produção e necessidade de revisão periódica da norma de padronização a fim de se incentivar a inovação e evitar a estagnação da tecnologia.	(EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b)
Origem do padrão escolhido para os EEE	O padrão escolhido pode ser originário de órgãos colegiados responsáveis pela elaboração de normas técnicas, do poder público ou de fabricantes específicos, porém, dependendo da origem da tecnologia, este novo padrão pode gerar conflitos relacionados a estratégias de mercado e inovação.	(EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021a, b)
Preço final do carregador repassado ao consumidor	Preço final do carregador de DEP repassado ao consumidor final dependendo este preço das exigências técnicas e das características estéticas do produto, dos custos de adaptação das linhas de produção e das estratégias de mercado de cada fabricante.	(EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b; RÉBAY, 2011; TREFFERS, 2015)

Produtos falsificados ou contrabandeados (EEE “cinzas”)	Aumento do número de carregadores de DEP falsificados ou contrabandeados disponíveis no mercado após a padronização dos conectores, influenciando no preço e na segurança destes dispositivos, prejudicando o lucro e a reputação de fabricantes idôneos e aumentando custos com avaliação da conformidade e fiscalização.	(EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b)
Problemas relacionados à segurança do carregador	Garantia de que os carregadores não apresentarão defeitos que possam provocar danos ao funcionamento dos DEP e suas baterias e danos à saúde e a integridade física do usuário, como incêndios, choque elétrico e eletrocussão.	(EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021a, b; TREFFERS, 2015)
Protocolos elétricos e de transferência de dados.	Características relacionadas ao circuito elétrico (potência, voltagem e corrente) e aos protocolos de comunicação (compatibilidade e taxa de transferência de dados) exigidos pelo DEP, influenciando na eficiência de carregamento, durabilidade das baterias e taxa de transferência de dados.	(AHMAD; FERNANDES, 2020; CUCCHIETTI et al., 2011; EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021a, b; RÉBAY, 2011; TREFFERS, 2015)
Tipo de instrumento escolhido para padronização.	A padronização dos carregadores pode ser voluntária, por acordo entre <i>stakeholders</i> , sem vínculo legislativo e jurídico, ou obrigatória, por imposição legislativa, através de uma regulamentação.	(EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021a, b)

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Siglas: DEP - Dispositivo Eletroeletrônico Portátil; GEE - Gases do Efeito Estufa; EEE - Equipamentos Eletroeletrônicos; REEE - Resíduos Eletroeletrônicos.

Os elementos descritos no Quadro 3 foram distribuídos em uma Matriz PESTEL, nas categorias política, econômica, social, tecnológica, ambiental e legal, conforme apresentado no Quadro 4, permitindo uma visão panorâmica dos elementos listados e facilitando a discussão posterior.

Quadro 4 – Matriz PESTEL com os principais elementos que influenciam na padronização dos carregadores de DEP.

POLÍTICO	ECONÔMICO	SOCIAL	TECNOLÓGICO	AMBIENTAL	LEGAL
Interesses de diferentes <i>stakeholders</i>	Custos para adaptação das linhas de produção	Acúmulo e/ou descarte irregular dos carregadores	Maturidade tecnológica para padronização dos EEE	Materiais utilizados na fabricação dos DEP	Incertezas sobre acordos comerciais e restrições legais
Carência de embasamento técnico para tomada de decisão	Preço final do carregador repassado ao consumidor	Problemas relacionados à segurança do carregador	Compatibilidade dos DEP e carregadores	Modularidade dos DEP	Origem do padrão escolhido para os EEE
--	Produtos falsificados ou contrabandeados (EEE “cinzas”)	Falta de consciência ambiental dos consumidores	Protocolos elétricos e de transferência de dados	Impactos ambientais da padronização	Tipo de instrumento escolhido para padronização

--	--	--	--	--	Necessidade de revisão das normas de padronização
--	--	--	--	--	Custos com avaliação da conformidade e fiscalização

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Siglas: DEP - Dispositivo Eletroeletrônico Portátil; EEE - Equipamentos Eletroeletrônicos; REEE - Resíduos Eletroeletrônicos; PESTEL - Política, Econômica, Social, Tecnológica e Legal.

Nos próximos subtópicos deste capítulo, serão discutidos individualmente cada um dos 19 elementos que influenciam na padronização dos carregadores de DEP identificados na revisão sistemática de literatura, agrupados conforme categoria PESTEL.

Importante destacar que os carregadores de DEP, nesta discussão, poderão ser nominados como acessórios ou periféricos de DEP, conforme definição do Decreto Federal nº10.240, de 12 de fevereiro de 2020, que regulamenta a implementação do sistema de logística reversa dos REEE de origem doméstica no Brasil, sendo “acessórios” aqueles dispositivos que tem a função de complemento em relação ao dispositivo principal, funcionando como equipamento auxiliar para execução de funções específicas, tais como carregadores (BRASIL, 2020).

5.1 ELEMENTOS POLÍTICOS

A revisão sistemática de literatura revela que a padronização dos carregadores de DEP está intrinsecamente ligada a complexidades políticas, influenciadas pela competição comercial entre fabricantes e seus interesses particulares (XAVIER et al., 2021; XAVIER; OTTONI; LEPAWSKY, 2021). Essa disputa comercial muitas vezes vai de encontro a expectativas do poder público e da sociedade em relação à geração e gestão dos REEE e seu consequente impacto ambiental (MAITRE-EKERN, 2021).

A falta de dados sobre o ciclo de vida dos DEP e seus acessórios, incluindo carregadores, também dificulta o embasamento técnico necessário para tomadas de decisão assertivas sobre a padronização destes componentes e seus reais benefícios sociais, econômicos e ambientais (AGUIAR et al., 2022; DIAZ et al., 2021; EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Assim, os principais elementos políticos identificados nesta revisão sistemática de literatura podem ser resumidos aos interesses de diferentes stakeholders e a carência de dados, indicadores e informações para tomadas de decisão sobre a padronização.

5.1.1 Interesses de diferentes *stakeholders*

A iniciativa de padronização de EEE deveria, em tese, primar pelo interesse público, envolvendo questões econômicas e socioambientais, mas nem sempre esta é a regra entre *stakeholders* (EGYEDI, T. M.; WIDLAK, 2019; FORTI et al., 2020). Muitas iniciativas regulatórias isoladas acabam sendo insuficientes para solucionar os desafios socioambientais da geração de REEE, sendo necessário o consenso entre diversos *stakeholders* para garantir acordos comerciais efetivos (DALHAMMAR, 2016; EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2021b; PARAJULY et al., 2019; RIZOS; BRYHN, 2022).

A iniciativa da UE de padronização dos carregadores de celulares, em 2009, por exemplo, gerou uma expectativa de que todos os fabricantes de DEP modificariam seus dispositivos para o padrão USB Micro-B, porém, a fabricante Apple e alguns fabricantes de DEP ordinários continuaram utilizando padrões diferenciados em seus dispositivos, por pura estratégia comercial e valorização da marca, frustrando aquela iniciativa da UE (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

Os relatórios da CE de 2019 e 2021 mostram que houve resistência de alguns fabricantes na padronização dos carregadores de DEP, alegando restrições econômicas e tecnológicas (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b). Entretanto, a maioria das autoridades públicas, organizações da sociedade civil e cidadãos entrevistados em 2019 na UE concordaram com a padronização obrigatória dos carregadores de DEP, forçando os fabricantes a adequarem os EPS e DEP para os padrões de conector USB Tipo-C e protocolos de carregamento USB PD (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Dalhammar (2016) afirma que fabricantes geralmente tendem a ser céticos em relação a padrões regulatórios e muitos preferem investir conhecimento e recursos em padrões tecnológicos já consolidados no mercado (DALHAMMAR, 2016). Já Xavier, Ottoni e Lepawsky (2021) afirmam que, na maioria das vezes, quem decide quais tecnologias serão adotadas e comercializadas, induzindo necessidades e tendências no mercado, são as empresas (XAVIER; OTTONI; LEPAWSKY, 2021).

Assim, considerando a crescente demanda no mercado por produtos circulares e sustentáveis, reforçada por pressões ambientais e sociais (COLE et al., 2019; JUCHNESKI; ANTUNES, 2022; MESA et al., 2022; PARAJULY et al., 2019; VAN DE POEL, 2017), buscando evitar a variedade de soluções tecnológicas semelhantes disponíveis no mercado e a consequente obsolescência de produtos incompatíveis (EGYEDI; MUTO, 2012; EGYEDI, 2014), Bisschop, Hendlin e Jaspers (2022) afirmam que o poder público deveria ser o principal responsável pela iniciativa de padronização de componentes de EEE (BISSCHOP; HENDLIN; JASPERS, 2022), principalmente quando se trata de tecnologias já consolidadas no mercado, como o exemplo do padrão USB Tipo-C para DEP (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b).

Bisschop, Hendlin e Jaspers (2022), após estudos sobre a obsolescência de EEE, reconhecem que os principais fabricantes de EEE só passarão a modificar seus produtos voluntariamente, buscando impactos positivos e estratégicos direcionados a uma economia circular efetiva, se houver compreensão do ciclo de vida dos EEE comercializados por estes *stakeholders* (BISSCHOP; HENDLIN; JASPERS, 2022).

5.1.2 Carência de embasamento técnico para tomada de decisão

Vários autores destacam que a ausência informação e a falta de transparência no debate sobre o ciclo de vida de DEP acabam incentivando estratégias e estudos remediativos focados na reciclagem de REEE e destinação final destes resíduos, prejudicando estratégias e estudos direcionados ao *design* de produto e consequente antecipação à geração de REEE (AGUIAR et al., 2022; ALTHAF; BABBITT; CHEN, 2021; BRESSANELLI et al., 2020; BRITISH STANDARDS, 2017; COLE et al., 2019; FORTI et al., 2020; SUCKLING; LEE, 2015).

Esse destaque é reforçado em estudos realizados por Suckling, Lee (2015) e Dalhammar (2016) que demonstram que a falta dados sobre descarte de REEE e a abundância de dados quantitativos sobre os processos de reciclagem em larga escala acabam ocultando parte das informações sobre estratégias de antecipação a geração de REEE (DALHAMMAR, 2016; SUCKLING; LEE, 2015).

Egyedi, Muto (2012), Rizos e Bryhn (2022) destacam que a falta de dados sobre o ciclo de vida dos DEP pode, em teoria, ser ocasionada pela falta de tempo, recursos e interesse

das empresas para coleta dos dados sobre os impactos ambientais de seus produtos pós-produção, em especial dos DEP (EGYEDI; MUTO, 2012; RIZOS; BRYHN, 2022).

Essa afirmação é reforçada pela Comissão Europeia (2019) que expôs a relutância de fabricantes em divulgar informações sobre o *design* de seus produtos, tornando impossível prever qual a estratégia mais adequada para uma economia circular sustentável dos DEP, como a padronização (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

O fato é que apesar de o conceito de economia circular ser considerado uma estratégia fundamental para redução de impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida dos DEP, muitos fabricantes interpretam esta estratégia apenas como uma oportunidade de acesso a nichos de mercado específicos ou pouco explorados (DALHAMMAR, 2016; DIAZ et al., 2021; EUROPEAN COMMISSION, 2020; PARAJULY et al., 2019).

Parajuly et al. (2019) afirmam que fabricantes de EEE, na maioria das vezes, procuram cumprir o mínimo exigido por legislações ambientais, procurando se adequar apenas à conformidade imposta por órgãos de fiscalização (PARAJULY et al., 2019). Além disso, Cole et al. (2019) lembram que as iniciativas ambientais voltadas para uma economia circular efetiva são interpretadas pela maior parte das grandes empresas de DEP como redução de suas margens de lucro (COLE et al., 2019).

Desta forma, a análise do ciclo de vida dos novos DEP antes da sua disponibilidade no mercado é fundamental para aumentar a durabilidade destes equipamentos e evitar custos associados ao tratamento e recuperação de materiais secundários após o fim da vida útil (BRITISH STANDARDS, 2017; COLE et al., 2019; EGYEDI, T. M.; ORTT, 2017; EUROPEAN PARLIAMENT, 2009; O'CONNOR et al., 2016).

A coleta de dados e informações sobre o ciclo de vida de DEP e seus acessórios possibilitaria uma visão sistêmica de todas as fases da vida destes dispositivos, desde a extração da matéria-prima até o seu descarte como resíduo, permitindo a análise completa dos possíveis impactos socioambientais gerados e oportunidades de redução ou mitigação destes impactos (AGUIAR et al., 2022; BRESSANELLI et al., 2020; DIAZ et al., 2021; GOLLAKOTA; GAUTAM; SHU, 2020; ROMARE et al., 2021).

A análise do ciclo de vida de *smartphones* disponíveis na literatura, por exemplo, não especifica se os carregadores destes dispositivos estão incluídos nesta análise, sendo

estes dados extremamente relevantes para qualquer iniciativa de padronização ou modularização destes periféricos (SUCKLING; LEE, 2015). Há poucas informações específicas sobre o ciclo de vida dos carregadores de DEP e consequentes emissões de CO₂, tanto na literatura quanto em documentos dos fabricantes destes dispositivos (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

Outro fator relevante encontrado por Van de Poel (2017), Bressanelli et al. (2020) e Cordova-Pizarro et al. (2020) é que a maioria dos dados sobre o ciclo de vida de DEP acabam sendo baseados em países desenvolvidos, impedindo uma análise fiel e completa do ciclo de vida de EEE em outros mercados consumidores, como os latino-americanos e africanos (BRESSANELLI et al., 2020; CORDOVA-PIZARRO et al., 2020; VAN DE POEL, 2017).

Diante deste cenário, além da necessidade urgente de um papel proativo do poder público na iniciativa de padronização dos carregadores de DEP, considerando que o padrão USB Tipo-C já é uma tecnologia consolidadas no mercado (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b), a análise do ciclo de vida dos DEP, incluindo os carregadores, é crucial para evitar estratégias centradas apenas no pós-uso de EEE, como a reciclagem, incentivando estratégias de design sustentável na concepção do produto mais alinhadas com os princípios da economia circular.

Assim, fica evidente que os elementos políticos associados a padronização de componentes de DEP representa uma influência direta nas estratégias de não-geração e redução de REEE, visto o exemplo das iniciativas de padronização dos carregadores de DEP pela UE (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

Outros exemplos de iniciativas políticas recentes e relevantes, traduzidas em legislações, não necessariamente ligadas a padronização de componentes de EEE e estratégias de antecipação a geração de resíduos, podem ser observadas na Lei 10.240/2020, que trata da implementação de sistema de logística reversa de EEE no Brasil, e na Lei 2020-105, da França, que trata da prevenção dos resíduos e da economia circular (BRASIL, 2020; JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE, 2020).

5.2 ELEMENTOS ECONÔMICOS

Os elementos econômicos envolvendo a padronização dos carregadores de DEP se relacionam intimamente aos interesses comerciais dos principais fabricantes, que acabam se sobrepondo aos sociais, tecnológicos, ambientais e legais. Esta hierarquia é justificada em partes pela constante disputa entre fabricantes pelo mercado consumidor globalizado de EEE e a limitada responsabilidade destes fabricantes pelo ciclo de vida destes equipamentos (XAVIER et al., 2021; XAVIER; OTTONI; LEPAWSKY, 2021).

Estima-se que 100 empresas que fabricam carregadores de DEP na UE tenham movimentado em média 154 milhões de euros em 2020, empregando mais de 1.900 pessoas diretamente (EUROPEAN COMMISSION, 2021b). Estes acessórios podem ser comercializados por fabricantes de DEP, fabricantes autônomos, importadores, remanufaturadores, entre outros *stakeholders* (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Os principais elementos econômicos identificados na revisão sistemática de literatura que influenciam na tomada de decisão para padronização dos carregadores de DEP foram: os custos necessários para adaptação das linhas de produção de fabricantes; o aumento do preço final do carregador repassado ao consumidor; e os impactos dos produtos falsificados ou contrabandeados disponíveis no mercado, sendo estes elementos discutidos a seguir.

5.2.1 Custos para adaptação das linhas de produção

A adaptação das linhas de produção de uma indústria para fabricação de componentes eletroeletrônicos nem sempre é uma tarefa simples e necessita principalmente de planejamento, disponibilidade de equipamentos e investimentos dispendiosos (BRITISH STANDARDS, 2017; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b; VAN DE POEL, 2017). Estes investimentos, na maioria das vezes, acabam sendo mitigados por um período de transição adequado e pela produção em escala, característicos de uma economia linear (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a).

Treffers (2015) Parajuly et al. (2019) afirmam que quanto mais produtos são fabricados, mais diluídos se tornam os custos de produção, permitindo uma maior margem de lucro para as empresas (PARAJULY et al., 2019; TREFFERS, 2015). Estes custos são menos atrativos no lançamento de novos produtos, devido à

necessidade de adaptação das linhas de produção, entretanto, se diluem com o tempo, após consolidação do produto no mercado (TREFFERS, 2015).

Por outro lado, as estratégias que buscam a economia circular são consideradas por muitos fabricantes de EEE apenas como despesas adicionais (PAMMINGER; GLASER; WIMMER, 2021; WOJNAROWSKA; SOŁTYSIK; PRUSAK, 2021). Junge (2021) e Vanegas et al. (2018) destacam que características associadas a sustentabilidade de EEE, atribuídas ao *design* de produto, geralmente geram custos extras para adaptação das linhas de produção, considerando o uso de materiais reciclados, modularidade e maior consumo de recursos (JUNGE, 2021; VANEGAS et al., 2018).

Entretanto, autores como Bridgens et al. (2019), Cucchietti et al. (2011) e Treffers (2015) sustentam que outras estratégias de antecipação a geração de REEE, como a padronização de componentes de DEP, podem reduzir custos de produção, através da otimização logística da estrutura produtiva (BRIDGENS et al., 2019; CUCCHIETTI et al., 2011; TREFFERS, 2015).

Egyedi e Ortt (2017) complementam afirmando que a padronização de componentes de EEE, ao reduzir a variedade de produtos, economizar recursos primários e aumentar a capacidade e eficiência das linhas de produção, proporcionam ganhos de tempo, energia e esforço de empresas, reduzindo conseqüentemente os custos da produção linear (EGYEDI, T. M.; ORTT, 2017).

O estudo realizado pela Comissão Europeia em 2021 sobre a padronização dos carregadores de DEP demonstra que os principais prejudicados em relação a uma possível adaptação das linhas de produção de componentes de EEE são os pequenos fabricantes, já que estes possuem pouca capacidade de investimentos a curto prazo (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Outros fabricantes de grande porte que investem consistentemente em tecnologias próprias, como a Apple, QC, Huawei SuperCharge e VOOC, também poderiam ser prejudicados com a padronização obrigatória dos carregadores de DEP para os padrões USB Tipo-C e USB PD, principalmente com a perda de *royalties* associados à propriedade intelectual (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

É importante destacar que nem sempre a redução de custos de produção de fabricantes de DEP são repassados aos consumidores, por pura estratégia de *marketing* e valorização do produto, principalmente em relação a produtos complexos com alto valor agregado, como *smartphones* (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b). Estes custos geralmente correspondem a 1/5 do valor de venda destes produtos no varejo, sendo que, por outro lado, qualquer aumento de custos de produção destes fabricantes acabam sendo repassados aos consumidores (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b; RIZOS; BRYHN, 2022).

Desta forma, a abordagem da economia circular, embora muitas vezes vista como ambientalmente sustentável, revela-se, em alguns casos, economicamente inviável a curto e médio prazo (JUNGE, 2021; VANEGAS et al., 2018). Por outro lado, estratégias de antecipação a geração de resíduos, como a padronização de componentes de DEP, podem otimizar custos de produção associados à economia linear (BRIDGENS et al., 2019; CUCCHIETTI et al., 2011; TREFFERS, 2015). A reflexão sobre a relação entre custos de produção e valores repassados aos consumidores enfatiza a complexidade do mercado de DEP, em constante disputa tecnológica e comercial.

Diante dessas considerações, é evidente que o cenário da indústria de EEE é complicado, exigindo um verdadeiro equilíbrio entre inovação, sustentabilidade e viabilidade econômica. A busca por soluções sustentáveis que conciliem a eficiência produtiva, a responsabilidade ambiental e competitividade no mercado é essencial.

5.2.2 Preço final do carregador repassado ao consumidor

Para maioria dos consumidores, o preço final dos EEE é um fator determinante na escolha entre adquirir um produto novo, reparar um produto com defeito ou atualizar um produto obsoleto (KHAN et al., 2018; RIZOS; BRYHN, 2022). O preço reduzido de novos EEE, proporcionado por estratégias de marketing e políticas de depreciação associadas a obsolescência prejudicam iniciativas como o reparo, o condicionamento ou a remanufatura (PARAJULY et al., 2019; RIZOS; BRYHN, 2022; SONEGO; ECHEVESTE; DEBARBA, 2022).

A extensão da vida útil de EEE, através de iniciativas de prevenção e reutilização, não terá sucesso se fatores socioeconômicos, como o baixo poder aquisitivo de parcela

da população mundial não forem priorizados como estratégia para a economia circular efetiva (MAITRE-EKERN, 2021). Maitre-Ekern (2021) destaca que informações sobre benefícios ambientais de EEE são inúteis se as pessoas não tiverem dinheiro para comprar estes tipos de produtos sustentáveis (MAITRE-EKERN, 2021).

Assim, nem sempre os consumidores estão dispostos a pagar por custos ambientais negativos associados ao descarte irregular de EEE (CORDOVA-PIZARRO et al., 2020; PARAJULY et al., 2019; PROSKE; JAEGER-ERBEN, 2019) e nem sempre os preços pagos por bens e serviços levam em conta o valor real dos danos ambientais associados ao ciclo de vida destes produtos (BRITISH STANDARDS, 2017; PARAJULY et al., 2019). Em pesquisa realizada com a população mexicana, Cordova-Pizarro et al. (2020) informam que mais da metade dos entrevistados naquele país não estavam dispostos a compartilhar os custos pela reciclagem e rastreabilidade de EEE, por exemplo (CORDOVA-PIZARRO et al., 2020).

Por outro lado, estratégias como a venda separada de DEP e acessórios, como carregadores, é uma solução associada a modularidade de EEE que pode reduzir o preço de venda destes produtos no mercado (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b; RÉBAY, 2011).

A padronização dos conectores dos carregadores de DEP para os padrões USB Tipo-C e USB-PD é outra estratégia que poderá reduzir os custos de produção através da economia de escala, potencializando a redução do preço a longo prazo destes periféricos de EEE nas prateleiras (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

Entretanto, muitos fabricantes de carregadores de DEP argumentam que a adoção dos padrões USB Tipo-C e USB PD em dispositivos que não demandam tanta potência para carregamento, pode encarecer produtos vendidos aos consumidores sem necessidade (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b). Essa redução de preços dos carregadores ao consumidor final poderia ser otimizada com aumento da participação no mercado de pequenos fabricantes de cabos e EPS, a partir da padronização destes periféricos (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Assim, percebe-se que a busca pela extensão da vida útil de DEP e seus acessórios, mediante iniciativas de não-geração, prevenção e reutilização, enfrenta sérios

desafios associados ao baixo poder aquisitivo da população. Torna-se, desta forma, essencial para a economia circular, priorizar estratégias que levem em conta, além da conscientização ambiental, a acessibilidade financeira da população a produtos sustentáveis. A padronização de conectores e protocolos de transferência de dados dos carregadores de DEP são soluções promissoras para reduzir custos de produção, potencializando a possível redução de preços dos acessórios para os consumidores.

5.2.3 Produtos falsificados ou contrabandeados (EEE “cinzas”)

O número de carregadores falsificados disponibilizados no mercado mundial, principalmente em plataformas de venda *online*, é uma preocupação constante de *stakeholders* gerando perdas econômicas diretas (vendas perdidas) e indiretas (reputação das marcas) para empresas detentoras de tecnologias originais (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b; ISLAM et al., 2021). A fabricante Apple, por exemplo, descobriu em 2016 que aproximadamente 90% dos carregadores e cabos da empresa vendidos como originais na varejista Amazon.com eram falsificados (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

É notório que a variação de preço dos carregadores originais e falsificados é significativa, influenciando diretamente na escolha dos consumidores por produtos falsificados, com menor durabilidade, acelerando assim a geração de REEE e consequentes impactos sociais, ambientais e econômicos negativos (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

A padronização dos carregadores de DEP permitiria a compatibilidade universal entre diversos modelos e marcas de dispositivos, possibilitando a venda separada de DEP, cabos e EPS, incentivando a venda de carregadores autônomos, sendo muitos deles sem marca ou falsificados (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

O Decreto Federal nº10.240/2020, que regulamenta a implementação do sistema de logística reversa de EEE de uso doméstico no Brasil, define EEE “cinzas” como produtos comercializados de forma não oficial, não autorizado pelo fabricante original (BRASIL, 2020). Muitos destes EEE são considerados falsificados, infringindo direitos de propriedade intelectual, não cumprindo requisitos mínimos de qualidade se comparados a produtos originais, colocando em risco a segurança do consumidor e a

sustentabilidade econômica de empresas que investem em tecnologias próprias (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

As falsificações ocorrem geralmente em produtos de empresas já consolidadas no mercado, sofrendo pequenas modificações estéticas e materiais, muitas vezes imperceptíveis, adaptando componentes internos semelhantes a tecnologia original (VAN DE POEL, 2017). O compartilhamento de informações e experiências entre empresas e prestadores de serviços de reparo acabam agravando a engenharia reversa destes produtos, favorecendo falsificadores mal intencionados (DALHAMMAR, 2016; DIAZ et al., 2021; VAN DE POEL, 2017).

Entre 2014 e 2021, o sistema RAPEX (*Rapid Alert System for All Dangerous Consumer Products*), responsável pelos alertas de segurança de produtos vendidos no mercado europeu, constatou que aproximadamente 20% dos produtos analisados neste período eram originais, 75% não tinham qualquer identificação de marca e 5% eram falsificados (EUROPEAN COMMISSION, 2021b). Dos 90 mil procedimentos realizados para detecção de produtos falsificados nas fronteiras da UE em 2018, aproximadamente 5% eram de peças e acessórios para *smartphones*, sendo mais de um milhão de produtos apreendidos em operações de fiscalização daquele ano (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

Sobre os carregadores de DEP, a Comissão Europeia estima que aproximadamente 10% de todos os EPS e 15% de todos os cabos disponibilizados naquele mercado são falsificados, somando quase 30 milhões de produtos “cinzas” vendidos naquele bloco econômico por ano (EUROPEAN COMMISSION, 2021b). O Escritório de Propriedade Intelectual da UE e a EUROPOL (*European Union Agency for Law Enforcement*) alertam que o número de EEE falsificados no mercado europeu vem crescendo a cada ano, sendo carregadores de DEP um dos produtos mais falsificados e complicados de se controlar (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Considerando o exposto, percebe-se que apesar de a padronização dos conectores de dispositivos e acessórios de EEE ser uma solução para compatibilidade universal dos carregadores de DEP, esta padronização intensifica a proliferação de carregadores falsificados no mercado, representando uma ameaça para a sustentabilidade econômica das empresas e a segurança dos consumidores.

Desta forma, é necessário que autoridades, empresas e consumidores estejam vigilantes, adotando medidas robustas para conter a disseminação de produtos falsificados ou contrabandeados, principalmente após iniciativas de padronização de componentes de EEE, como é o caso dos carregadores de DEP.

5.3 ELEMENTOS SOCIAIS

A revisão sistemática de literatura mostrou que a falta de conscientização do consumidor em relação aos impactos ambientais negativos relacionados aos EEE, proporcionado pela falta de informação, é um dos principais fatores sociais que determinam o acúmulo ou o descarte irregular de REEE junto ao resíduo doméstico. Outro fator social relevante, proporcionado pela ausência de informação em EEE, principalmente nos EEE “cinzas”, são os riscos relacionados à segurança destes equipamentos.

5.3.1 Acúmulo e/ou descarte irregular dos carregadores

EEE de pequeno porte, como os DEP e acessórios, incluindo carregadores e fones de ouvido, são adquiridos pelo consumidor e, após o fim de vida útil, por obsolescência, dano ou defeito, são na maioria das vezes acumulados em gavetas ou descartados de forma irregular junto ao resíduo domiciliar, gerando impactos ambientais negativos e impedindo que materiais valiosos retornem ao ciclo produtivo (COLE et al., 2019; CORDOVA-PIZARRO et al., 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2019; FORTI et al., 2020; ISLAM et al., 2021; PARAJULY et al., 2019; PROSKE; JAEGER-ERBEN, 2019; RÉBAY, 2011; SHITTU; WILLIAMS; SHAW, 2021; SUCKLING; LEE, 2015).

O acúmulo de DEP e acessórios ocorre geralmente pelo sentimento de posse do consumidor, que culturalmente cria a expectativa de que estes produtos ou seus componentes possam ser reutilizados como peça de reposição para outros EEE compatíveis (ISLAM et al., 2021; JUNGE, 2021). O volume pequeno e a falta de alternativas de fácil acesso para o descarte adequado acabam promovendo o descarte irregular destes DEP quando tornam-se desnecessários (CORDOVA-PIZARRO et al., 2020; ISLAM et al., 2021; SHITTU; WILLIAMS; SHAW, 2021).

Os *smartphones*, por exemplo, são utilizados em média por dois anos e depois são descartados ou acumulados, sendo que muitos destes produtos ainda encontram-se em funcionamento (PROSKE; JAEGER-ERBEN, 2019). Estes *smartphones*

geralmente são acompanhados de carregadores que acabam sendo incompatíveis com novas gerações de DEP, agravando a geração de REEE (RÉBAY, 2011).

Mais da metade dos consumidores da UE relatam um incômodo constante em relação ao excesso de carregadores acumulados em casa ou no trabalho, sendo que aproximadamente 10% destes equipamentos são descartados com o resíduo domiciliar (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b). Fofou, Juang e Wang (2021) afirmam que as chances de um produto ser reparado ou remanufaturado diminuem drasticamente se este não for coletado no tempo certo e separado de forma apropriada, evitando a obsolescência tecnológica ou a falta de peças de reparo (FOFOU; JIANG; WANG, 2021).

Países como o Brasil determinam que os consumidores devem efetuar o descarte de REEE em pontos de coleta a serem disponibilizados pelos entes designados pela logística reversa de REEE (BRASIL, 2010, 2020), apesar do número de pontos de coleta ainda serem incipientes, ou até ausentes em municípios de pequeno e médio porte.

Em pesquisa realizada pela *Green Eletron* (2021), entidade gestora de logística reversa de REEE no Brasil, dos 2.075 consumidores brasileiros entrevistados, 50% afirmaram que descartam com frequência os DEP junto com o resíduo domiciliar, sendo que os outros 50% acumulam, doam ou vendem seus dispositivos no mercado secundário (GREEN ELETRON, 2021).

Para mudar o comportamento do consumidor em relação ao descarte irregular de DEP, não basta apenas ampliar o número de pontos de coleta de REEE, sendo necessárias campanhas para informação, conscientização e envolvimento do consumidor em estratégias de antecipação a geração de REEE (SONEGO; ECHEVESTE; DEBARBA, 2022). Iniciativas de antecipação a geração de REEE, como reparo e reuso, deveriam ocorrer de forma concomitante com sistemas de Logística Reversa.

5.3.2 Problemas relacionados à segurança do carregador

Problemas associados a segurança dos DEP e carregadores são uma preocupação constante de fabricantes, consumidores e organismos responsáveis pela elaboração de normas técnicas, incluindo órgãos responsáveis pela fiscalização e avaliação da conformidade de EEE (EUROPEAN COMMISSION, 2019). O número de alertas de segurança relacionados a carregadores de DEP têm crescido ano a ano na UE,

registrados nos sistemas RAPEX (*Rapid Alert System for All Dangerous Consumer Products*) e ICSMS (*Information and Communication System for Market Surveillance*) (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

Muitos carregadores de DEP mal projetados ou incompatíveis, que utilizam componentes de baixa qualidade e materiais inadequados, podem ocasionar superaquecimento, choques-elétricos, eletrocussão e incêndios danificando os DEP e colocando em risco a integridade física e a vida de consumidores (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b; HAZELWOOD; PECHT, 2021).

Geralmente carregadores vendidos junto com *smartphones* passam por verificações de qualidade e segurança antes de serem disponibilizados no mercado e são testados junto com as baterias destes dispositivos antes da sua comercialização, garantindo assim eficiência e integridade tanto do DEP quanto do consumidor (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b). Por esse motivo, aproximadamente 40% dos entrevistados na UE em 2019 preferem que carregadores de DEP continuem sendo vendidos junto com *smartphones* (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

No Brasil, por exemplo, desde 2022, a venda do carregador junto com o celular na embalagem é obrigatória em função de uma decisão da Justiça Federal deste país, após notificações do Ministério Público e orientações da Senacon (Secretaria Nacional do Consumidor). Entretanto, a incompatibilidade de conectores e protocolos de carregamento entre diversos modelos e marcas de DEP e a tendência da venda de DEP separada dos carregadores fomentam a busca dos consumidores por carregadores autônomos, sendo a maioria falsificados (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

Estima-se que 30 a 60% dos carregadores autônomos disponíveis no mercado da UE em 2019 podem não cumprir os padrões técnicos mínimos de desempenho e segurança exigidos por fabricantes de DEP (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

O relatório da *Electrical Safety First* constatou que apenas 1 de 64 carregadores falsificados da *Apple* vendidos na UE, incluindo Reino Unido, passou pelos testes técnicos e de segurança necessários para garantia da eficiência e segurança dos produtos (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

5.3.3 Falta de consciência ambiental dos consumidores

Embora a demanda por bens e serviços sustentáveis tenha aumentado ao redor do mundo, muitos consumidores não acreditam ou não entendem os benefícios da economia circular, seja por falta de informações ou pela conveniência do menor preço dos produtos não-circulares disponíveis no mercado (FOFOU; JIANG; WANG, 2021; PARAJULY et al., 2019; RIZOS; BRYHN, 2022). Sonogo, Echeveste e Debarba (2022) afirmam que a percepção, a conscientização e o envolvimento do consumidor nas estratégias de antecipação a geração de REEE é fundamental (SONEGO; ECHEVESTE; DEBARBA, 2022).

A UE tem buscado desde 2009 incentivar a economia circular de DEP e seus acessórios, através de instrumentos regulatórios e campanhas de conscientização, porém, aproximadamente 2/3 dos consumidores entrevistados em 2021 não estavam cientes dos impactos ambientais negativos relacionados ao ciclo de vida dos carregadores de DEP (EUROPEAN COMMISSION, 2021b). Em 2019, 87% dos consumidores entrevistados na UE manifestaram a necessidade de mais informações sobre a compatibilidade entre DEP e carregadores, além dos possíveis impactos ambientais associados ao ciclo de vida destes dispositivos (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

A rotulagem ecológica, por exemplo, pode ser uma estratégia interessante para a economia circular e o consumo sustentável de DEP e seus acessórios, permitindo aos usuários conhecer a composição química dos produtos, sua durabilidade, materiais, protocolos elétricos e de dados, orientações para uso, reuso, reparo, descarte e reciclagem, alertando ainda sobre impactos ecológicos e diminuindo possíveis incertezas dos consumidores sobre a qualidade, compatibilidade e segurança destes equipamentos (BRITISH STANDARDS, 2017; EUROPEAN COMMISSION, 2020, 2021b; EUROPEAN PARLIAMENT, 2009; GOLLAKOTA; GAUTAM; SHU, 2020; MAITRE-EKERN, 2021; O'CONNOR et al., 2016; WOJNAROWSKA; SOLTYSIK; PRUSAK, 2021).

No entanto, muitos fabricantes e associações da indústria são céticos em relação aos reais benefícios de um esquema de rotulagem em DEP, considerando que consumidores geralmente prestam pouca atenção em rótulos, principalmente quando a variedade de certificações e símbolos se acumulam (EUROPEAN COMMISSION, 2021b). A CE afirma que o custo para se administrar rótulos em produtos são

elevados, sendo estes inevitavelmente repassados para os consumidores ou para o poder público, elevando o preço de venda dos produtos ou aumentando tributos (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Dependendo da quantidade de informação inseridas nos rótulos, principalmente em EEE pequenos como DEP e acessórios, é necessário alterar todo o *design* do produto, apenas para satisfazer os requisitos de rotulagem obrigatórios, o que do ponto de vista ambiental é problemático, considerando o aumento desnecessário do consumo de materiais e alteração da estética e da ergonomia destes equipamentos (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Uma solução para o problema da rotulagem em equipamentos pequenos, como carregadores de DEP, é o uso de rotulagens eletrônicas, através de QR Code, podendo armazenar grandes quantidades de informações em diferentes idiomas (EUROPEAN COMMISSION, 2021b). Países como Austrália, Cingapura e Estados Unidos já utilizam a rotulagem eletrônica em seus DEP (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Outras estratégias interessantes de rotulagem é a classificação por cores, categorizando produtos, e a utilização de pictogramas, já que é mais fácil reconhecer uma imagem do que ler um texto, melhorando a compreensão de informações e advertências (BRITISH STANDARDS, 2017; EUROPEAN COMMISSION, 2021b; GOLLAKOTA; GAUTAM; SHU, 2020).

Independente da estratégia de comunicação adotada, é importante analisar se os requisitos de rotulagem ou certificação de EEE podem ajudar a aumentar a conscientização e a confiança do consumidor em relação a compatibilidade e a eficiência dos DEP e seus acessórios, promovendo um consumo mais sustentável e reduzindo o número de equipamentos fabricados e consequente REEE gerados no planeta (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

Entretanto, segundo Rizos e Bryhn (2022), nem sempre explicar os benefícios da economia circular e promover conscientização de fabricantes e consumidores é uma tarefa simples (RIZOS; BRYHN, 2022). Por fim, é importante destacar que um dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) é garantir que as pessoas em todos os lugares tenham informações e

conscientização relevantes para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza (ODS 12.8) (UNITED NATIONS, 2015).

Desta forma, torna-se necessário ampliar na população a consciência ambiental e o conhecimento sobre o ciclo de vida dos EEE, principalmente em relação aos DEP e seus acessórios (AGUIAR et al., 2022; CORDOVA-PIZARRO et al., 2020; PARAJULY et al., 2019; WOJNAROWSKA; SOŁTYSIK; PRUSAK, 2021). Informações fornecidas aos consumidores, através de campanhas de conscientização, facilitariam a compreensão sobre a compatibilidade dos DEP evitando, por exemplo, a substituição de DEP e seus acessórios de forma prematura (AGUIAR et al., 2022; CORDELLA et al., 2021; EUROPEAN COMMISSION, 2021b, a; EUROPEAN PARLIAMENT, 2009; ISLAM et al., 2021; MAITRE-EKERN, 2021; PARAJULY et al., 2019; RIZOS; BRYHN, 2022).

5.4 ELEMENTOS TECNOLÓGICOS

Os carregadores de DEP disponíveis atualmente no mercado são compostos pelo EPS e um cabo de ligação entre o EPS e o dispositivo, sendo estes componentes modulares e unidos por conectores, conforme Figura 1 (EUROPEAN COMMISSION, 2021b; RÉBAY, 2011). Um mesmo carregador pode ser compartilhado entre diversos DEP, desde que haja compatibilidade entre conectores e protocolos elétricos (EUROPEAN COMMISSION, 2021b; RÉBAY, 2011).

Figura 1 - Exemplo de carregador de DEP.

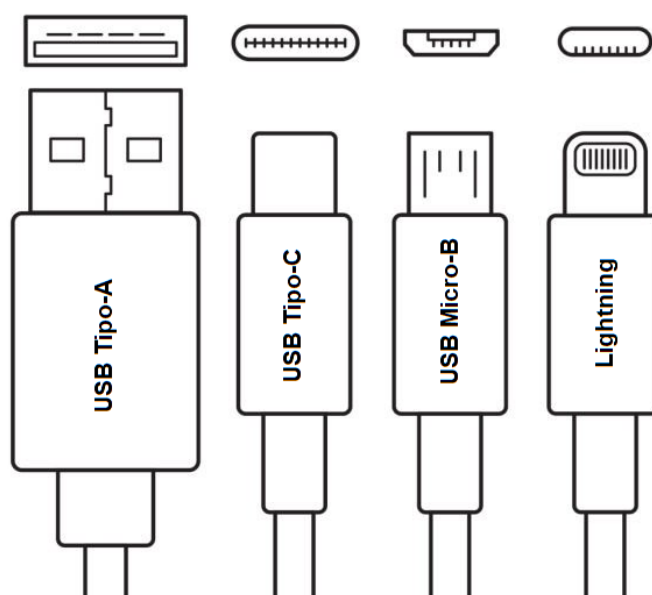


Fonte: www.magazineluiza.com

Existem quatro tipos de conectores de carregadores de DEP disponibilizados atualmente no mercado, conforme apresentado na Figura 2: o padrão USB Tipo-A utilizado na

maioria dos EPS; o padrão USB Tipo-C, utilizado tanto no EPS quanto no DEP; o padrão USB Micro-B utilizado em DEP mais antigos; e o padrão Lightning, da fabricante Apple, sendo este substituído gradativamente pelo padrão USB Tipo-C a partir do lançamento do Iphone 15, lançado em 2023 (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

Figura 2 - Padrão dos plugues e receptáculos dos carregadores de DEP.



Fonte: Produção do Próprio Autor.

Estima-se que aproximadamente 80% dos impactos ambientais associados ao desenvolvimento de novos produtos e 70% dos custos deste desenvolvimento são determinados nas fases de elaboração e projeto de produto (BRITISH STANDARDS, 2017; EUROPEAN COMMISSION, 2020; JUNGE, 2021). Dalhammar (2016) e Aguiar et al. (2022) afirmam que o desenvolvimento de novos EEE devem adotar constantemente alternativas para reduzir a rápida substituição destes equipamentos, evitando a obsolescência e estendendo a vida útil destes produtos (AGUIAR et al., 2022; DALHAMMAR, 2016).

Na elaboração e desenvolvimento de novos DEP, além dos requisitos técnicos e de funcionalidade, são analisados: aspectos sociais como segurança, saúde e usabilidade; aspectos de qualidade como desempenho e durabilidade; aspectos ambientais como modularidade, reparabilidade e sustentabilidade; aspectos econômicos como custos de fabricação e logísticos; aspectos legais como legislações, padrões técnicos e propriedade intelectual; entre outros (EUROPEAN PARLIAMENT, 2009). Esse processo na maioria das vezes não é linear e as equipes de

desenvolvimento de produtos EEE costumam voltar aos estágios de tomadas de decisão para reavaliá-los constantemente (VAN DE POEL, 2017).

Apesar dos *designers* de produto não terem controle total sobre a reação dos usuários no lançamento de um novo produto, considerando que muitas destas reações são subjetivas e particulares de cada indivíduo (SCHISCHKE et al., 2017), um novo produto precisa se conectar às práticas pessoais, sociais e às expectativas dos usuários, já que muitos consumidores não se sentem responsáveis pela durabilidade de seus DEP (PROSKE; JAEGER-ERBEN, 2019).

No desenvolvimento de carregadores de DEP, por exemplo, vários elementos são considerados no projeto de produto como escolha dos materiais, especificações elétricas (corrente, potência e voltagem), modelo de conectores e modularidade entre cabos e EPS (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

Assim, é extremamente necessário entender o grau de maturidade tecnológica de componentes de EEE quando se busca a padronização destes componentes, evitando que esta padronização estagne o desenvolvimento de novas tecnologias.

Neste tópico serão discutidos, de acordo com o material encontrado na revisão sistemática de literatura, a maturidade tecnológica necessária para padronização de EEE, a compatibilidade dos DEP e carregadores e o histórico dos protocolos elétricos e de transferência de dados dos padrões USB adotados em carregadores de DEP.

5.4.1 Maturidade tecnológica para padronização dos EEE

Entender se a padronização impede ou permite a inovação tecnológica é uma questão fundamental e a resposta para esta questão depende muitas vezes da maturidade tecnológica do produto no mercado, do status de desenvolvimento da tecnologia e do momento certo para regulamentar o padrão escolhido (EGYEDI, 2014; EUROPEAN COMMISSION, 2019; ORTT; EGYEDI, 2013, 2014).

A tecnologia de carregamento sem fio, por exemplo, é uma solução ainda em desenvolvimento e necessita de uma maturidade tecnológica um pouco mais consolidada para sua expansão no mercado (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b). Apesar desta tecnologia apresentar potencial de compatibilidade com

diversos dispositivos, reduzindo a obsolescência de conectores, sua eficiência de carregamento é muito inferior à dos carregadores que utilizam cabos e EPS (EUROPEAN COMMISSION, 2021a). Além disso, carregadores sem fio são mais pesados e com tecnologia mais sofisticada do que carregadores com fio, influenciando na durabilidade e obsolescência daqueles dispositivos, potencializando a geração de REEE (EUROPEAN COMMISSION, 2021a).

Treffers (2015) afirma que fornecedores de tecnologia de carregamento sem fio enfrentam diversas dificuldades em conciliar especificações técnicas como: distância ideal para transferência de energia entre carregador e dispositivo sem prejudicar a eficiência de carregamento; ou facilidade de uso derivado da alta tecnologia embutida no produto sem inviabilizar o custo desta tecnologia repassada ao consumidor (TREFFERS, 2015).

O autor reforça que a tecnologia de carregamento sem fio só será bem sucedida se houver compatibilidade tecnológica entre fabricantes e modelos de dispositivos, reduzindo o preço destes acessórios ao consumidor final pela fabricação em escala (TREFFERS, 2015). Estes periféricos utilizam um campo eletromagnético para transferir energia entre dois dispositivos por meio da indução eletromagnética (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Desta forma, os padrões apresentam um papel importante nos processos de difusão tecnológica, podendo ampliar ou restringir a inovação no desenvolvimento de produtos, dependendo de como são adotados (EGYEDI, T. M.; ORTT, 2017).

Entretanto, Dalhammar (2016) afirma que a busca por durabilidade de dispositivos ainda não maduros através da padronização, por exemplo, não faz o menor sentido tecnológico e comercial, já que estes dispositivos se encontram em constante competição no mercado e demandam altos investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico por parte das empresas (DALHAMMAR, 2016). Outros autores afirmam que a ausência de soluções tecnológicas concorrentes acaba desestimulando a busca de empresas por vantagens competitivas (EGYEDI, 2014; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b; RÉBAY, 2011; TREFFERS, 2015; VAN DE POEL, 2017).

A falta de uma interface padrão para os cartões de memória *flash* das antigas câmeras digitais (Sony Memory Stick, cartões CF, cartão SD, mini SD, Micro SD, entre outros), por exemplo, levou a uma corrida competitiva entre fabricantes incentivando a redução do tamanho e aumento da capacidade de memória destes cartões (EUROPEAN COMMISSION, 2019). O desenvolvimento do conector USB Tipo-C foi influenciado diretamente pelo *design* e pela rotatividade do encaixe do conector *Lightning*, da Apple (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Até 2011, por exemplo, existiam várias opções de conectores para carregadores de telefones celulares disponíveis no mercado e nenhuma delas apresentava compatibilidade ou eficiência de carregamento para todos os telefones celulares daquele ano (RÉBAY, 2011). Hoje, as diferentes gerações de especificações técnicas do padrão USB são compatíveis com versões anteriores e posteriores de *smartphones*, garantindo o carregamento e transferência de dados entre DEP, graças ao avanço na maturidade tecnológica destes dispositivos (EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2021b; RÉBAY, 2011).

Por outro lado, Egyedi (2014) afirma que apesar de os padrões concorrentes fomentarem a inovação tecnológica, eles também podem incentivar a geração de REEE e reduzir a conveniência do consumidor (EGYEDI, 2014).

Autores afirmam que um mercado baseado na competição tecnológica pode provocar um comportamento de insegurança no consumidor ao escolher uma solução que se tornará obsoleta em pouco tempo, gerando incertezas tanto para fabricantes quanto para o próprio mercado (BISSCHOP; HENDLIN; JASPERS, 2022; EGYEDI; MUTO, 2012; EGYEDI, 2014; EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019; TREFFERS, 2015).

O padrão USB Tipo-C é um *design* de interface USB que possui 24 pinos com conexão dupla, simétrica e rotacional, conseguindo carregar dispositivos com até 15W de potência, quando não associado ao protocolo USB PD, e até 100W de potência a 20V e 5A, quando associado ao protocolo USB PD, permitindo a alimentação de equipamentos que demandam mais energia como *notebooks* e *tablets* (AHMAD; FERNANDES, 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

Definir a interface USB Tipo-C como conector padrão para todos os carregadores de DEP é totalmente viável do ponto de vista técnico, considerando que este padrão internacional (IEC 62680-1-3), publicado em 2016, é relativamente maduro e amplamente utilizado e testado em diversos dispositivos (AHMAD; FERNANDES, 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b; HASANAH et al., 2019).

Para se ter uma noção da evolução da participação do mercado do Padrão USB Tipo-C, em 2016, praticamente 80% dos *smartphones* utilizavam o padrão USB Micro-B como receptáculo de carregamento e transferência de dados (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b). Em 2019, esse número caiu para 38%, enquanto os conectores USB Tipo-C e Lightning subiram para 44% e 18%, respectivamente, demonstrando um crescimento acentuado da utilização dos padrões USB Tipo-C em novos dispositivos vendidos ao consumidor (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

A tendência é que todos os padrões de interface de carregamento dos *smartphones* migrem o padrão USB Tipo-C até 2024 e que os demais DEP e EPS migrem para este mesmo padrão até 2030 (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

A Comissão Europeia entende que a padronização das interfaces dos conectores de DEP para o padrão USB Tipo-C não impede a inovação e o desenvolvimento de novas tecnologias, principalmente se esta padronização for limitada ao *design* dos conectores, deixando em aberto as especificações elétricas de carregamento (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

O padrão Quick Charge v4 da empresa Qualcomm, por exemplo, garante a compatibilidade entre diversos DEP com diferentes exigências de potência, através da adaptação dos protocolos elétricos do carregador (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

Apesar de a fabricante Apple afirmar que o padrão *Lightning* possui um tamanho menor do que o padrão USB Tipo-C, exigindo menos material para fabricação e ocupando menos espaço no receptáculo do dispositivo, possibilitando um *design* mais fino para os *smartphones* (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b), o fato é que o padrão USB Tipo-C possui características mais robustas em termos de potência e durabilidade se comparado a outros padrões tecnológicos concorrentes disponíveis

no mercado (AHMAD; FERNANDES, 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b; HASANAH et al., 2019).

Entretanto, apesar de o padrão USB Tipo-C ser considerando uma tecnologia madura em relação ao seu ciclo de vida, este padrão, muito provavelmente, se tornará obsoleto no futuro, dando espaço a uma nova geração de conectores USB ou novas tecnologias de carregamento que ainda estão em fase de desenvolvimento (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b). Assim, é fundamental que, caso este padrão seja adotado, ele seja revisado periodicamente, permitindo o desenvolvimento de novas soluções tecnológicas mais avançadas (EGYEDI, T. M.; WIDLAK, 2019; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b; RÉBAY, 2011).

Outras soluções incrementais consideradas inovadoras, como a utilização do padrão USB Tipo-C nos EPS em substituição ao padrão USB Tipo-A, predominante no mercado, permitindo que cabos tenham conectores iguais em ambos os lados, não são implementadas, devido ao potencial de geração de REEE sem necessidade que esta padronização poderia causar (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b). Em 2021, por exemplo, 79% dos EPS disponíveis no mercado apresentavam receptáculos com o padrão USB Tipo-A e apenas 17% o padrão USB Tipo-C, por ser um padrão já consolidado para DEP com requisitos de carregamento até 7,5W (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Representantes da Indústria de *smartphones* da UE argumentam que uma padronização obrigatória dos carregadores de DEP para o padrão USB-Tipo-C associado ao padrão USB PD pode prejudicar investimentos em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias, derivado principalmente da redução significativa dos *royalties* recebidos por patentes daquelas empresas (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b). Soluções com conectores magnéticos, utilizados em *notebooks* antigos da Apple, ou soluções com conectores reduzidos, para dispositivos miniaturizados, podem ser prejudicadas por iniciativas de padronização (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

5.4.2 Compatibilidade dos DEP e carregadores

DEP estão se tornando cada vez mais integrados aos sistemas de transporte, energia, saúde e segurança, sendo fundamentais para a conveniência da sociedade moderna, facilitando a execução de atividades e tornando o trabalho mais eficiente (PARAJULY et al., 2019). Entretanto, muitos destes dispositivos não possuem compatibilidade uns com os outros, ou por falta de padronização dos conectores ou por incompatibilidade dos protocolos elétricos ou de transferência de dados (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b; RÉBAY, 2011).

Os principais inconvenientes causados pela incompatibilidade e fragmentação dos carregadores de DEP se resumem a quatro fatores principais (CUCCHIETTI et al., 2011; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b, a; RÉBAY, 2011):

- 1 - ineficiência de carregamento dos dispositivos por falta de compatibilidade dos protocolos elétricos e de transferência de dados;
- 2 - acúmulo de carregadores obsoletos, considerando que novos DEP são na maioria das vezes vendidos com um novo cabo e/ou carregador na embalagem;
- 3 - falta de acesso a um carregador compatível e confusão ou falta de informação sobre qual carregador funciona com qual dispositivo;
- 4 – insegurança dos carregadores adquiridos de fabricantes autônomos, muitos deles falsificados ou contrabandeados.

Pelo menos um dos inconvenientes citados acima foram experimentados por aproximadamente 80% dos consumidores entrevistados na UE em 2019 (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b).

Aproximadamente 50% dos consumidores da UE em 2019 reclamaram da velocidade de carregamento dos dispositivos, após utilizarem carregadores incompatíveis; 40% relataram que receberam um novo carregador na compra de um novo *smartphone*, porém prefeririam continuar utilizando o carregador antigo, evitando o acúmulo de EEE; e aproximadamente 50% não sabiam que os novos carregadores disponibilizados no mercado eram compatíveis com diversos DEP e *smartphones*, independentemente do modelo do DEP ou fabricante, sendo que 30% tinham dúvidas sobre qual carregador

era compatível com qual *smartphone* (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b). Usuários do iPhone, por exemplo, relataram que os conectores *Lightning* são incompatíveis com a maioria dos DEP disponíveis no mercado, já que este padrão só é adequado à produtos da Apple (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

Assim, projetar DEP compatíveis entre diferentes marcas, modelos e gerações de produtos torna-se fundamental para o sucesso da economia circular, transparência do mercado e conveniência do consumidor (EGYEDI; MUTO, 2012; EGYEDI, T. M.; ORTT, 2017; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b; JUNGE, 2021; ORTT; EGYEDI, 2013, 2014; RÉBAY, 2011).

A pesquisa realizada na UE demonstra que aproximadamente 75% dos consumidores entrevistados em 2019 ficariam satisfeitos com a padronização dos conectores dos carregadores de DEP para um único padrão e nove em cada dez acham que os carregadores para *tablets* também deveriam ser padronizados (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

Ortt e Egyedi (2014) afirmam que padrões podem diminuir significativamente a variedade de soluções tecnológicas disponíveis no mercado, ampliando a compatibilidade de produtos e serviços, permitindo desta forma o compartilhamento de informações sobre projetos, processos de construção e requisitos de uso e aplicação entre diferentes fabricantes, tipos e modelos de produtos e serviços, possibilitando assim o desenvolvimento e aperfeiçoamento de novas tecnologias baseadas naquele padrão (ORTT; EGYEDI, 2014). Os autores definem a compatibilidade de *hardware* como uma interface universal entre dois dispositivos diferentes, permitindo a transferência de dados e de energia de forma segura e estabelecendo requisitos mínimos de funcionamento (EGYEDI, T. M.; ORTT, 2017).

A Comissão Europeia afirmou em 2019 que a padronização dos cabos, carregadores, conectores e protocolos elétricos e de transferência de dados de DEP, de uma forma ampla, leva a uma maior comodidade do consumidor, uma vez que seriam capazes de carregar não apenas *smartphones*, mas outros DEP a uma velocidade satisfatória, possibilitando a reutilização de carregadores e compra de dispositivos sem carregador (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a).

Análise de diferentes categorias de DEP confirmam que há uma muitos aparelhos com requisitos de carregamento muito semelhantes aos *smartphones* como *tablets*, *e-books*, *wearables*, relógios inteligentes, fones de ouvido, alto-falantes, câmeras e videogames portáteis (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

Muitos DEP disponíveis atualmente no mercado já são vendidos sem o carregador na embalagem, motivados principalmente pela padronização dos conectores e suposição de que a maioria dos consumidores já possuem um *smartphone* com carregador compatível em casa (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b). 37% dos consumidores da UE entrevistados em 2019 afirmaram que utilizavam o carregador do *smartphone* para carregar outros DEP (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

A compatibilidade de carregadores de DEP poderia ser garantida pelo padrão internacional IEC 63002:2021, atualizado recentemente pelo USB-IF, permitindo a compatibilidade dos EPS e DEP que implementam os padrões USB Tipo-C (IEC 62680-1-3) e USB PD (IEC 62680-1-2) (EUROPEAN COMMISSION, 2021b, a).

No entanto, muitos fabricantes questionam a necessidade de um carregador universal para todos os tipos e modelos de DEP vendidos atualmente, atendendo requisitos de carregamento de dispositivos simples e sofisticados, já que carregadores com os padrões USB Tipo-C e USB PD consomem mais materiais para serem fabricados e são tecnologicamente mais caros se comparados aos padrões USB Tipo-A e USB Micro-B (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

A padronização de conectores, protocolos elétricos e de transferência de dados dos carregadores poderia estender a vida útil dos DEP, facilitando a reutilização e o reparo destes dispositivos, reduzindo a quantidade de equipamentos fabricados e consequente geração de REEE e permitindo o compartilhamento de um mesmo carregador para diversos dispositivos e com diversos usuários (CORDELLA et al., 2021; CUCCHIETTI et al., 2011; EGYEDI; MUTO, 2012; RÉBAY, 2011). A padronização também evitaria a confusão sobre quais carregadores funcionam com quais dispositivos, principalmente em idosos e pessoas com deficiência visual e intelectual (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

5.4.3 Protocolos elétricos e de transferência de dados

Circuitos elétricos são definidos por três especificações principais: corrente (amperes); voltagem (volts); e potência (watts) sendo a potência definida pelo produto entre tensão e corrente ($P = A \times V$) (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

Equipamentos domésticos geralmente são projetados para suportar uma tensão máxima de até 240 volts, devido à limitação das redes de distribuição elétrica (BRASIL, 2020). Desta forma, equipamentos que necessitam de baixas voltagens, como DEP, precisam de fontes de alimentação externa (EPS) para converter corrente alternada (AC) em corrente contínua (DC) de baixa tensão, transferindo assim energia para as baterias sem danificar os dispositivos (AHMAD; FERNANDES, 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b; RÉBAY, 2011).

Cada bateria apresenta uma variação de circuito elétrico, sendo fundamental que as especificações elétricas dos carregadores sejam compatíveis com estas baterias para garantir uma recarga eficiente (AHMAD; FERNANDES, 2020; CUCCHIETTI et al., 2011; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b; RÉBAY, 2011).

Assim, buscando a padronização das especificações elétricas e dos protocolos de carregamento dos DEP, o USB Promoter Group, formado por mais de 100 membros do UBS IF (*Implementers Forum*), estabeleceu em 2013 um acordo de cooperação com a IEC (*International Electrotechnical Commission*) para adotar tecnologias USB de forma universal nos carregadores de DEP (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

Assim, o *Universal Serial Bus* (USB) é um padrão composto por um conjunto de especificações para cabos, conectores e protocolos responsáveis pela transferência de dados e energia, entre EEE ou entre EPS e EEE (AHMAD; FERNANDES, 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b). Desde a década de 1990, o protocolo Universal Serial Bus (USB) se tornou predominante no mercado de DEP permitindo conexões padronizadas entre dispositivos e seus periféricos, permitindo o carregamento de baterias e transferência de dados (AHMAD; FERNANDES, 2020).

Sua primeira versão (USB 1.0) foi lançada no mercado em 1996 buscando facilitar a conexão dos computadores pessoais com seus periféricos, permitindo a transferência de dados e de energia entre dispositivos (AHMAD; FERNANDES, 2020; EUROPEAN

COMMISSION, 2021b; HASANAH et al., 2019). Este padrão permitia a transferência de dados de 1,5 Mbps/s, tensão de 5V e corrente de 100mA totalizando 0,5W de potência (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Na mesma década (1990), foi lançado o padrão USB 1.1 com uma corrente de 500mA e potência de até 2,5W aumentando significativamente a taxa de transferência de dados para 12 Mbps/s (AHMAD; FERNANDES, 2020). Em 2001 foi introduzido o USB 2.0 com uma taxa de transferência de dados de 480Mbps/s mantendo a mesma limitação de tensão, corrente e potência da versão anterior (AHMAD; FERNANDES, 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2021b). O padrão USB 3.0, lançado em 2008, com potência de até 4,5W, possibilitou o aumento da taxa de transferência de dados para 5Gbits/s a uma corrente de 0,9A, entretanto, este padrão não era indicado para carregadores de DEP disponíveis à época no mercado (AHMAD; FERNANDES, 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Em 2014 foi disponibilizado no mercado o padrão USB 3.1, dobrando a capacidade de transferência de dados para 10Gbits/s em comparação a versão anterior, sendo que três anos depois, em 2017, foi lançado o padrão USB 3.2, com taxa de transferência de 20Gbits/s, mantendo as mesmas especificações elétricas do padrão USB 3.0 (AHMAD; FERNANDES, 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2021b). Já a versão USB 4.0, lançada em 2019, baseada nos padrões USB 2.0 e 3.2, permite a transferência de dados simultâneos a uma taxa de 40Gbits/s, entretanto, esta última versão só é compatível com o *design* de conectores USB Tipo-C (EN-IEC 62680-1-3) e protocolos USB PD (EN-IEC 62680-1-2) (AHMAD; FERNANDES, 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

O protocolo USB-PD (Power Delivery), lançado em 2012 e atualizado em 2019, é responsável pelo controle da tensão de saída dos carregadores, permitindo que um mesmo EPS carregue desde dispositivos simples, como caixas de som e leitores digitais, que exigem até 7,5W de potência, até dispositivos que demandam mais energia, como monitores e laptops (AHMAD; FERNANDES, 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b; HASANAH et al., 2019). Este padrão evita danos à bateria dos DEP e maximiza o desempenho destes dispositivos (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

A *International Electrotechnical Commission* (IEC), responsável pelas publicações das normas técnicas referentes aos conectores e protocolos elétricos dos padrões USB, está prestes a publicar uma revisão de seu padrão IEC 63002, buscando a compatibilidade de carregamento dos EPS, cabos e conectores para o padrão USB Tipo-C (IEC 62680-1-3 e IEC 62680-1-2) (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

A diferença dos padrões USB 1.0 até o 4.0, para os padrões USB Tipo-A, Micro-B e Tipo-C, utilizados nos carregadores de DEP atualmente é que o primeiro refere-se aos protocolos elétricos e de transferência de dados e o segundo refere-se ao *design* dos conectores (AHMAD; FERNANDES, 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2019).

5.5 ELEMENTOS AMBIENTAIS

Estima-se que em 2019 tenham sido vendidos cerca de 137,7 milhões de DEP somente na Europa com um aumento das vendas médias de *tablets*, caixas de som portáteis e fones de ouvido; e uma redução das vendas de câmeras digitais, leitores digitais, dispositivos MP3 e videogames portáteis, já que estes dispositivos estão sendo substituídos gradativamente por *smartphones* (ALTHAF; BABBITT; CHEN, 2021; CUCCHIETTI et al., 2011; EUROPEAN COMMISSION, 2021b; PARAJULY et al., 2019).

Desde o surgimento dos DEP, como telefones celulares, *walkmans* e vídeo games portáteis até o ano de 2011, mais de 10 bilhões de carregadores já haviam sido vendidos no mundo (RÉBAY, 2011). Todos estes carregadores vendidos até aquele ano são atualmente incompatíveis com os DEP vendidos hoje no mercado. Atualmente estes periféricos de DEP são responsáveis por cerca de 11.000 a 13.000 toneladas de REEE gerados por ano no planeta (AHMAD; FERNANDES, 2020; CUCCHIETTI et al., 2011; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b).

A UE estima que as emissões anuais de GEE, associadas ao ciclo de vida destes carregadores, sejam de aproximadamente 1.142.000 toneladas de CO₂eq. em 2023, uma média de 600.000 a 900.000 toneladas por ano desde 2018, sendo que mais de 80% dessas emissões se referem ao ciclo de vida dos EPS, devido ao circuito eletroeletrônico interno e ao peso desses equipamentos em relação aos cabos (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b).

Atualmente, a Diretiva de REEE da UE estabelece metas de coleta, reciclagem, reutilização e recuperação para 10 grupos diferentes de REEE. No entanto, não há menção específica em relação aos carregadores de DEP, como *smartphones* (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Apesar do volume de materiais utilizados para fabricação dos carregadores de DEP serem irrisórios em relação ao volume total de matéria-prima consumida no mundo, média de 21.829 toneladas até 2030, este volume não pode ser negligenciado (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

5.5.1 Materiais utilizados na fabricação dos DEP

Apesar da maioria das informações sobre os materiais utilizados nos carregadores de DEP não serem fornecidas pelos fabricantes nas fichas técnicas de DEP, por serem considerados EEE secundários, estima-se que aproximadamente 51% do peso destes periféricos referem-se a plástico, 6% ao cobre dos circuitos eletrônicos e o restante uma mistura de outros materiais, sendo que 30% destes materiais são recicláveis (CUCCHIETTI et al., 2011; EUROPEAN COMMISSION, 2021a, b).

Quando mais potente é um carregador, mais cobre e alumínio são necessários nos condutores de cabos e EPS, sendo que um EPS com potência acima de 15W apresenta em média 10% mais cobre e 20% mais alumínio do que um EPS com potência até 7,5W (CUCCHIETTI et al., 2011; EUROPEAN COMMISSION, 2021b). O material utilizado nos conectores destes dispositivos também sofre uma variação significativa dependendo do padrão adotado. Estima-se que a quantidade de cobre contida nos conectores USB Tipo-C é 55% maior do que nos conectores USB Tipo-A ou USB Micro-B (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Com relação ao peso e ao volume destes equipamentos, o peso médio de um carregador é 60g, sendo que 70% deste peso se refere ao EPS e 30% ao cabo (CUCCHIETTI et al., 2011; EUROPEAN COMMISSION, 2021a). Já o volume destes periféricos não tem relação com sua potência e material utilizado e sim com o *design* do produto (CUCCHIETTI et al., 2011).

Apesar das poucas informações encontradas na literatura sobre a composição dos carregadores de DEP, entender quais são os materiais empregados nestes

equipamentos, incluindo a origem destes materiais, por fonte primária ou secundária, é fundamental para compreender a escala dos impactos ambientais gerados por estes dispositivos (EUROPEAN COMMISSION, 2021a, b).

Estima-se que 40% dos polímeros e 26% dos metais presentes nos carregadores de DEP são potencialmente recicláveis, conseguindo retornar ao ciclo produtivo como fonte secundária (EUROPEAN COMMISSION, 2019), entretanto, o estudo realizado pela Comissão Europeia em 2021 aponta que o baixo valor destes periféricos e a dificuldade na separação de componentes torna a reciclagem destes dispositivos economicamente inviável (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

5.5.2 Modularidade dos DEP

Uma das estratégias para durabilidade dos DEP e extensão do seu tempo de vida útil, evitando a geração de REEE e incentivando a reutilização destes equipamentos, é projetar produtos que permitam a substituição de peças e componentes através da modularidade de componentes e da padronização de receptáculos e conectores seguindo princípios de *ecodesign* (ALTHAF; BABBITT; CHEN, 2021; BALKENENDE; BAKKER, 2015; BRITISH STANDARDS, 2017; CORDELLA et al., 2021; CORDOVA-PIZARRO et al., 2020; DALHAMMAR, 2016; DIAZ et al., 2021; EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN PARLIAMENT, 2009; FOFU; JIANG; WANG, 2021; GOLLAKOTA; GAUTAM; SHU, 2020; HAZELWOOD; PECHT, 2021; ISLAM et al., 2021; JUCHNESKI; ANTUNES, 2022; JUNGE, 2021; KHAN et al., 2018; LEAL et al., 2020; MAITRE-EKERN, 2021; O'CONNOR et al., 2016; PARAJULY et al., 2019; POLVERINI, 2021; PROSKE, 2022; PROSKE; JAEGER-ERBEN, 2019; REIKE; VERMEULEN; WITJES, 2018; SCHISCHKE et al., 2017; SONEGO; ECHEVESTE; DEBARBA, 2022; SVENSSON-HOGLUND et al., 2021; TALENS PEIRÓ; ARDENTE; MATHIEUX, 2017; TECCHIO et al., 2017; VAN DE POEL, 2017; VANEGAS et al., 2018). Os carregadores e DEP, por exemplo, são periféricos que desde 2009 vem adotando estratégias de modularidade, conectando cabos e EPS por plugues e receptáculos. (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b).

No entanto, diversos autores afirmam que nem sempre DEP modulares são sinônimos de sustentabilidade, já que essa modularidade exige um número maior de conectores e receptáculos, muitos deles utilizando metais nobres ou magnéticos, consumindo

assim mais materiais escassos e variados para fabricação de peças sobressalentes (JUNGE, 2021; O'CONNOR et al., 2016; PROSKE, 2022; PROSKE; JAEGER-ERBEN, 2019; ROMARE et al., 2021; SCHISCHKE et al., 2017).

Proske e Jaeger-Erben (2019) destacam que a necessidade de materiais adicionais para conectores e componentes modulares precisa ser investigada de forma mais aprofundada pela literatura, verificando se esta estratégia de *ecodesign* é realmente efetiva para redução de impactos ambientais (PROSKE; JAEGER-ERBEN, 2019).

Outra desvantagem da modularidade dos DEP e seus periféricos são problemas relacionados a infiltração de líquidos e poeira entre os módulos e conectores, gerando falhas por oxidação ou defeito (PROSKE, 2022; PROSKE; JAEGER-ERBEN, 2019). Entretanto, a alternativa do uso de adesivos ou soldas prejudica a separação dos componentes eletroeletrônicos inviabilizando iniciativas de reparo, remanufatura e desmontagem para reciclagem (CORDELLA et al., 2021; PROSKE, 2022).

Schischke et al. (2017) também afirmam que a modularidade em DEP também pode ser prejudicada pela falta de compatibilidade de componentes de diferentes modelos de dispositivos e fabricantes (SCHISCHKE et al., 2017).

Desta forma, Cole (2019) destaca que é necessário fortalecer legislações de incentivo ao *design* modular e a padronização de peças e componentes de DEP e seus acessórios, promovendo a compatibilidade entre produtos de diferentes fabricantes, facilitando assim a separação de materiais e componentes e a reutilização destes dispositivos (COLE et al., 2019).

Artigos encontrados na revisão sistemática de literatura demonstram que há uma preocupação significativa em relação à facilidade de substituição de componentes proporcionada pela modularidade, induzindo a troca destes componentes sem necessidade, apenas para acompanhar atualizações tecnológicas ou estéticas, prejudicando os benefícios ambientais do prolongamento da vida útil destes itens (BRIDGENS et al., 2019; DIAZ et al., 2021; PROSKE; JAEGER-ERBEN, 2019; SCHISCHKE et al., 2022; SONEGO; ECHEVESTE; DEBARBA, 2022).

5.5.3 Impactos ambientais da padronização

Vários estudos afirmam que a padronização dos conectores de carregadores de DEP para o padrão USB Tipo-C associada a estratégias de reutilização pode reduzir significativamente a produção e consequente geração de REEE a longo prazo (AHMAD; FERNANDES, 2020; CUCCHIETTI et al., 2011; DE VRIES et al., 2018; EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b).

Egyedi e Muto (2012), em estudo sobre a padronização dos carregadores de DEP, destacam que os padrões podem reduzir o consumo de materiais e energia necessários para fabricação, distribuição e comercialização destes periféricos, reduzindo a geração de REEE e emissões de GEE (EGYEDI; MUTO, 2012).

Segundo estudo realizado pela Comissão Europeia em 2021, esta padronização dos carregadores de DEP poderia reduzir as emissões de GEE em aproximadamente 180.000 toneladas de CO₂ por ano, considerando a redução do número de cabos e EPS fabricados e consumidos (EUROPEAN COMMISSION, 2021a). Essa redução se deve principalmente à qualidade dos conectores padronizados e à possível compatibilidade entre diferentes DEP e seus carregadores, permitindo a reutilização desses equipamentos (EUROPEAN COMMISSION, 2021a).

Entretanto, apesar do padrão USB Tipo-C associado ao padrão USB-PD ser maduro e totalmente viável do ponto de vista técnico (AHMAD; FERNANDES, 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b; HASANAH et al., 2019), representantes da indústria entrevistados em 2019 pela Comissão Europeia alegam que muitos dispositivos que exigem baixa potência não necessitam de carregadores com potência acima de 10W (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b) e que se os requisitos potência para EPS fossem obrigatórios até 100W, isso exigiria mais cobre e alumínio nos condutores, aumentando o preço do produto ao consumidor final e reduzindo a vida útil das baterias dos dispositivos que não exigem tanta potência (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

5.6 ELEMENTOS LEGAIS

A maioria dos problemas relacionados a padronização de EEE, incluindo a resistência de fabricantes que possuem tecnologias próprias, estão relacionados à falta de

articulação prévia com *stakeholders* para tomadas de decisão, ao momento impróprio para padronização devido à falta de maturidade tecnológica do padrão, o pouco tempo necessário para adaptação das linhas de produção, a escolha imprópria ou imposta do que deve ser padronizado e ao tipo de instrumento escolhido para padronização, voluntário ou obrigatório (DALHAMMAR, 2016; EGYEDI, 2014; EGYEDI, T.; MUTO, 2014; EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021b; ORTT; EGYEDI, 2013).

Neste tópico serão discutidos, de acordo com o material encontrado na revisão sistemática de literatura, as incertezas sobre os acordos comerciais e restrições legais envolvendo DEP, a importância da origem do padrão escolhido para os DEP e seus periféricos, o tipo de instrumento adotado para a padronização, a necessidade de revisão periódica das normas de padronização e os custos e problemas associados às atividades de avaliação da conformidade e fiscalização de DEP.

5.6.1 Incertezas sobre acordos comerciais e restrições legais

A padronização compulsória de peças e componentes eletroeletrônicos gera uma série de desafios tecnológicos, inseguranças jurídicas e incertezas entre *stakeholders*, principalmente quando há mais de uma solução tecnológica competindo pelo mercado consumidor (DE VRIES et al., 2018; EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2019; FOFU; JIANG; WANG, 2021).

Regulamentos e legislações que são restritos a alguns países, com mercado consumidor pequeno, acabam prejudicando toda uma cadeia produtiva em expansão, impactando fabricantes, importadores e consumidores de DEP e seus acessórios (BRITISH STANDARDS, 2017; DE VRIES et al., 2018; EGYEDI; MUTO, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021a, b), já que é economicamente inviável para empresas alterar linhas de produção em série buscando atender a padrões específicos de conectores e protocolos elétricos regulamentados por diferentes países (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

Organismos responsáveis pela padronização de EEE afirmam que o ideal é que iniciativas de padronização, como no caso dos carregadores de DEP, sejam baseadas em padrões internacionais, após consulta a Organização Mundial do Comércio

(OMC), evitando barreiras técnicas ao comércio internacional (BRITISH STANDARDS, 2017; EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021a, b).

As únicas exceções são as normas para proteção ambiental e proteção dos interesses de consumidores, conforme texto do Acordo da OMC sobre Barreiras Técnicas ao Comércio (TBT) (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

Assim, dependendo da gravidade do problema a ser resolvido, estratégias como a padronização compulsória de EEE promovida a um mercado consumidor, como o da UE, ou até mesmo do Brasil, pode ser positiva para economia circular, influenciando a padronização de EEE em mercados consumidores de outros países (DALHAMMAR, 2016; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b, a).

Entretanto, vários autores afirmam que a padronização obrigatória dos carregadores de DEP no mercado europeu, por exemplo, pode gerar uma série de barreiras técnicas não-tarifárias para fabricantes com soluções tecnológicas alternativas, impedindo a comercialização de produtos com tecnologias concorrentes e inibindo investimentos em tecnologia e inovação (EGYEDI; MUTO, 2012; EGYEDI, T. M.; WIDLAK, 2019; EUROPEAN COMMISSION, 2021b; ORTT; EGYEDI, 2014; RÉBAY, 2011).

O fato é que quaisquer iniciativas de padronização de carregadores de DEP deveriam ser realizada por consenso entre *stakeholders*, baseado em um contexto geopolítico mais amplo, analisando possíveis impactos técnicos, socioambientais e econômicos que esta padronização possa gerar (COLE et al., 2019; EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019; SHITTU; WILLIAMS; SHAW, 2021; TECCHIO et al., 2017).

5.6.2 Origem do padrão escolhido para os EEE

A origem do padrão e a forma com que o padrão é desenvolvido também reflete diretamente na aceitação deste padrão por empresas e consumidores (EGYEDI, T. M.; ORTT, 2017). A padronização de EEE pode ser proposta por empresas específicas, por um consórcio de empresas, por comitês, por iniciativas governamentais, por grupos de consumidores, entre outros representantes de classe e órgãos responsáveis pela elaboração de normas técnicas (DE VRIES et al., 2018; EGYEDI, 2014; EGYEDI, T. M.; ORTT, 2017; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b; TECCHIO et al., 2017).

Na UE, por exemplo, os padrões de DEP são desenvolvidos por três organizações oficialmente reconhecidas: o Comitê Europeu de Padronização (CEN), o Comitê Europeu de Padronização Eletrotécnica (CENELEC) e o Instituto Europeu de Padrões de Telecomunicações (ETSI); sendo que o CEN e o CENELEC seguem diretrizes da Organização Internacional de Normalização (ISO) e da Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Assim, o desenvolvimento de padrões pode se dar através da colaboração entre *stakeholders*, por acordos negociados; através da concorrência, proporcionada pela disputa tecnológica entre *stakeholders*; ou pela imposição do poder público, buscando regulamentar um mercado extremamente fragmentado e prejudicial ao consumidor ou ao meio ambiente (EGYEDI, 2014; EGYEDI, T. M.; WIDLAK, 2019; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

Entretanto, comitês de padronização, formados por empresas concorrentes, acabam buscando interesses privados que nem sempre favorecem o todo (EGYEDI, T. M.; WIDLAK, 2019; PARAJULY et al., 2019). O exemplo da padronização dos carregadores de DEP ilustra como a colaboração pela indústria, buscando o desenvolvimento de um padrão, nem sempre é adotado por todas as empresas envolvidas (EGYEDI; MUTO, 2012).

Juchneski e Antunes (2022) destacam que a consolidação dos padrões deve ser constante para se alcançar benefícios socioambientais efetivos para todos.

5.6.3 Tipo de instrumento escolhido para a padronização

O processo ideal de padronização de componentes de EEE também envolve várias etapas de tomada de decisão, baseado em estudos específicos, debates públicos e consultas a *stakeholders*, além de documentos provisórios elaborados por organizações responsáveis pela elaboração de normas técnicas, que ao final resultam em uma norma de padronização definitiva estabelecida por consenso entre *stakeholders* (DE VRIES et al., 2018; EGYEDI; MUTO, 2012; EGYEDI, T. M.; ORTT, 2017; EGYEDI, T. M.; WIDLAK, 2019; EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021a; TECCHIO et al., 2017, 2018).

Em pesquisa realizada por Egyedi e Ortt (2017), buscando classificar os padrões para pesquisas futuras sobre inovação, os autores destacam que uma iniciativa de

padronização de EEE deveria considerar se o padrão será obrigatório ou voluntário, quais produtos e componentes deverão ser padronizados, a forma com que o padrão é formulado e por quem é formulado, o tempo de vigência destes padrões, sua maturidade tecnológica e a duração das fases de adaptação para fabricantes, importadores e consumidores (EGYEDI, T. M.; ORTT, 2017).

Assim, iniciativas de padronização de EEE, como as implementadas pela UE para DEP e carregadores, podem seguir dois caminhos: o voluntário, implementado pelo consenso entre empresas; ou o obrigatório, imposto pelo poder público através de restrições legais (EGYEDI, T. M.; WIDLAK, 2019; EUROPEAN COMMISSION, 2019).

Memorandos de entendimento, protocolos de intenções e acordos setoriais são exemplos de instrumentos utilizados em uma padronização voluntária de EEE, não vinculando obrigações entre as partes envolvidas, apenas o comprometimento, a responsabilidade e a convergência de vontades entre os signatários (BRASIL, 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2021a, b). Já leis, decretos, regulamentos, diretivas e outros instrumentos legais congêneres são vinculativos, obrigando o cumprimento de regras passíveis de fiscalização (BRASIL, 2010).

Marcas que desenvolvem tecnologias para DEP argumentam que um acordo voluntário para padronização destes dispositivos e seus periféricos, como carregadores, é mais adequado, forçando empresas a cumpri-los para evitar o isolamento no mercado (EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021b).

Estas mesmas marcas argumentam que a opção pelo cumprimento de uma padronização deveria ficar sempre a critério das empresas, baseado nos requisitos dos DEP e periféricos, testes nos dispositivos e estudos do mercado, sendo esta informação confirmada por 64% dos fabricantes entrevistados em 2019 pela UE (EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021b).

Uma padronização voluntária, por exemplo, possibilita que fabricantes utilizem tecnologias proprietárias, protegidas por patentes, incentivando desta forma a continuidade dos investimentos em inovação buscando vantagens econômicas no mercado, evitando assim a estagnação da tecnologia que foi padronizada (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b).

Entretanto, Bisschop, Hendlin e Jaspers (2022) sustentam que não se pode esperar das empresas que elas façam modificações em seus produtos voluntariamente, a não ser que fabricantes estejam dispostos a entender o ciclo de vida de seus produtos e aceitem a concorrência equilibrada proporcionada pelos novos padrões disponibilizados no mercado (BISSCHOP; HENDLIN; JASPERS, 2022).

Desta forma, imposições legislativas podem ser necessárias quando a competição pelo mercado consumidor se torna prejudicial à concorrência, ao consumidor e ao meio ambiente, tornando produtos obsoletos de forma prematura (CORDOVA-PIZARRO et al., 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019).

No caso dos carregadores de DEP, o poder público pode analisar cuidadosamente os benefícios e os custos de uma padronização obrigatória dos conectores destes dispositivos, discriminando quais dispositivos devem ser padronizados e analisando se os efeitos desta padronização obrigatória não seriam semelhantes aos de uma padronização voluntária (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

Caso a padronização de carregadores de DEP fosse voluntária, seria necessário estabelecer mecanismos eficientes para garantir o cumprimento do acordo por parte dos *stakeholders*, ter certeza da neutralidade tecnológica do padrão adotado e não discriminar tecnologias concorrentes e inovadoras, permitindo a revisão periódica e atualização dos padrões estabelecidos (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

A adoção dos padrões USB Tipo-C e USB PD em carregadores de DEP será obrigatória a partir de 2024 na UE (EUROPEAN COMMISSION, 2021a). Antes desta padronização, a única exigência da UE para carregadores de DEP referia-se à questões documentais como: o símbolo de conformidade do dispositivo (CE) em relação à saúde, segurança e proteção ambiental; a Declaração de Conformidade da UE (DoC); os requisitos de rastreabilidade contendo o nome, o nome comercial da empresa e o endereço de contato do fabricante estampados no produto ou embalagem; e documentos com detalhes técnicos do projeto, fabricação, operação e requisitos de conformidade (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Em 2019, aproximadamente 63% dos cidadãos consultados na UE foram a favor da padronização obrigatória dos conectores dos carregadores de DEP, 31% achavam

que a padronização deveria ser voluntária e apenas 6% disseram que o poder público não deveria adotar qualquer forma de intervenção para padronização destes periféricos (EUROPEAN COMMISSION, 2021a).

5.6.4 Necessidade de revisão das normas de padronização

Após a especificação de um padrão, sua consolidação no mercado, na maioria das vezes, é lenta e aplicada sempre a novos produtos, que acabam convivendo por um longo período com padrões paralelos, até que sua substituição e consolidação ocorra por completo no mercado (TREFFERS, 2015). A especificação do protocolo Wi-Fi, por exemplo, foi elaborada em 1997 e só conquistou 50 milhões de unidades em 2004; já a especificação do Bluetooth, de 1999, só chegou a 50 milhões de unidades implementadas em 2003 (TREFFERS, 2015).

A verdade é que regulamentos e legislações obrigando o estabelecimento de padrões sempre estarão atrasados em relação ao constante desenvolvimento tecnológico de EEE, sendo fundamental a revisão dos padrões de forma periódica e envolvendo diversos *stakeholders* (EGYEDI, T. M.; WIDLAK, 2019; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b; RÉBAY, 2011).

A padronização em etapas, respeitando a maturidade tecnológica do padrão implementado, aumenta a previsibilidade e o planejamento a longo prazo de fabricantes e reduz incertezas de consumidores sobre a eficiência do padrão (BISSCHOP; HENDLIN; JASPERS, 2022; EGYEDI, 2014; EUROPEAN COMMISSION, 2009, 2019, 2021b; TREFFERS, 2015).

O padrão USB Tipo-C para carregadores de DEP, por exemplo, já é um padrão maduro e consolidado no mercado, gerando poucos problemas para *stakeholders*, caso sua utilização fosse imposta a nível mundial (AHMAD; FERNANDES, 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021a, b; HASANAH et al., 2019). Assim, é fundamental haver atualizações periódicas nas normas e regulamentos que impõem padrões aos DEP, permitindo a atualização periódica destes especificações e a compatibilidade dos novos equipamentos disponíveis no mercado (EUROPEAN COMMISSION, 2021a).

5.6.5 Custos com avaliação da conformidade e fiscalização

A fiscalização e a avaliação da conformidade de EEE, dependendo do país, pode ser realizada por órgãos governamentais, de forma direta, ou pela iniciativa privada, com poderes delegados pelo poder público, deste que ocorra a imparcialidade e o conhecimento técnico necessário para execução deste tipo de atividade (DE VRIES et al., 2018; EUROPEAN COMMISSION, 2009).

Os requisitos de avaliação da conformidade e as regras para fiscalização de produtos devem ser claros e objetivos, garantindo que autoridades possam verificar a adequação dos produtos às normas de padronização (EUROPEAN COMMISSION, 2009).

Essas verificações podem ser realizadas diretamente no produto, através de testes, ou com base em documentos técnicos, como relatórios e mecanismos de rotulagens (EUROPEAN COMMISSION, 2009). Entretanto, Wojnarowska, Sołtysik e Prusak (2021) ponderam que um sistema de rotulagem confuso ou a falta de fiscalização no mercado consumidor podem incentivar a falsificação de informações, prejudicando a credibilidade destas informações contidas no EEE (EUROPEAN COMMISSION, 2021b; WOJNAROWSKA; SOŁTYSIK; PRUSAK, 2021).

É importante ressaltar que avaliações da conformidade e fiscalizações de EEE geram custos operacionais significativos para o poder público e para iniciativa privada, variando de acordo com o instrumento adotado e o tempo necessário para fabricantes e importadores se adequarem as novas regras estabelecidas (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b). Para participar do rótulo ecológico da UE, por exemplo, as empresas precisam pagar uma taxa proporcional ao tamanho do negócio, ao tipo de produto disponibilizado no mercado e ao órgão responsável pelo mecanismo de rotulagem (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Em 2018, a USB-IF passou a permitir que fabricantes utilizem o logotipo da USB-IF em carregadores com o padrão USB PD, possibilitando que qualquer fabricante verifique a compatibilidade de seus produtos seguindo as regras deste programa (EUROPEAN COMMISSION, 2021b). Entretanto, muitos fabricantes de DEP decidiram não certificar seus produtos, por não enxergaram vantagens nesta certificação, mesmo em conformidade com o padrão USB PD, evitando assim custos

administrativos relacionados certificação e engenharia reversa de seus produtos (EUROPEAN COMMISSION, 2021b).

Em relação a avaliação da conformidade de DEP e seus periféricos, o ideal é que fabricantes demonstrem a conformidade de seus produtos antes de disponibilizá-los no mercado (DALHAMMAR, 2016; EUROPEAN COMMISSION, 2021b; JUCHNESKI; ANTUNES, 2022; MAITRE-EKERN, 2021).

A quantidade de matéria-prima ou a quantidade de material reciclado utilizado em um DEP, por exemplo, não pode ser analisada por ensaios não-destrutivos, após a fabricação e montagem do produto, impossibilitando a coleta de dados da origem dos materiais utilizados nestes dispositivos (DALHAMMAR, 2016; POLVERINI, 2021).

É fundamental também que haja um controle mais rígido por parte do poder público e órgãos responsáveis pela fiscalização dos carregadores falsificados vendidos no mercado *online* (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

Autoridades responsáveis pela avaliação da conformidade e fiscalização de DEP e carregadores encontram sérias dificuldades em acompanhar o comércio eletrônico de forma efetiva, garantindo regras de segurança e qualidade destes equipamentos (EUROPEAN COMMISSION, 2019, 2021b; ISLAM et al., 2021).

5.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, fica claro que a padronização dos DEP, com a adoção de carregadores universais do modelo USB Tipo-C, abrangeria uma ampla gama de dispositivos, sendo uma estratégia tanto de não-geração quanto de redução da geração de REEE, conforme ilustrado na Figura 3.

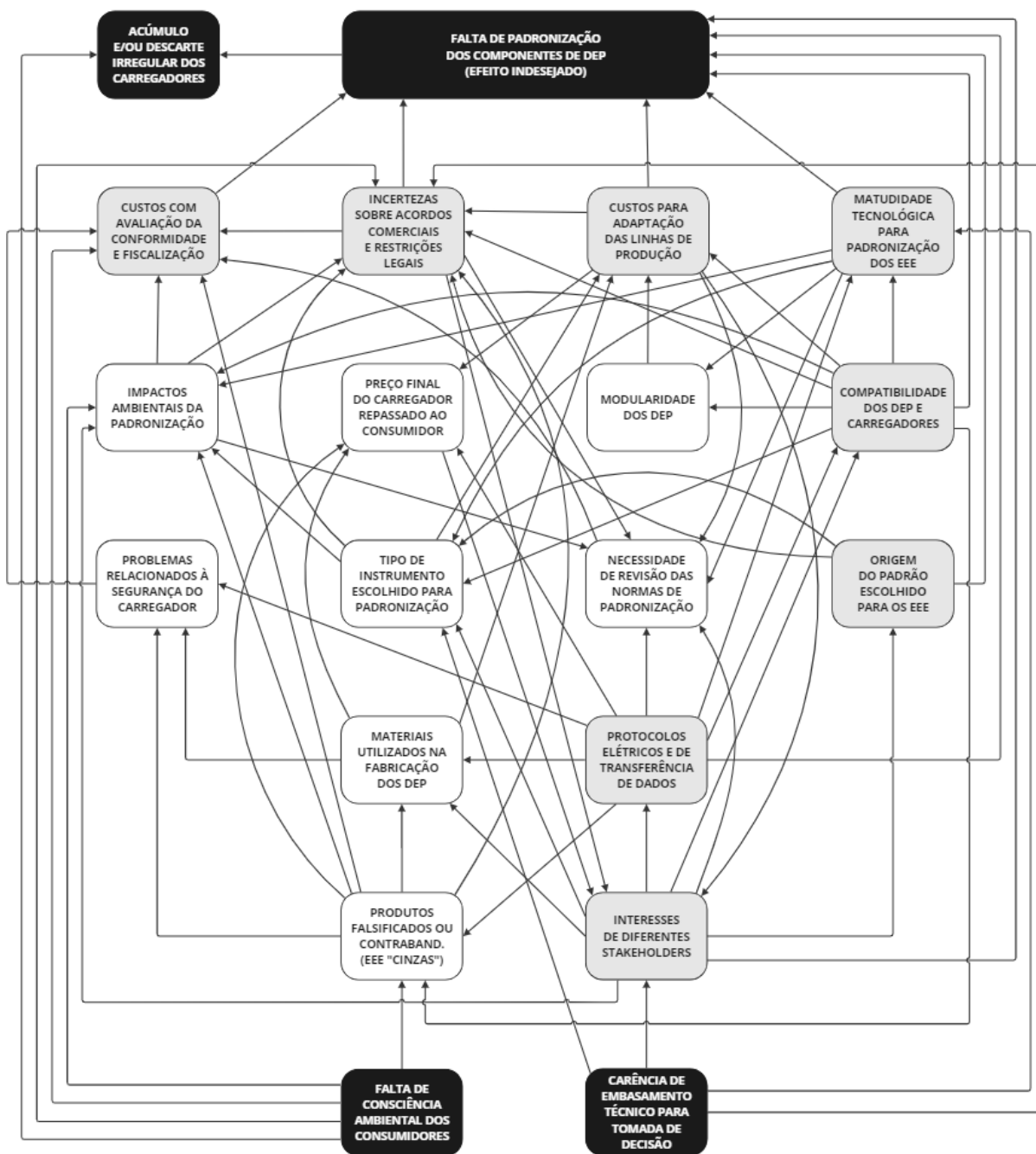
Figura 3 - A padronização de Dispositivos Eletroeletrônicos Portáteis (DEP) como estratégia de redução da geração de REEE.



Fonte: produção do próprio autor.

No entanto, conforme discutido nos tópicos anteriores, diversos elementos influenciaram e influenciam direta e indiretamente nas iniciativas de padronização dos carregadores de DEP. A Figura 4 representa a inter-relação desses elementos, resultando como efeito indesejado a falta de padronização destes componentes. Os elementos identificados como "causas-raízes" permitem direcionar esforços e possíveis tomadas de decisão que acabam impactando outros elementos identificados.

Figura 4 – Relação entre os elementos que influenciam na padronização dos carregadores de DEP.



Fonte: produção do próprio autor.

Conforme apresentado na Figura 4, a “carência de embasamento técnico para tomada de decisão” e a “falta de consciência ambiental dos consumidores” são causas-raízes que influenciam direta ou indiretamente a maior parte dos outros 17 elementos identificados e sistematizados no Quadro 3, categorizados na Matriz PESTEL.

A “falta de consciência ambiental dos consumidores” é um dos principais elementos responsáveis pelo acúmulo e descarte irregular dos DEP e acessórios, apresentando também influência direta no volume de produtos falsificados ou contrabandeados disponíveis no mercado, que por sua vez apresentam riscos à segurança do consumidor, além da ampliação da geração de REEE, gerando conseqüentemente custos com avaliações da conformidade e fiscalização.

Outro elemento considerado como causa-raiz é a “carência de embasamento técnico para tomada de decisão”, pois está associado a incertezas sobre acordos comerciais e restrições legais, e interfere diretamente nos interesses de diferentes *stakeholders*, principalmente econômicos, influenciando no tipo de instrumento escolhido para padronização (voluntária ou obrigatória) e no consenso tecnológico para a compatibilidade dos componentes de DEP semelhantes.

Direcionar esforços a estes dois elementos, através de estudos sobre o ciclo de vida de componentes de DEP, subsidiando e amadurecendo decisões de fabricantes e do poder público para estratégias de não-geração e redução de REEE; e fomentar campanhas de conscientização dos consumidores e fabricantes, buscando uma economia mais ambientalmente sustentável, demonstram-se como estratégias básicas direcionadas a uma verdadeira economia circular. A partir destes elementos, outros elementos e etapas de tomada de decisão poderiam ser facilitadas, como demonstrado na Figura 4, com efeito cascata, sendo uma das conseqüências o incentivo a padronização de componentes de EEE.

6 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo identificar os principais elementos que influenciam na padronização dos carregadores de DEP e sistematiza-los usando a categorias PESTEL (política, econômica, social, tecnológica, ambiental e legal), como foco de estratégias de não-geração e redução da geração de REEE.

Foi constatado neste estudo que a padronização de componentes de EEE, principalmente de DEP e seus periféricos, pode ser considerada uma estratégia para não-geração e redução da geração de REEE, desde que a tecnologia padronizada esteja suficientemente madura.

A revisão sistemática de literatura demonstrou que antes de qualquer iniciativa de padronização de componentes de DEP, como no caso dos conectores e protocolos elétricos dos carregadores, sugerida na Figura 3, é extremamente necessário um estudo sobre o ciclo de vida e a maturidade tecnológica destes dispositivos, sendo atualmente uma lacuna a ser preenchida. Esse embasamento técnico ajuda a sustentar argumentos em favor da coletividade e da sustentabilidade ambiental, evitando assim resistência de fabricantes ao adotar um novo padrão.

Os padrões necessariamente devem ser internacionais, adotados em diversos países, e estabelecidos por consenso entre fabricantes, evitando incertezas entre *stakeholders* e barreiras técnicas prejudiciais ao livre comércio. Além disso, as iniciativas de padronização de componentes de DEP devem prever um tempo para empresas adequarem suas linhas de produção ao novo padrão estabelecido.

A padronização de componentes de DEP, como carregadores, pode gerar diversos benefícios econômicos, sociais e ambientais como: a durabilidade; a redução dos custos de produção a médio e longo prazo; a qualidade e a eficiência da tecnologia e dos materiais adotados; a segurança do consumidor; e a compatibilidade entre diversos DEP, independente da marca, ampliando a concorrência no mercado, favorecendo a redução de preço de DEP e acessórios ao consumidor final.

Entretanto, o número de carregadores sem marca ou falsificados (produtos cinzas) tendem a aumentar com a padronização, já que a especificação da tecnologia passa a ser compartilhadas entre diversos *stakeholders*. Assim, essa democratização

tecnológica acaba aumentando a concorrência entre fabricantes, especificamente entre fabricantes ordinários, demandando mais fiscalização por parte do poder público, principalmente no mercado *online*, garantindo desta forma a qualidade dos produtos vendidos no mercado e a segurança dos consumidores.

Os padrões internacionais USB Tipo-C (IEC 62680-1-3) e USB PD (IEC 62680-1-2), especificado pela norma IEC 63002:2021, que definem as características de *design* dos conectores de DEP e protocolos elétricos de carregamento são tecnologicamente maduros e vem sendo cada vez mais implementados em DEP como *smartphones*, *tablets*, caixas de som portáteis, videogames portáteis, inclusive em equipamentos que demandam até 100W de energia como *notebooks* e monitores. Outros equipamentos com tamanho reduzido, como *smartwatches* e *wearables* necessitam de conectores específicos ou tecnologias de carregamento sem fio.

A modularidade dos cabos e EPS de carregadores de DEP já é algo consolidado no mercado, facilitando a substituição destes componentes de forma independente. Entretanto, a falta de compatibilidade atual dos conectores do EPS (USB Tipo-A ou USB Tipo-C), ainda é um fator que prejudica a universalização dos carregadores. Por outro lado, a padronização obrigatória de todos os EPS disponíveis no mercado para o padrão USB Tipo-C tornaria muitos carregadores tecnologicamente obsoletos, gerando REEE sem necessidade. Neste caso, a literatura defende que o ideal seria esperar a transição natural dos EPS com padrão USB Tipo-A para o Padrão USB Tipo-C.

Estratégias de *ecodesign* como o reparo, a remanufatura e a desmontagem para separação de componentes para reciclagem são iniciativas que não são viáveis economicamente para periféricos de baixo valor, como carregadores, sendo viáveis apenas para produtos com alto valor agregado como *smartphones* e *tablets*. Assim, o investimento na durabilidade destes equipamentos, através da padronização e da modularidade de componentes, é a alternativa mais sustentável para se evitar a extração de recursos naturais primários e a geração de REEE.

O tipo de instrumento escolhido para padronização de componentes EEE deve ser preferencialmente voluntário, por consenso entre *stakeholders*, elaborado por organismos responsáveis pela elaboração de normas técnicas. Entretanto, caso o poder público entenda que a competição tecnológica entre empresas, focada

principalmente em fatores econômicos, está prejudicando questões sociais ou ambientais, esta padronização deve ser obrigatória, com foco na coletividade.

Por fim, não basta padronizar componentes de DEP, buscando a compatibilidade de equipamentos e redução da geração de REEE, sem uma campanha efetiva para conscientização de fabricantes e consumidores sobre os benefícios socioambientais desta iniciativa. São necessários mecanismos de punição efetiva para fabricantes que adotam estratégias de obsolescência programada e informações ao consumidor sobre os benefícios de DEP circulares e sustentáveis.

Para estudos futuros, recomenda-se a análise do ciclo de vida de outros componentes de DEP que ainda não foram padronizados, como telas e *displays* de *smartphones*, cuja tecnologia já é madura e consolidada no mercado.

Estes componentes são os mais substituídos em *smartphones*, seja por dano ou defeito (CORDOVA-PIZARRO et al., 2020; CORDELLA et al., 2021; PAMMINGER; GLASER; WIMMER, 2021; PROSKE, 2022) e sua padronização poderia ser viável como estratégia de antecipação a geração de REEE (SCHISCHKE et al., 2017).

Outro estudo recomendado é a hierarquização dos elementos identificados nesta pesquisa, utilizando as ferramentas de análise multicriterial *Analytic Hierarchy Process* (AHP) associada a *Aggregating Individual Priorities* (AIP), e envolvendo diversos *stakeholders*, buscando desta forma uma maior compreensão do problema analisado.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFAIRS, U. N. D. of E. and S. **The Sustainable Development Goals Report 2022. United Nations publication issued by the Department of Economic and Social Affairs.** [S.l: s.n.], 2022. Disponível em: <<https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789210478878>>.

AGUIAR, M. F. et al. Circular product design: strategies, challenges and relationships with new product development. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 33, n. 2, p. 300–329, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/MEQ-06-2021-0125>>.

AGYEKUM, E. B. et al. A bird's eye view of Ghana's renewable energy sector environment: A Multi-Criteria Decision-Making approach. **Utilities Policy**, v. 70, p. 101219, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jup.2021.101219>>.

AHIRWAR, R.; TRIPATHI, A. K. E-waste management: A review of recycling process, environmental and occupational health hazards, and potential solutions. **Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management**, v. 15, n. November 2020, p. 100409, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100409>>.

AHMAD, I.; FERNANDES, B. G. Concept of Universal USB Charger. **2020 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, IAS 2020**, p. 3–7, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/IAS44978.2020.9334768>>.

ALTHAF, S.; BABBITT, C. W.; CHEN, R. The evolution of consumer electronic waste in the United States. **Journal of Industrial Ecology**, v. 25, n. 3, p. 693–706, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/jiec.13074>>.

BALKENENDE, A. R.; BAKKER, C. A. Developments and challenges in design for sustainability of electronics. **Advances in Transdisciplinary Engineering**, v. 2, p. 3–13, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.3233/978-1-61499-544-9-3>>.

BEDFORD, L. et al. A Post-Capitalocentric Critique of Digital Technology and Environmental Harm: New Directions at the Intersection of Digital and Green Criminology. **International Journal for Crime, Justice and Social Democracy**, v. 11, n. 1, p. 167–181, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.5204/ijcjsd.2191>>.

BISSCHOP, L.; HENDLIN, Y.; JASPERS, J. Designed to break: planned obsolescence as corporate environmental crime. **Crime, Law and Social Change**, v. 78, n. 3, p. 271–293, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10611-022-10023-4>>.

BRASIL. 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. Diário Oficial da União: edição: 31, seção: 1, página: 1. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.240-de-12-de-fevereiro-de-2020-243058096>>.

BRASIL. 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.** Diário Oficial da União: edição: 8-A, Seção: 1 - Extra A. Disponível em: <[BRASIL. Lei 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: <\[https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm\]\(https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm\)>. , 2010](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D10936.htm#:~:text=DECRETO%20N%2C%20DE%2012,Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de%20Res%C3%ADduos%20S%C3%B3lidos.>></p></div><div data-bbox=)

BRESSANELLI, G. et al. Circular Economy in the WEEE industry: a systematic literature review and a research agenda. **Sustainable Production and Consumption**, v. 23, p. 174–188, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.05.007>>.

BRIDGENS, B. et al. Closing the Loop on E-waste: A Multidisciplinary Perspective. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, p. 169–181, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/jiec.12645>>.

BRITISH STANDARDS. Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations – Guide. **BSI Standards Limited**, p. 90, 2017. Disponível em: <<https://www.en-standard.eu/bs-8001-2017-framework-for-implementing-the-principles-of-the-circular-economy-in-organizations-guide/>>.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. Projeto de Lei nº 32-C de 2015. **Acrescenta dispositivo à Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997, para obrigar a padronização de interface para carregadores de telefones celulares.** Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1296736&filename=PL%2032/2015>.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. Projeto de Lei nº 5.758, de 2013. **Acrescenta dispositivo à Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997, para obrigar a padronização de interface para carregadores de telefones celulares.** Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1102455&filename=Avulso%20PL%205758/2013>.

COLE, C. et al. An assessment of achievements of the WEEE Directive in promoting movement up the waste hierarchy: experiences in the UK. **Waste Management**, v. 87, p. 417–427, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.01.046>>.

CORDELLA, M. et al. Durability of smartphones: A technical analysis of reliability and repairability aspects. **Journal of Cleaner Production**, v. 286, p. 125388, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125388>>.

CORDOVA-PIZARRO, D. et al. Circular economy in Mexico's electronic and cell phone industry: Recent evidence of consumer behavior. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 10, n. 21, p. 1–21, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/app10217744>>.

CUCCHIETTI, F. et al. Environmental benefits of a universal mobile charger. **ITU News**, v. 9, n. 5, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/INTLEC.2011.6099888>>.

DALHAMMAR, C. Industry attitudes towards ecodesign standards for improved resource efficiency. **Journal of Cleaner Production**, v. 123, p. 155–166, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.035>>.

DE VRIES, H. et al. Standardization: Towards an agenda for research. **International Journal of Standardization Research**, v. 16, n. 1, p. 52–59, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4018/IJSR.2018010104>>.

DIAZ, A. et al. Sustainable product development in a circular economy: Implications for products, actors, decision-making support and lifecycle information management. **Sustainable Production and Consumption**, v. 26, p. 1031–1045, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.12.044>>.

EGYEDI; MUTO. Standards for ICT: A green strategy in a grey sector. **International Journal of IT Standards and Standardization Research**, v. 10, n. 1, p. 34–47, 2012. Disponível em: <<https://www.igi-global.com/article/standards-ict-green-strategy-grey/64321>>.

EGYEDI. The Impact of Competing Standards: On Innovation and Interoperability for E-government. **PIK - Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation**, v. 37, n. 3, p. 211–215, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1515/pik-2014-0019>>.

EGYEDI, T. M.; ORTT, J. R. Towards a functional classification of standards for innovation research. **Handbook of Innovation and Standards**, p. 105–132, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.4337/9781783470082.00013>>.

EGYEDI, T. M.; WIDLAK, A. Institutional Economics Of Standards, Regulation And Innovation Effects. **EURAS proceedings 2019: Standards for a Bio-Based Economy**, n. May, p. 143–162, 2019. Disponível em: <http://www.diros.nl/wp-content/uploads/EURAS2019_Egyedi_Widlak_Institutional-economics-Vatn_working-paper.pdf>.

EGYEDI, T.; MUTO, S. Standards for ICT: A green strategy in a grey sector. **Modern Trends Surrounding Information Technology Standards and Standardization within Organizations**, p. 125–139, 2014. Disponível em: <<https://www.igi-global.com/chapter/standards-for-ict/115273>>.

EUROPEAN COMMISSION. Bruxelas, 11.3.2020. **Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comitê Econômico e Social Europeu e ao Comitê das Regiões: Um**

novo plano de ação para a economia circular para uma Europa mais limpa e competitiva.

Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0022.02/DOC_1&format=PDF>.

EUROPEAN COMMISSION. Brussels, 23.9.2021. **DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2014/53/EU on the harmonisation of the laws of the Member States relating to the making available on the market of radio equipment.** Directive Proposal 2021/0291/COD. v. 0291, p. 1, 2021a. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/docsroom/documents/46755/attachments/3/translations/en/renditions/native>>.

EUROPEAN COMMISSION. Brussels, dez. 2019. **Impact assessment study on common chargers of portable devices.** [S.l: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/c6fadfea-4641-11ea-b81b-01aa75ed71a1>>.

EUROPEAN COMMISSION. Brussels, jun. 2021. **Impact Assessment Study to Assess Unbundling of Chargers.** [S.l: s.n.], 2021b. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/docsroom/documents/46651>>.

EUROPEAN COMMISSION. **MoU regarding Harmonisation of a Charging Capability for Mobile Phones.** p. 1–6, 2009. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/docsroom/documents/2417/attachments/1/translations/en/renditions/native>>.

EUROPEAN PARLIAMENT. **DIRECTIVE 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products (recast).** Official Journal of the European Union: n. 2009L0125 - EN -04. 12.2012 - 001.001, p. 1–40, 2009. Disponível em: <<http://data.europa.eu/eli/dir/2009/125/2012-12-04>>.

PARLAMENTO EUROPEU. **Directiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro de 2008 , relativa aos resíduos e que revoga certas directivas.** Journal Oficial da União Europeia: v. 9, p. 1–59, 2018. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0098-20180705&from=SK>>.

FOFOU, R. F.; JIANG, Z.; WANG, Y. A review on the lifecycle strategies enhancing remanufacturing. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 11, n. 13, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/app11135937>>.

FORTI, V. et al. **The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows, and the circular economy potential.** SCYCLE, ITU, ISWA, 2020. Disponível em: <https://ewastemonitor.info/global-e-waste-monitors/>.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão Sistemática Da Literatura: Conceituação, Produção E Publicação. **Logeion: Filosofia da Informação**, v. 6, n. 1, p. 57–73, 2019.

GOLLAKOTA, A. R. K.; GAUTAM, S.; SHU, C. M. Inconsistencies of e-waste management in developing nations – Facts and plausible solutions. **Journal of Environmental Management**, v. 261,

n. October 2019, p. 110234, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110234>>.

GREEN ELETRON. **Resíduos Eletrônicos no Brasil – 2021**. Radar Pesquisas, 2021. Disponível em: <https://greeneletron.org.br/download/RELATORIO_DE_DADOS.pdf>.

HASANAH, R. N. et al. DC-DC Converter for USB-C Power Adapter in Residential DC Electricity. **CENCON 2019 - 2019 IEEE Conference on Energy Conversion**, v. 2019- Janua, p. 207–212, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/CENCON47160.2019.8974737>>.

HAZELWOOD, D. A.; PECHT, M. G. Life Extension of Electronic Products: A Case Study of Smartphones. **IEEE Access**, v. 9, p. 144726–144739, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3121733>>.

HU, J. et al. Design of a Flying-Capacitor-Based Voltage Divider LLC Resonant Converter for USB-C PD Charger in Aircraft Applications. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 38, n. 8, p. 9944–9960, 2023. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/10108068>>.

ISLAM, M. T. et al. A global review of consumer behavior towards e-waste and implications for the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 316, n. October 2019, p. 128297, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128297>>.

ISLAM, M. T.; HUDA, N. Reverse logistics and closed-loop supply chain of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)/E-waste: A comprehensive literature review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 137, n. June, p. 48–75, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.026>>.

ISMAIL, H.; HANAFIAH, M. M. A review of sustainable e-waste generation and management: Present and future perspectives. **Journal of Environmental Management**, v. 264, n. February, p. 110495, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110495>>.

JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE. **LOI no 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire. Joe_20200211_0035_0001 (1)**. 11.2.2020, texte 1, sur 65, 2020. Disponível em: <<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000041553759/>>

JUCHNESKI, N. C. de F.; ANTUNES, A. M. de S. Do the Main Developers of Electrical and Electronic Equipment Comply with the Precepts of the Circular Economy Concepts? A Patent-Based Approach. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 14, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su14148467>>.

JUNGE, I. P. Single Use Goes Circular—An ICT Proto-Practice for a Sustainable Circular Economy Future. **Journal of Sustainability Research**, v. 3, n. 2, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.20900/jsr20210009>>.

KHAN, M. A. et al. Review on upgradability – A product lifetime extension strategy in the context of product service systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 204, p. 1154–1168, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.329>>.

LEAL, J. M. et al. Design for and from recycling: A circular ecodesign approach to improve the circular economy. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 23, p. 1–30, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/su12239861>>.

LIBRELATO, T. P. et al. A process improvement approach based on the value stream mapping and the theory of constraints thinking process. **Business Process Management Journal**, v. 20, n. 6, p. 922–949, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/BPMJ-07-2013-0098>>.

MAITRE-EKERN, E. Re-thinking producer responsibility for a sustainable circular economy from extended producer responsibility to pre-market producer responsibility. **Journal of Cleaner Production**, v. 286, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125454>>.

MAZUCATO, T. et al. **Metodologia da pesquisa e do trabalho científico**. Penápolis: FUNEPE, 2018. ISBN 97885-93683-03-9.

MESA, J. A. et al. Linking product design and durability: A review and research agenda. **Heliyon**, v. 8, n. 9, p. e10734, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10734>>.

O'CONNOR, M. P. et al. A strategy for material supply chain sustainability: Enabling a circular economy in the electronics industry through green engineering. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v. 4, n. 11, p. 5879–5888, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b01954>>.

ORTT, J. R.; EGYEDI, T. M. The effect of pre-existing standards and regulations on the development and diffusion of radically new innovations. **International Journal of IT Standards and Standardization Research**, v. 12, n. 1, p. 17–37, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4018/ijitsr.2014010102>>.

ORTT, J. R.; EGYEDI, T. M. The effect of standards and regulation on radically new innovations. **Proceedings of the 8th International Conference on Standardization and Innovation in Information Technology, SIIT 2013**, n. 2002, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/SIIT.2013.6774580>>.

PAMMINGER, R.; GLASER, S.; WIMMER, W. Modelling of different circular end-of-use scenarios for smartphones. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 26, n. 3, p. 470–482, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11367-021-01869-2>>.

PARAJULY, K. et al. Future e-waste scenarios. **StEP (Bonn), UNU ViE-SCYCLE (Bonn) & UNEP IETC (Osaka)**, p. 19, 2019. Disponível em: <<https://www.unep.org/ietc/resources/publication/future->

e-waste-scenarios>.

POLVERINI, D. Regulating the circular economy within the ecodesign directive: Progress so far, methodological challenges and outlook. **Sustainable Production and Consumption**, v. 27, p. 1113–1123, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.023>>.

PROSKE, M. How to address obsolescence in LCA studies – Perspectives on product use-time for a smartphone case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 376, n. January, p. 134283, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134283>>.

PROSKE, M.; JAEGER-ERBEN, M. Decreasing obsolescence with modular smartphones? – An interdisciplinary perspective on lifecycles. **Journal of Cleaner Production**, v. 223, p. 57–66, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.116>>.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. ISBN 978-85-7717-158-3.

RÉBAY, V. SIMILAR mobile chargers. **SACI 2011 - 6th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics.**, p. 187–192, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/SACI.2011.5872997>>.

REIKE, D.; VERMEULEN, W. J. V.; WITJES, S. The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, n. August 2017, p. 246–264, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>>.

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, n. January, p. 130617, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130617>>.

ROMARE, M. et al. **Investigating the potential circularity of a phone using Life Cycle Assessment Commissioned by Naturvårdsverket**. [S.l: s.n.], 2021. Disponível em: <<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1556714/FULLTEXT01.pdf>>.

SCHISCHKE, K. et al. Durability, reparability and recyclability: Applying material efficiency standards en 4555x to mobile phones and tablet computers. **Procedia CIRP**, v. 105, p. 619–624, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.103>>.

SCHISCHKE, K. et al. Modular products: Smartphone design from a circular economy perspective. **2016 Electronics Goes Green 2016+, EGG 2016**, p. 1–8, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/EGG.2016.7829810>>.

SENADO FEDERAL. Projeto de Lei nº 2799, de 2022a. **Acrescenta dispositivo à Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997, que dispõe sobre a organização dos serviços de telecomunicações, a criação e funcionamento de um órgão regulador e outros aspectos institucionais, nos termos da Emenda Constitucional nº 8, de 1995, para dispor sobre a padronização de carregadores utilizados em telefones celulares e dispositivos com funcionalidade de telecomunicações.** Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/155128>>.

SENADO FEDERAL. Projeto de Lei nº 2643, de 2022b. **Acrescenta dispositivo à Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997, que dispõe sobre a organização dos serviços de telecomunicações, a criação e funcionamento de um órgão regulador e outros aspectos institucionais, nos termos da Emenda Constitucional nº 8, de 1995, para dispor sobre a padronização de interface de carregamento de telefones móveis celulares.** Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/154911>>.

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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.016>>.

SONEGO, M.; ECHEVESTE, M. E. S.; DEBARBA, H. G. Repair of electronic products: Consumer practices and institutional initiatives. **Sustainable Production and Consumption**, v. 30, p. 556–565, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.12.031>>.

SUCKLING, J.; LEE, J. Redefining scope: the true environmental impact of smartphones? **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, n. 8, p. 1181–1196, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11367-015-0909-4>>.

SVENSSON-HOGLUND, S. et al. Barriers, enablers and market governance: A review of the policy landscape for repair of consumer electronics in the EU and the U.S. **Journal of Cleaner Production**, v. 288, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125488>>.

TALENS PEIRÓ, L.; ARDENTE, F.; MATHIEUX, F. Design for Disassembly Criteria in EU Product Policies for a More Circular Economy: A Method for Analyzing Battery Packs in PC-Tablets and Subnotebooks. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 731–741, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/jiec.12608>>.

SAMMUT-BONNICI, T.; GALEA, D. PEST analysis. **Wiley Encyclopedia of Management**. vol.12, Strategic Management, jan. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/9781118785317.weom120113>>.

TECCHIO, P. et al. Ecodesign of Personal Computers: An Analysis of the Potentials of Material Efficiency Options. **Procedia CIRP**, v. 69, n. May, p. 716–721, 2018. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.051>>.

TECCHIO, P. et al. In search of standards to support circularity in product policies: A systematic approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, p. 1533–1546, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.198>>.

THOMAS, P. J. M. et al. A PESTLE analysis of solar home systems in refugee camps in Rwanda. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 143, n. January, p. 110872, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110872>>.

TREFFERS, M. History, current status and future of the wireless power consortium and the Qi interface specification. **IEEE Circuits and Systems Magazine**, v. 15, n. 2, p. 28–31, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/MCAS.2015.2418973>>.

UNICEF KE, T. SWOT and PESTEL. **UNICEF KE Toolbox**, p. 1–12, 2015. Disponível em: <<http://www.unicef.org/knowledge-exchange/>>.

UNITED NATIONS. **Goal 12: Ensure sustainable consumption and production patterns**. Disponível em: <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/>>.

VAN DE POEL, I. Design for Sustainability. **Philosophy, Technology, and the Environment**, p. 121–142, 2017. Disponível em: <<https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/8720>>.

VANEGAS, P. et al. Ease of disassembly of products to support circular economy strategies. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, n. May 2017, p. 323–334, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.06.022>>.

VLACHOKOSTAS, C.; MICHAILIDOU, A. V.; ACHILLAS, C. Multi-Criteria Decision Analysis towards promoting Waste-to-Energy Management Strategies: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 138, n. November 2020, p. 110563, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110563>>.

WOJNAROWSKA, M.; SOŁTYSIK, M.; PRUSAK, A. Impact of eco-labelling on the implementation of sustainable production and consumption. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 86, n. November 2020, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106505>>.

XAVIER, L. H. et al. Sustainability and the circular economy: A theoretical approach focused on e-waste urban mining. **Resources Policy**, v. 74, n. August, p. 101467, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101467>>.

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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126570>>.

YIN, R. K. **Applications of Case Study Research**. London, United Kingdom: SAGE, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 2012. ISBN 978-1-4129-8916-9

ZHOU, Y. et al. The key challenges and critical success factors of blockchain implementation: Policy implications for Singapore's maritime industry. **Marine Policy**, v. 122, n. September, p. 104265, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104265>>.

ZIOUT, A.; AZAB, A.; ATWAN, M. A holistic approach for decision on selection of end-of-life products recovery options. **Journal of Cleaner Production**, v. 65, p. 497–516, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.001>>.

APÊNDICE A

Artigos Pesquisa Bibliográfica (2009-2023)

Dos 187 artigos encontrados nas três bases de dados (Web of Science, Scopus e IEEE Xplore), de 2009 a 2023, após utilização dos termos de busca como filtro para revisão sistemática de literatura, 47 foram selecionados pelo título e pelo resumo, conforme lista apresentada no quadro abaixo.

Nº	Ano	Autores	Título
1	2009	Shadi Hawawini; George Paparrizos.	Enabling universal battery charging and compliance.
2	2009	Maria Ebling; Mark Corner.	Green cell phones and mobile skype finally arrive.
3	2009	Shiyan Pei.	Maximizing Lithium battery life safely and inexpensively when charging portable devices.
4	2009	M. Muegge.	Achieving five-star energy efficiency in cell-phone chargers.
5	2009	Sam Davis.	Universal AC wall adapters will support future GSM cell phones.
6	2010	Peter Chadbourne.	Converging your cell phone to one standard interface.
7	2010	Bilal Asaad Mubdir; Rashid Ali Fayadh.	Smart charger for sealed lead acid batteries based on parallel port PC interfacing.
8	2010	Hamid Jabbar; Youngseok Song; Taikyeong Ted. Jeong.	Wirelessly charging mobile devices from ambient RF sources.
9	2011	Viktor Rébay.	SIMILAR mobile chargers.
10	2011	Eberhard Waffenschmidt.	Wireless power for mobile devices.
11	2011	Flavio Cucchiatti; Luca Giacomello; Gianluca Griffa; Patrizia Vaccarone; Paolo Tecchio; Raffaele Bolla; Roberto Bruschi; Luca D'Agostino.	Environmental benefits of a universal mobile charger and energy-aware survey on current products.
12	2012	Valeria Boscaino; Filippo Pellitteri; Giuseppe Capponi; Roberto La Rosa.	A wireless battery charger architecture for consumer electronics.
13	2012	Filippo Pellitteri; Valeria Boscaino; Roberto La Rosa; Giuseppe Capponi.	Improving the efficiency of a standard compliant wireless battery charger.
14	2012	Isaac Nam; Roger Dougal; Enrico Santi.	Novel control approach to achieving efficient wireless battery charging for portable electronic devices.
15	2012	Daniel P. Dern.	Portable chargers for your mobile gadgets.
16	2012	Tae-Seon Kim; Soo-Won Kim.	Transmission line impedance design for USB 2.0 high-speed signals of smartphone accessories.
17	2012	Burak Akin.	Solar power charger with universal USB output.
18	2012	Akishige Noda.	Standardization activities for next-generation mobile communications systems.
19	2012	Tineke Egyedi; Sachiko Muto.	Standards for ICT: A green strategy in a grey sector.
20	2013	Yahya Al-Khawam; Lutfi Albasha; Noor Al-khawam.	Continuous and automatic charging and discharging for lithium-ion batteries.
21	2013	Sangyoung Park; Bumkyu Koh; Yanzhi Wang; Jaemin Kim; Younghyun Kim; Massoud Pedram; Naehyuck Chang.	Maximum power transfer tracking in a solar USB charger for smartphones.
22	2013	S. Y. Hui.	Planar wireless charging technology for portable electronic products and Qi.
23	2014	Christian Schuss; Bernd Eichberger; Timo Rahkonen.	Design specifications and guidelines for efficient solar chargers of mobile phones.
24	2014	Van-Long Tran; Woojin Choi.	Novel time division multiple control method for multiple output battery charger.

25	2014	Anand Satyamoorthy; Patrick Riehl; Hasnain Akram; Yung-Chih Yen; J.-C. Yang; Brian Juan; Chi-Min Lee; Fu-Chi Lin.	Wireless power receiver for mobile devices supporting inductive and resonant operating modes
26	2015	Menno Treffers.	History, current status and future of the wireless power consortium and the Qi interface specification.
27	2015	Yoshiaki Ohta; Nakamura Michiharu; Shinichiro Aikawa; Takayoshi Ode.	Link layer structure for LTE-WLAN aggregation in LTE-Advanced and 5G network.
28	2015	Xiao Lu; Dusit Niyato; Ping Wang; Dong In Kim; Zhu Han.	Wireless charger networking for mobile devices: fundamentals, standards, and applications.
29	2015	Lei Zhu; Qi Cheng; Jianghui Deng; Jianping Guo; DiHu Chen; Xidong Ding.	A 3.5-A buck DC-DC regulator with wire drop compensation for remote-loading applications.
30	2015	Gunjan Chhabra; Sunil Kumar; Pankaj Badoni.	Automatic gadget charger using coin detection.
31	2016	Fahmi Siddiq; Surya Michrandi Nasution; Fairuz Azmi.	Prototype of Kleptocharger for Android device.
32	2016	Xiao Lu; Ping Wang; Dusit Niyato; Dong In Kim; Zhu Han.	Wireless charging technologies: fundamentals, standards, and network applications.
33	2016	Keehong Um.	Development and operation of dual-mode analyzers for wireless power consortium/power matters alliance wireless power systems.
34	2017	A.J. Eljallad.	Wireless charging: Evaluating the standards for next-gen products.
35	2019	Bhairavanath N. Mali; V. B. Waghmare.	Simulation analysis of universal flyback converter using matlab simulink.
36	2020	Ishtiyaque Ahmad; B. G. Fernandes.	Concept of Universal USB Charger.
37	2020	Guangyao Yang.	Design and application of low power switch IC.
38	2020	Lin Cheng; Xinyuan Ge; Wai Chiu Ng; Wing-Hung Ki; Jiawei Zheng; Tsz Fai Kwok; Chi-Ying Tsui; Ming Liu.	Design of a single-stage wireless charger with 92.3% peak-efficiency for portable devices applications.
39	2021	Naoki Shinohara.	History and innovation of wireless power transfer via microwaves.
40	2021	Yong Qu; Wei Shu; Yen-Cheng Kuan; Shih-Hua Wood Chiang; Yue Li; Zixian Zheng; Joseph S. Chang	A 12-W 96.1% - Efficiency efuse-based ultrafast battery charger supporting wireless and USB power inputs.
41	2021	Akshata Rajput; Nachiketa Deshmukh; Sandeep Anand.	A LLC resonant converter with wide output voltage range for USB - Power Delivery.
42	2022	Sneha Yadav; Kumari Namrata; Nishant Kumar; Akshit Samadhiya.	Multiphase buck converters for power delivery using neural network control scheme.
43	2023	Victor K.Y. Chan	An Infrastructure of Battery Swapping and Charging Stations in Smart Cities to "Disrupt" the Current Ecosystem of Battery Usage: A Schematic Design
44	2023	Zhiguo Tong; Junwei Huang; Yan Lu; Rui P. Martins	A 42W Reconfigurable Bidirectional Power Delivery Voltage-Regulating Cable
45	2023	Jiewen Hu; Bo Wen; Rolando Burgos; Rodrigo Fernandez-Mattos; Andrew Mclean	Design of a Flying-Capacitor-Based Voltage Divider LLC Resonant Converter for USB-C PD Charger in Aircraft Applications
46	2023	Wanxin Gao; Ioanis Nikolaidis; Janelle J. Harms	On the Impact of Recharging Behavior on Mobility
47	2023	Lin Terry	Multiport Type-C & PD Charger Topology and Control Methodologies

Dos 47 artigos apresentados acima, apenas 5 tratam especificamente da padronização de carregadores de DEP, demonstrando a carência de estudos sobre esta temática.

Nº	Ano	Autores	Título
1	2011	Viktor Rébay.	SIMILAR mobile chargers.

2	2011	Flavio Cucchiatti; Luca Giacomello; Gianluca Griffa; Patrizia Vaccarone; Paolo Tecchio; Raffaele Bolla; Roberto Bruschi; Luca D'Agostino.	Environmental benefits of a universal mobile charger and energy-aware survey on current products.
3	2012	Tineke Egyedi; Sachiko Muto.	Standards for ICT: A green strategy in a grey sector.
4	2015	Menno Treffers.	History, current status and future of the wireless power consortium and the Qi interface specification.
5	2020	Ishtiyaque Ahmad; B. G. Fernandes.	Concept of Universal USB Charger.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

APÊNDICE B

Artigos Complementares (Revisão Bibliográfica, Discussão, Resultados)

Artigos utilizados para complementar a revisão sistemática de literatura, selecionados sem utilização dos termos de busca descritos no Quadro 2.

Nº	Ano	Autores	Título
1	2013	J. Roland Ort; Tineke M. Egyedi.	The effect of standards and regulation on radically new innovations.
2	2014	Tineke M. Egyedi.	The impact of competing standards: On innovation and interoperability for e-government.
3	2014	J. Roland Ort; Tineke M. Egyedi.	The Effect of Pre-Existing Standards and Regulations on the Development and Diffusion of Radically New Innovations.
4	2015	A.R. Balkenende; C.A. Bakkerb.	Developments and Challenges in Design for Sustainability of Electronics
5	2015	James Suckling; Jacquetta Lee.	Redefining scope: the true environmental impact of smartphones?
6	2016	Carl Dalhammar	Industry attitudes towards ecodesign standards for improved resource efficiency.
7	2016	Megan P. O'Connor; Julie B. Zimmerman; Paul T. Anastas; Desiree L. Plata.	A strategy for material supply chain sustainability: Enabling a circular economy in the electronics industry through green engineering.
8	2017	Tineke M. Egyedi; J. Roland Ort.	Towards a functional classification of standards for innovation research.
9	2017	Karsten Schischke; Marina Proske; Nils F. Nissen; Klaus-Dieter Lang.	Modular products: Smartphone design from a circular economy perspective.
10	2017	Laura Talens Peiro; Fulvio Ardente; Fabrice Mathieux.	Design for disassembly criteria in EU product policies for a more circular economy: A method for analyzing battery packs in pc-tablets and subnotebooks.
11	2017	Paolo Tecchio; Catriona McAlister; Fabrice Mathieux; Fulvio Ardente.	In search of standards to support circularity in product policies: A systematic approach.
12	2018	Henk de Vries; Kai Jakobs; Tineke Egyedi; Manabu Eto; Stephan Fertig; Olya Kanevskaia; Louise Klintner; Claudia Koch; Ivana Mijatovic; Mona Mirtsch; Piergiuseppe Morone; Marta Orviska; Cesare Riillo; Gianluca Scaramuzzino.	Standardization: Towards an agenda for research.
13	2018	Muztoba Ahmad Khan; Sameer Mittal; Shaun West; Thorsten Wuest.	Review on upgradability: A product lifetime extension strategy in the context of product service systems.
14	2018	Denise Reikea; Walter J.V. Vermeulen; Sjors Witjes.	The circular economy: New or refurbished as CE 3.0? Exploring controversies in the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options.
15	2018	Paolo Tecchioa; Fulvio Ardentea; Max Marwedeb; Christian Clemmb; Gergana Dimitrovab; Fabrice Mathieuxa.	Ecodesign of personal computers: an analysis of the potentials of material efficiency options.
16	2018	Paul Vanegas; Jef R. Peeters; Dirk Cattrysse; Paolo Tecchio; Fulvio Ardente; Fabrice Mathieux; Wim Dewulf; Joost R. Duflo.	Ease of disassembly of products to support circular economy strategies.
17	2019	Ben Bridgens; Kersty Hobson; Debra Lilley; Jacquetta Lee; Janet L. Scott; Garrath T. Wilson.	Closing the loop on e-waste: A multidisciplinary perspective.
18	2019	Christine Cole; Alex Gnanapragasam; Tim Cooper; Jagdeep Singh.	An assessment of achievements of the WEEE Directive in promoting movement up the waste hierarchy: experiences in the UK.

19	2019	Tineke M. Egyedi; Arjan Widlak.	Institutional economics of standards, regulation and innovation effects.
20	2019	Rini Nur Hasanah; Tyler Starr; Ezzeddeen Gazali; Taufik Taufik.	DC-DC converter for USB-C Power Adapter in residential DC electricity.
21	2019	Marina Proske; Melanie Jaeger-Erben.	Decreasing obsolescence with modular smartphones? An interdisciplinary perspective on lifecycles.
22	2020	Shahana Althaf; Callie W. Babbitt; Roger Chen.	The evolution of consumer electronic waste in the United States.
23	2020	Gianmarco Bressanelli; Nicola Saccani; Daniela C.A. Pigosso; Marco Perona.	Circular Economy in the WEEE industry: a systematic literature review and a research agenda.
24	2020	Daniela Cordova-Pizarro; Ismael Aguilar-Barajas; Ciro A. Rodriguez; David Romero.	Circular Economy in Mexico's electronic and cell phone industry: Recent evidence of consumer behavior.
25	2020	Anjani R.K. Gollakota; Sneha Gautam; Chi-Min Shu.	Inconsistencies of e-waste management in developing nations: Facts and plausible solutions.
26	2020	Jorge Martínez Leal; Stéphane Pompidou; Carole Charbuillet; Nicolas Perry.	Design for and from Recycling: A Circular Ecodesign Approach to Improve the Circular Economy
27	2021	Mauro Cordella; Felice Alfieri; Christian Clemm; Anton Berwald.	Durability of smartphones: A technical analysis of reliability and reparability aspects.
28	2021	Anna Diaz; Josef-Peter Schöggli; Tatiana Reyes; Rupert J. Baumgartner.	Sustainable product development in a circular economy: Implications for products, actors, decision-making support and lifecycle information management.
29	2021	Raoul Fonkoua Fofou; Zhigang Jiang; Yan Wang.	A Review on the Lifecycle Strategies Enhancing Remanufacturing.
30	2021	Dylan A. Hazelwood; Michael G. Pecht.	Life Extension of Electronic Products: A Case Study of Smartphones.
31	2021	Md Tasbirul Islam; Nazmul Huda; Alex Baumber; Rezaul Shumon; Atiq Zaman; Forkan Ali; Rumana Hossain; Veena Sahajwalla.	A global review of consumer behavior towards e-waste and implications for the circular economy.
32	2021	Ines P. Junge.	Single Use Goes Circular—An ICT Proto-Practice for a Sustainable Circular Economy Future.
33	2021	Eleonore Maitre-Ekern.	Re-thinking producer responsibility for a sustainable circular economy from extended producer responsibility to pre-market producer responsibility.
34	2021	Rainer Pamminger; Sebastian Glaser; Wolfgang Wimmer.	Modelling of different circular end-of-use scenarios for smartphones.
35	2021	Davide Polverini.	Regulating the circular economy within the ecodesign directive: Progress so far, methodological challenges and outlook.
36	2021	Olanrewaju S. Shittu; Ian D. Williams; Peter J. Shaw.	Global E-waste management: Can WEEE make a difference? A review of e-waste trends, legislation, contemporary issues and future challenges.
37	2021	Sahra Svensson-Hoglund; Jessika Luth Richter; Eleonore Maitre-Ekern; Jennifer D. Russell; Taina Pihlajarinne; Carl Dalhammar.	Barriers, enablers and market governance: A review of the policy landscape for repair of consumer electronics in the EU and the U.S.
38	2021	Magdalena Wojnarowska; Mariusz Sołtysik; Anna Prusak.	Impact of eco-labelling on the implementation of sustainable production and consumption.
39	2021	Lúcia Helena Xavier; Ellen Cristine Giese; Ana Cristina Ribeiro-Duthie; Fernando Antonio Freitas Lins.	Sustainability and the circular economy: A theoretical approach focused on e-waste urban mining.
40	2021	Lúcia Helena Xavier; Marianna Ottoni; Josh Lepawsky.	Circular economy and e-waste management in the Americas: Brazilian and Canadian frameworks.

41	2022	Marina Fernandes Aguiar; Jaime A. Mesa; Daniel Jugend; Marco Antonio Paula Pinheiro; Paula De Camargo Fiorini.	Circular product design: strategies, challenges and relationships with new product development.
42	2022	Laura Bedford; Monique Mann; Marcus Foth; Reece Walters.	A Post-Capitalocentric Critique of Digital Technology and Environmental Harm: New Directions at the Intersection of Digital and Green Criminology
43	2022	Lieselot Bisschop; Yogi Hendlin; Jelle Jaspers.	Designed to break: planned obsolescence as corporate environmental crime.
44	2022	Nichele Cristina de Freitas Juchneski; Adelaide Maria de Souza Antunes.	Do the Main Developers of Electrical and Electronic Equipment Comply with the Precepts of the Circular Economy Concepts? A Patent-Based Approach.
45	2022	Jaime A. Mesa; Arturo Gonzalez- Quiroga; Marina Fernandes Aguiar; Daniel Jugend.	Linking product design and durability: A review and research agenda.
46	2022	Marina Proske	How to address obsolescence in LCA studies – Perspectives on product use-time for a smartphone case study.
47	2022	Vasileios Rizos; Julie Bryhn.	Implementation of circular economy approaches in the electrical and electronic equipment (EEE) sector: Barriers, enablers and policy insights.
48	2022	Monique Sonogoa; Márcia Elisa Soares Echeveste; Henrique Galvan Debarba.	Repair of electronic products: Consumer practices and institutional initiatives.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

APÊNDICE C

Documentos Pesquisa Documental

Documentos utilizados na revisão sistemática de literatura, após seleção e análise criteriosa pelo autor, sem utilização dos termos de busca descritos no Quadro 2.

Nº	Ano	Origem	Título
1	2009	União Europeia	MoU regarding Harmonization of a Charging Capability for Mobile Phones.
2	2009	União Europeia	DIRECTIVE 2009/125/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products (recast).
3	2010	Brasil	LEI Nº 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.
4	2013	Brasil	PROJETO DE LEI Nº 5758 DE 2013: Acrescenta dispositivo à Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997, para obrigar a padronização de interface para carregadores de telefones celulares.
5	2015	Organização das Nações Unidas - ONU	Sustainable Development Goals: 12 Responsible Consumption and Production.
6	2015	Brasil	PROJETO DE LEI Nº 32-C, DE 2015: Acrescenta dispositivo à Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997, para obrigar a padronização de interface para carregadores de telefones celulares.
7	2017	Reino Unido	Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations – Guide.
8	2017	Organização das Nações Unidas - ONU	Design for Sustainability a practical approach for Developing Economies.
9	2018	União Europeia	DIRETIVA 2008/98/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 19 de Novembro de 2008 relativa aos resíduos e que revoga certas diretivas (texto relevante para efeitos do EEE).
10	2019	União Europeia	Impact Assessment Study on Common Chargers of Portable Devices.
11	2019	Organização das Nações Unidas - ONU	Future E-Waste Scenarios
12	2020	Brasil	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.
13	2020	União Europeia	Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comitê Econômico e Social Europeu e ao Comitê das Regiões: Um novo plano de ação para a economia circular para uma Europa mais limpa e competitiva.
14	2020	Organização das Nações Unidas - ONU	The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows, and the circular economy potential.
15	2020	França	LOI no 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire.
16	2021	União Europeia	Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2014/53/EU on the harmonization of the laws of the Member States relating to the making available on the market of radio equipment.
17	2021	União Europeia	Impact Assessment Study to Assess Unbundling of Chargers.

18	2021	Brasil	Resíduos Eletrônicos no Brasil – 2021 (Green Eletron)
19	2021	Suécia	Investigating the potential circularity of a phone using Life Cycle Assessment.
20	2022	Brasil	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.
21	2022	Organização das Nações Unidas - ONU	The Sustainable Development Goals Report.
22	2022	Brasil	PROJETO DE LEI Nº 2643, DE 2022: Acrescenta dispositivo à Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997, que dispõe sobre a organização dos serviços de telecomunicações, a criação e funcionamento de um órgão regulador e outros aspectos institucionais, nos termos da Emenda Constitucional nº 8, de 1995, para dispor sobre a padronização de interface de carregamento de telefones móveis celulares.
23	2022	Brasil	PROJETO DE LEI Nº 2799, DE 2022: Acrescenta dispositivo à Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997, que dispõe sobre a organização dos serviços de telecomunicações, a criação e funcionamento de um órgão regulador e outros aspectos institucionais, nos termos da Emenda Constitucional nº 8, de 1995, para dispor sobre a padronização de carregadores utilizados em telefones celulares e dispositivos com funcionalidade de telecomunicações.

Fonte: Produção do Próprio Autor.