

Método para a categorização e a estimativa da geração de resíduos eletroeletrônicos no Brasil

Lúcia Helena Xavier^{1,*}, Ricardo Sierpe¹, Marianna Ottoni³ e Jéssica dos Santos Cugula³

¹Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). Avenida Pedro Calmon, 900. Cidade Universitária. Rio de Janeiro-RJ, Brasil (CEP 21941-908). *E-mail: lxavier@cetem.gov.br.

²Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Planejamento Energético (PPE/COPPE). Avenida Horácio de Macedo, 2030. Centro de Tecnologia. Bloco C-211. Cidade Universitária. Ilha do Fundão. Rio de Janeiro-RJ, Brasil (CEP 21941-914).

³Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica. Avenida Athos da Silveira Ramos, 149. CT - Bloco A. 2º andar. Cidade Universitária. Rio de Janeiro-RJ, Brasil (CEP 21941-909).

Resumo. A gestão e a obrigatoriedade do estabelecimento de sistemas de logística reversa de resíduos eletroeletrônicos (REEE) no Brasil foram definidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A partir do Decreto nº 10.240/2020 foram informados 215 produtos para os quais foram estabelecidos prazos e metas para a coleta e destinação ambientalmente adequada. Este documento estabelece metas a anuais não cumulativas a partir do ano de 2021 até 2025, tendo como base o volume em peso dos produtos eletroeletrônicos colocados no mercado interno no ano-base de 2018. Desta forma, o presente estudo objetivou quantificar o volume médio comercializado no Brasil em 2018 a partir da metodologia adotada pela Europa, utilizando dados do IBGE (base SIDRA) sobre a produção e dados sobre importação e exportação informados pela Receita Federal. Os resultados indicaram que, dentro das categorias especificadas pelo decreto, o sistema de logística reversa de REEE deverá recolher cerca de 17,8 kt de REEE ao final do ano de 2021, montante equivalente a 1% do volume colocado no mercado (VCM), calculado em 1,78 milhões de toneladas para 12% dos produtos listados no decreto, no ano-base de 2018, evidenciando um significativo potencial para a recuperação de materiais secundários a partir dos REEE.

Palavras-chave: Resíduos eletroeletrônicos; Reciclagem; Mineração urbana; Logística reversa; Brasil.

Abstract. *Method to categorization and estimative of e-waste generation in Brazil.* The mandatory establishment of reverse logistics systems of waste electrical and electronic equipment

Recebido
04/10/2021

Aceito
01/12/2021

Publicado
31/12/2021



Acesso aberto



ORCID

0000-0003-4177-5251

Lúcia Helena Xavier

0000-0001-9153-892X

Ricardo Sierpe

0000-0002-0897-6177

Marianna Ottoni

(e-waste or WEEE) in Brazil were defined by the Brazilian Policy on Solid Waste (BPSW). According to Decree No. 10,240/2020 were established the deadlines and targets for collection and disposal of 215 products. This document establishes non-cumulative annual targets from the year 2021 to 2025, based on the volume by weight of electronic products placed on the market (PoM) in the year 2018. Thus, this study aimed to quantify the PoM in Brazil according to the European methodology, through data from IBGE (SIDRA database) on production and data on imports and exports reported by the Federal database. The findings suggest that, within the categories specified by the decree, the e-waste reverse logistics system should collect around 17.8 kt of WEEE by the end of 2021, an amount equivalent to 1% of the PoM value, calculated in 1.78 million tons for the products listed in the decree, showing significant potential for the recovery of secondary materials from e-waste.

Keywords: WEEE; E-waste; Recycling; Urban mining; Reverse logistics; Brazil.

0000-0003-2333-839X
Jéssica dos Santos
Cugula

Introdução

Os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) apresentam acelerado padrão de geração no mundo, demandando cuidados especiais por sua composição de alto valor agregado e potencial de periculosidade. Estima-se uma taxa de crescimento anual de 3 a 5% na geração (Ilankoon et al., 2018), sendo que em 2019 foram geradas mais de 53 milhões de toneladas de REEE em todo o mundo (Forti et al., 2020).

No Brasil, a gestão desses materiais foi estabelecida a partir da promulgação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), pela Lei nº 12.305/2010 (Brasil, 2010) e Decreto nº 7.404/2010 (Brasil, 2010), que determina os requisitos para a implementação do Sistema de Logística Reversa (SLR). O atendimento aos requisitos foi introduzido pela PNRS, mas foi a partir do Decreto nº 10.240/2020 (Brasil, 2020) que houve a definição das metas e prazos para a coleta e destinação dos REEE.

Os REEE são definidos como produtos eletroeletrônicos e seus componentes, considerando equipamentos de uso doméstico cujo funcionamento depende de correntes elétricas com tensão nominal de, no máximo, 240 volts (Brasil, 2020). As regulamentações relativas à implementação do sistema de logística reversa (SLR) de REEE no Brasil limitam-se aos produtos domésticos, excluindo os de uso-não doméstico, ou seja, aqueles utilizados para fins governamentais, corporativos, industrial ou comercial por pessoa jurídica. No art. 5º, do Decreto nº 10.240/2020, também são excluídos os equipamentos utilizados em serviços de saúde (exceto equipamentos de *home care*), pilhas, baterias, lâmpadas ou REEE provenientes de grandes geradores.

Observa-se que nos instrumentos regulamentadores da gestão de REEE no Brasil há prevalência pelo uso da terminologia de “produtos” em contraposição a “resíduos”, uma tendência observada mundialmente de uma mudança de perspectiva com relação ao interesse no potencial de valorização e recirculação de materiais nos sistemas produtivos, como promovido pelas premissas da Economia Circular. A esse respeito, vários autores têm sugerido a gestão de recursos e materiais pós-consumo como potencial para a valorização dos resíduos (ou produtos), reduzindo o impacto ambiental e os custos, bem como otimizando os ciclos da cadeia produtiva (Ottoni et al., 2020).

Segundo o conceito de responsabilidade compartilhada apresentado pela PNRS, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes são corresponsáveis por implementar o SLR, cabendo aos que não cumprirem as regras do acordo setorial penalidades severas, como suspensão de licenças de atuação e multas ambientais que podem chegar a R\$ 50 milhões (ABRADISTI, 2021), de acordo com o estabelecido na Lei de Crimes Ambientais, a Lei nº 9.605/1998 (Brasil, 1998), resgatada na própria ementa da Lei nº 12.305/2010. A implementação pode ocorrer a partir da adesão destes agentes do SLR de forma intermediada e coletiva por meio de entidades gestoras ou ainda por participação individual com a tramitação diretamente com as empresas fabricantes e importadoras dos equipamentos eletroeletrônicos.

Segundo definição da PNRS, a entidade gestora consiste em “pessoa jurídica constituída pelas empresas fabricantes e importadoras ou associações de fabricantes e importadores de produtos eletroeletrônicos”, e deve cumprir com a responsabilidade de estruturar, implementar e operacionalizar o sistema de logística reversa.

Para atender aos critérios de implementação do SLR de eletroeletrônicos no Brasil, as entidades gestoras atuam intermediando os processos entre as empresas produtoras e a indústria da reciclagem. Desta forma, a Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos (ABREE) e a Green Eletron são as principais entidades gestoras que atuam na gestão de resíduos eletroeletrônicos, pilhas e baterias. A Reciclus, por sua vez, atende exclusivamente a coleta e destinação de lâmpadas que, segundo a regulamentação brasileira, constituem uma categoria exclusiva de produtos pós-consumo, não sendo incluídos no SLR de equipamentos eletroeletrônicos.

Além das entidades gestoras, outra categoria importante para a implantação dos sistemas de logística reversa são as associações que representam os produtos, distribuidores e importadores de equipamentos eletroeletrônicos. A Associação Brasileira Indústria Elétrica Eletrônica (ABINEE) e a Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos (ELETROS), representam maior parte das empresas do segmento. O parque industrial para a produção de equipamentos eletroeletrônicos compreende uma significativa diversidade de categorias de produtos e materiais. Deve-se considerar desde produtos de grande porte como geradores, transformadores e aerogeradores, até componentes como diodos e capacitores. Desta forma, o Decreto nº 10.240/2020 estipula que os SLR devem ser priorizados para os produtos de uso doméstico, ou seja, aqueles equipamentos eletroeletrônicos utilizados por pessoa física, excluindo-se o uso para fins governamentais, corporativos, industriais ou por pessoa jurídica.

Ainda, na Fase 1 da implementação do SLR, entre fevereiro e dezembro de 2020, dentre outras medidas, coube a criação do Grupo de Acompanhamento de Performance (GAP), formado por entidades representativas de âmbito nacional dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos eletroeletrônicos para acompanhar e divulgar a implementação do sistema de logística reversa e detalhar as funções e as atividades do grupo em regimento interno (Brasil, 2020).

Desta forma, as empresas e entidades gestoras deverão, por meio do GAP, apresentar e manter permanentemente atualizada junto ao Ministério do Meio Ambiente e ao IBAMA a relação dos produtos eletroeletrônicos objeto do sistema de logística reversa, que será publicada no sítio eletrônico do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) e pelos responsáveis pelo SLR. Ademais, cabe ao SINIR a disponibilização do manual operacional básico (Anexo VI, do Acordo Setorial para implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos e seus Componentes) que consiste em um documento consolidado de suporte ao SLR dos eletroeletrônicos com as orientações técnicas para manuseio, transporte e armazenamento corretos dos produtos eletroeletrônicos (Figura 1).

O manual operacional apresenta orientações para os equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo e ainda detalhes específicos para monitores de tubo de

raio catódico (CRT), refrigeradores e o conjunto de impressoras, fax e fotocopiadoras, em razão do risco potencial de quebra ou vazamento de substâncias potencialmente tóxicas como toner, tintas e clorofluorcarbonetos (CFC) (Figura 1).

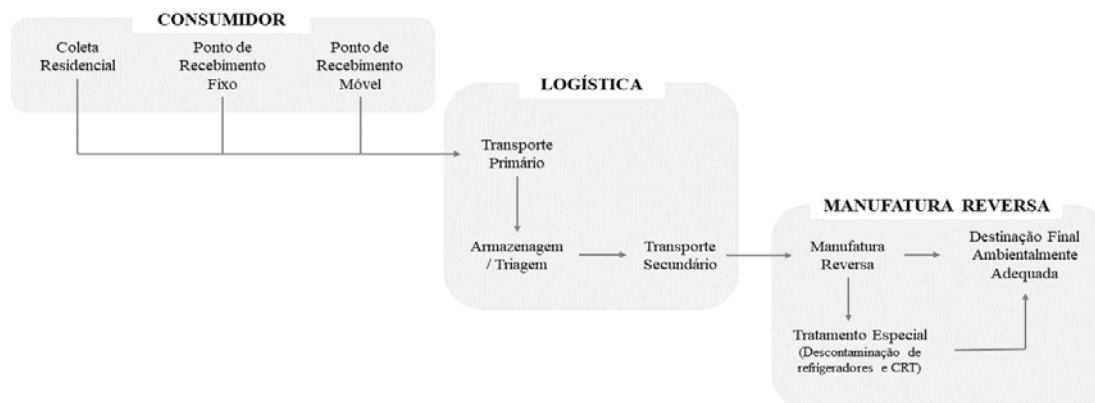


Figura 1. Esquema do fluxo simplificado de operação do SLR de eletroeletrônicos pós-consumo. Fonte: SINIR (2019).

Tabela 1. Responsabilidades dos agentes envolvidos no SLR de eletrônicos no Brasil.

Agentes	Responsabilidades
Fabricantes e importadores	<ul style="list-style-type: none"> - Destinar de forma ambientalmente adequada 100% dos resíduos eletroeletrônicos recebidos pelo SLR - Informar ao GAP os critérios para o cálculo do balanço de massa de produtos eletroeletrônicos - Executar planos de comunicação e de educação ambiental não formal - Atender solicitação do Sisnama informando a respeito do cumprimento das ações exigidas, resguardando sigilo das informações, mediante solicitação e justificativa
Distribuidores	<ul style="list-style-type: none"> - Incentivar a adesão às entidades gestoras ou participação individual do SLR dos estabelecimentos varejistas que atuem na cadeia comercial - Informar aos varejistas sobre a operacionalização do SLR - Disponibilizar ou custear os espaços físicos para os pontos de consolidação do SLR, segundo requisitos do manual operacional básico, e - Disponibilizar aos órgãos do Sisnama, quando solicitado, relatório a respeito do cumprimento das ações exigidas, resguardando sigilo das informações, mediante solicitação e justificativa
Comerciantes	<ul style="list-style-type: none"> - Informar aos consumidores, nos pontos de recebimento, sobre as responsabilidades de segregação, armazenagem, procedimentos de descarte e remoção das informações dos produtos pós-consumo - Receber, acondicionar e armazenar temporariamente os produtos pós-consumo descartados - Efetuar a devolução dos produtos aos fabricantes e importadores segundo requisitos do manual operacional básico, do instrumento firmado com entidade gestora ou com a empresa - Participar dos planos de comunicação e educação ambiental não formal - Disponibilizar aos órgãos do Sisnama, quando solicitado, relatório a respeito do cumprimento das ações exigidas, resguardando sigilo das informações, mediante solicitação e justificativa

Fonte: Brasil (2020).

A implementação do SLR de REEE consiste no reforço da correponsabilidade entre os agentes que devem atuar de forma coordenada no cumprimento dos requisitos legais. As responsabilidades que cabem aos agentes envolvidos no SLR foram especificadas no art. 33, da PNRS (Brasil, 2020), como descrito na Tabela 1.

As associações e cooperativas de catadores de materiais recicláveis devem ser legalmente constituídas e habilitadas para atuarem no SLR de eletroeletrônicos, bem como ser estabelecido instrumento legal entre estas e as entidades gestoras (no modelo intermediado ou coletivo), diretamente com as empresas ou participação de terceiros (no modelo de participação individual).

O Decreto nº 10.240/2020 definiu, ainda, os equipamentos eletroeletrônicos cuja origem ou forma de inserção no mercado se deu de forma diferenciada dos trâmites legais. Os produtos eletroeletrônicos cinzas são aqueles produtos “e seus acessórios importados ou comercializados de forma não oficial, não autorizado ou não intencional pelo fabricante original”, enquanto os produtos eletroeletrônicos órfãos representam produtos “e seus acessórios cujo fabricante ou importador deixou de existir no mercado atual”. Em ambas as situações a rastreabilidade e destinação são comprometidos por impossibilidade de se acionar legalmente os responsáveis por riscos potenciais da destinação ambientalmente inadequada.

Portanto, a gestão de equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo, seus resíduos e materiais mostra-se significativamente complexa e exige a ação integrada dos diferentes agentes do SLR. As metas consideradas no SLR para a taxa de coleta e destinação estão baseadas no volume total de produtos eletrônicos colocados no mercado (VCM, volume colocados no mercado, ou PoM, do inglês, *placed on market*) no Brasil. O volume de produtos eletrônicos descartados pode ser estimado como os montantes colocados no mercado, considerando-se uma vida-útil média de cinco anos para os equipamentos eletroeletrônicos consumidos no país, especialmente para equipamentos das linhas verde (tecnologia da informação e telecomunicações) e marrom (audiovisual) (ABDI, 2012).

O cálculo do VCM deve ser realizado para produtos de uso doméstico tendo-se como referência o peso no ano base de 2018. Para tanto, foram estabelecidas metas de volume em peso para coleta e destinação de REEE, com percentuais escalonados, iniciando em 1% (em 2021), seguindo para 3% (em 2022), 6% (em 2023), 12% (em 2024), até 17% (em 2025) (Brasil, 2020).

Contudo, o valor do VCM de 2018 ainda é desconhecido, e, portanto, as metas pautam-se, atualmente, na busca por estimativas. Conhecer o volume médio em peso dos produtos eletroeletrônicos comercializados no Brasil consiste em um importante desafio enfrentado pelas entidades gestoras. Este valor denota significativa importância por ser responsável por nortear as ações estratégicas para a coleta e destinação dos eletroeletrônicos pós-consumo em todo o país. A partir deste valor, serão estabelecidas as atividades e responsabilidades até o ano de 2025 quando será concluída a primeira etapa da implementação do SLR de REEE no país.

Desta forma, o objetivo desse estudo é quantificar o valor do VCM, que servirá como base para o SLR de resíduos eletroeletrônicos e, desta forma, contribuir para a gestão ambientalmente adequada dessa tipologia de resíduos, bem como o estabelecimento de estratégias políticas públicas adequadas e voltadas para a economia circular.

Experiências na gestão de resíduos eletrônicos

Os movimentos transfronteiriços, regulamentado pela convenção da Basileia desde a década de 1980 (Ilankoon et al., 2018), ainda consistem como um importante desafio para a mitigação dos impactos da destinação indevida dos resíduos potencialmente perigosos.

Lepawsky e McNabb (2010) apontam a falta de técnicas adequadas e o custo logístico para o gerenciamento dos REEE como uma das principais fontes para a exportação de REEE. Esses mesmos autores ainda reforçam que a base COMTRADE, uma das principais fontes de dados sobre comércio internacional, identifica os REEE por meio de apenas um código. Sob o número HS 854810 são identificados a importação e exportação de sucata primária de baterias, acumuladores elétricos, pilhas e baterias usadas, o que indica que este código não reflete todas as categorias compreendidas na categorização de REEE.

Para o efetivo gerenciamento de REEE se faz necessária a identificação da origem e dos volumes gerados, bem como a rastreabilidade. Iniciar pela definição das categorias mostrou-se como uma solução inteligente. Nesse sentido, desde os anos 2000, encontram-se definidas 10 categorias de REEE pela União Europeia. A partir de agosto de 2019, estas categorias foram aglutinadas em seis categorias que se encontram em vigor a partir da Diretiva 2012/19/EU (Parlamento Europeu/Conselho, 2012), a saber:

1. Equipamentos de regulação de temperatura (aquecedores e ar-condicionado);
2. Monitores até 100 cm²;
3. Lâmpadas;
4. Equipamentos de grande porte (dimensão externa superior a 50 cm);
5. Equipamentos de pequeno porte (dimensão externa inferior a 50 cm); e
6. Equipamentos de tecnologia, informação e comunicação.

Essas categorias agrupam as principais tipologias de REEE processadas por indústrias recicladoras. A partir da diretiva, cada país membro elabora regulamentação específica para o gerenciamento do REEE conforme metas estabelecidas. Até dezembro de 2015 a meta era a coleta de, pelo menos, 4 kg por habitante para equipamentos doméstico. Essa meta avançou para 45% do valor colocado no mercado (VCM) entre os anos de 2016 e 2018. Desde 2019 a meta é 65% do VCM. No entanto, foram estabelecidas também metas para coleta e reciclagem (ou preparo para reuso) a partir do REEE gerado conforme as categorias definidas, variando de 50% a 85%. A Tabela 2 informa valores per capita e a geração global para alguns países.

Tabela 2. Geração de resíduos eletroeletrônicos para alguns países.

País	Continente	Geração de REEE (kt)	Geração per capita (kg/ano)	REEE coletado (kt)
China	Ásia	10.129	7,2	1.546
Estados Unidos	Américas	6.918	21,0	1.020
Índia	Ásia	3.230	2,4	30
Japão	Ásia	2.569	20,4	570
Brasil	Américas	2.143	10,2	0,14
Rússia	Europa	1.631	11,3	90
Indonésia	Ásia	1.618	6,1	NA
Alemanha	Europa	1.607	19,4	837

Fonte: Eurostat (2019), Forti et al. (2020).

A principal referência de dados relativos à geração de REEE no mundo tem sido publicada pela Universidade das Nações Unidas (UNU) e conta com a estatística sobre

geração e gestão de resíduos eletroeletrônicos por meio do relatório Global E-Waste Monitor (Forti et al., 2020), como apontado na Tabela 2. A Figura 2 ilustra a geração de REEE nos continentes no ano de 2019.

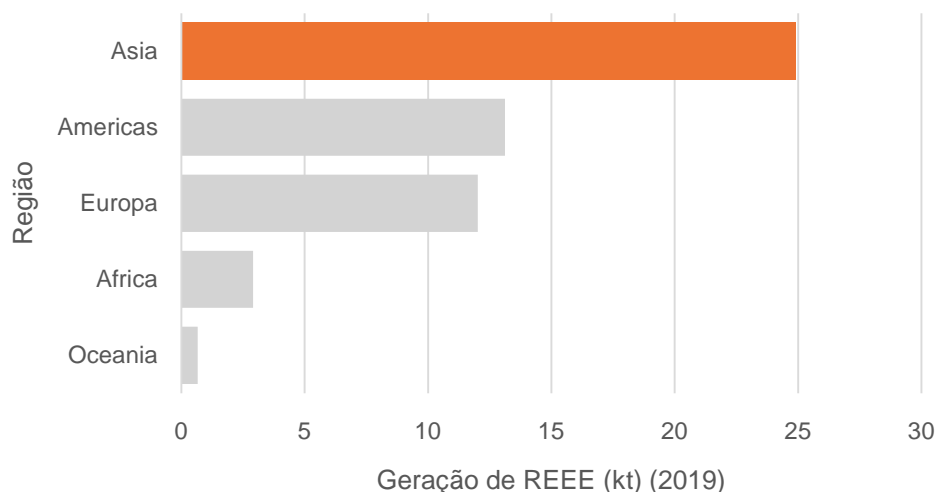


Figura 2. Geração de REEE por continente. Fonte: Forti et al. (2020)

Como apresentado na Figura 2, a Ásia representa o principal continente gerador de REEE no mundo, impulsionado pela China e Índia que possuem uma geração total de 10,13 kt e 3,2 kt, respectivamente. No entanto, a geração per capita nesses países não é tão expressiva quanto a geração per capita nos Estados Unidos (21 kg/hab), Austrália (21,7 kg/hab), Holanda (21,6 kg/hab) ou Japão (20,4 kg/hab).

Metodologia

Diferentes métodos permitem a estimativa do quantitativo de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos gerados pelos consumidores. A diferença entre os métodos consiste basicamente na identificação dos volumes e fluxos de produtos eletroeletrônicos disponíveis para comercialização, conforme o esquema ilustrado na Figura 3.

A partir dos montantes colocados no mercado e considerando-se uma vida-útil média de cinco anos para os equipamentos eletroeletrônicos consumidos no país, pode-se estimar o volume de produtos eletrônicos descartados a serem destinados ao tratamento adequado pelo SLR. Para a estimativa do volume médio em peso dos produtos eletroeletrônicos comercializados no Brasil no ano-base de 2018, foram identificadas duas propostas metodológicas.

O primeiro método foi apresentado em 2014, a partir de um estudo contratado pela Comunidade Europeia e que consiste na compilação de quatro metodologias (Magalini et al., 2014). O segundo é um detalhamento da metodologia utilizada pelo relatório *Global E-waste Monitor* (GEM) (Forti et al., 2020).

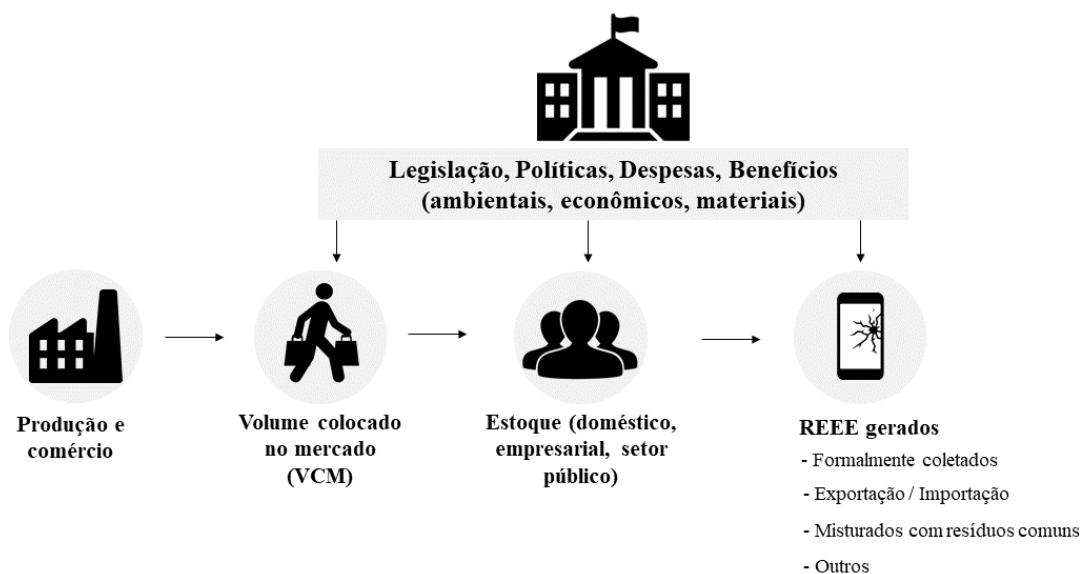


Figura 3. Esquema de medição de fluxos e estoques de produtos eletroeletrônicos e REEE. Fonte: Adaptado de Forti et al. (2020).

O segundo método apresenta um método consolidado que estima, por meio comparação da gestão de resíduos eletrônicos entre países, levando em conta séries históricas dos volumes comercializados (Forti et al., 2018). Neste estudo, foi adotada a proposta inicialmente apresentada por Magalini et al. (2014), que também foi utilizada por Forti et al. (2018). Ambos os estudos utilizam o cálculo do volume colocado no mercado (VCM), conforme mostra a Equação 1 (Magalini et al., 2014).

$$VCM(t) = Produção\ doméstica(t) + Importação(t) - Exportação(t) \quad (1)$$

A Equação 1 consiste na soma dos valores para as variáveis produção doméstica e importação, subtraindo-se a exportação para se encontrar o VCM em um determinado ano (t), neste caso, o ano-base 2018. O cálculo do VCM, apesar de ser representado por uma equação simples, requer uma base robusta de dados que permita conhecer o peso médio unitário de cada um dos produtos eletroeletrônicos. O Decreto nº 10.240/2020 estabelece a obrigatoriedade de informação do volume relativo ao conjunto total de 215 produtos eletroeletrônicos. A Figura 4 ilustra as bases de dados utilizadas para cada variável indicada na Equação 1.

Em consulta às entidades gestoras Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos (ABREE), Reciclus e Green Eletron até junho de 2021, todas informaram que não possuíam os valores consolidados do VCM para os equipamentos eletroeletrônicos e estariam estabelecendo a metodologia para estimativa a partir de informações prestadas por algumas empresas associadas e, desta forma, a informação não estaria disponível.

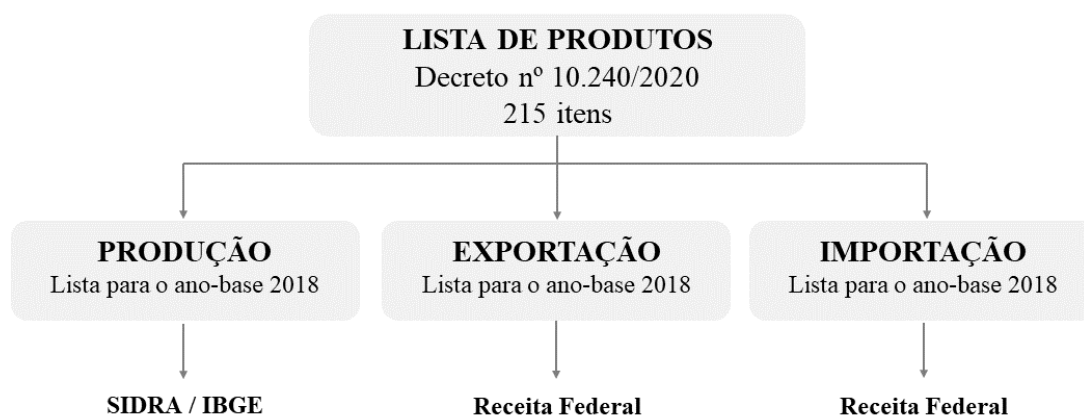


Figura 4. Bases de dados utilizadas para o cálculo do VCM.

Para tanto, os dados foram obtidos a partir de fontes secundárias. A produção doméstica foi extraída a partir da série histórica da base SIDRA do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e os dados de importação e exportação de equipamentos eletroeletrônicos foram utilizados os dados disponibilizados pela Receita Federal e pela Associação Brasileira Indústria Elétrica Eletrônica (ABINEE). De posse desses dados, verificou-se a inconsistência na identificação de alguns indicadores, o que exigiu o tratamento dos dados para fins de análise. Desta forma, foram realizadas três etapas para a harmonização dos dados para viabilizar a análise e cálculo do VCM.

Identificação e análise das bases de dados

Essa etapa preliminar consistiu tanto na identificação de possíveis fontes de dados secundários, quanto na possibilidade de estimativa utilizando-se a estimativa por comparação, conforme Forti et al. (2018). No entanto, verificou-se que o Brasil apresenta um padrão diferenciado de geração de resíduos eletroeletrônicos dentre países com PIB semelhante ou com população semelhante (Nascimento et al., 2018; Xavier et al., 2021), inviabilizando a estimativa por este método. Desta forma, foram adotadas as bases secundárias com série histórica do IBGE (base SIDRA), da Receita Federal e a Produção Industrial do Setor Eletroeletrônico da ABINEE.

Verificou-se que, apesar dos dados para importação e exportação de produtos eletroeletrônicos disponibilizados pela Receita Federal informar tanto o volume em peso quanto o valor econômico, os dados para a produção disponibilizados pelo IBGE constavam unidades de medida em valor unitário (unidades ou mil unidades), peso (quilograma ou tonelada) ou não havia informação de unidades. Desta forma, houve a necessidade de ajuste das medidas para o valor em tonelada e os que continham apenas valor unitário demandaram a busca por referência na literatura para o cálculo do peso médio, como apresentado nos exemplos da Tabela 3.

Tabela 3. Ajustes de pesos entre diferentes produtos eletroeletrônicos pela literatura.

	Computador desktop sem monitor	Celular	Refrigerador	Máquina de lavar roupa	Freezer vertical	Cafeteira	Secador	Ar condicionado parede	Computadores portáteis (laptop, netbook, notebook)	Impressora
Pesos para e-commerce (kg)	3,52	0,17	39,00	40,00	35,00	1,00	0,30	21,80	0,30	3,40
	10,00	0,48	53,00	50,00	55,00	1,90	0,70	24,00	2,00	5,00
	20,00	0,55	115,00	70,00	70,00	2,50	1,10	36,00	3,50	6,19
Abbondanza e Souza (2019)	9,50	0,30			56,50				2,80	4,50
Cobbing (2008)	5,20	0,10	40,80	49,20				51,40		
Guo e Yan (2017)		0,15								
Robinson (2009)	25,00		35,00		35,00		1,00	55,00		
Yang et al. (2008)	27,00			25,00	59,00			51,00		
Hamdan e Saidan (2020)		0,09				1,89		26,70	1,26	
Saidan e Tarawneh (2015)	17,00	0,11	55,00	40,00						
Islam e Huda (2020)			38,50					34,75		
Média	14,65	0,24	53,76	45,70	51,75	1,82	0,78	37,58	1,97	4,77
Mediana	13,50	0,16	40,80	44,60	55,75	1,90	0,85	35,38	2,00	4,75
Máx	27,00	0,55	115,00	70,00	70,00	2,50	1,10	55,00	3,50	6,19
Min	3,52	0,09	35,00	25,00	35,00	1,00	0,30	21,80	0,30	3,40
Vida útil		2,00	9,36	7,51	8,38		10,00	10,33	4,28	
Desvio padrão	8,9	0,2	28,1	14,9	14,0	0,6	0,4	13,3	1,3	1,2

Harmonização da nomenclatura

A listagem dos equipamentos eletroeletrônicos apresentada no Decreto nº 10.240/2020 possui a repetição de equipamentos diferenciados por modelo. Por exemplo, aparelho de ar-condicionado é apresentado nos modelos split, portátil e de janela, enquanto computador possui as tipologias *all in one*, portátil (*notepad*), portáteis (*laptop*, *netbook* e *notebook*) e para atividades desportivas. Desta forma, apesar da lista possuir 215 itens, os mesmos poderiam ser agrupados em um conjunto compacto. Para tanto, categorias como chuveiro e ducha elétrica foram considerados apenas um equipamento. O mesmo para fogão, miniforno e forno elétrico ou frigobar, freezer e refrigerador. Para a

fusão das categorias foram considerados procedimentos similares de destinação e processamento.

Ajuste dos volumes em escala de peso

A partir da organização dos produtos e suas respectivas informações, verificou-se que alguns produtos continham informação em peso (quilogramas ou toneladas) e outros em valores unitários. Para os produtos que possuíam valores unitários foram considerados dados de análise de balanço de massa a partir de autores que consideraram pesos de produtos específicos. Ainda com um caráter conservativo, foram utilizados os menores pesos unitários para a consolidação da base de dados relativos aos produtos de modo a alcançar a peso em toneladas dos volumes produzidos no país para o ano-base de 2018.

Por fim, a partir das etapas metodológicas propostas, foi calculado do VCM, conforme os resultados apresentados e discutidos na Seção 4.

Resultados

Análise e categorização

As 215 categorias estabelecidas a partir do Decreto nº 10.240/2020 têm como objetivo auxiliar a identificação das categorias alvo da implementação da logística reversa. Uma análise cuidadosa das categorias permitiu identificar que três dos itens listados encontravam-se repetidos (cafeteira, parafusadeira e câmera de vídeo), enquanto outros itens, apesar de nomenclatura diferenciada, apresentavam redundância em definição, por exemplo: celular e celular portátil; computador portátil e computadores portáteis.

Desta forma, a partir da listagem original, foram excluídos ao todo 12 itens, permanecendo assim 203 itens dos quais 170 possuem codificação de identificação pelo IBGE, um código constituído por oito dígitos no formato 2XXX-2XXX é atribuído aos produtos produzidos no Brasil e para a categoria de eletroeletrônicos os códigos são divididos em 27 classes.

As classes identificadas na base do SIDRA IBGE compreendem ao todo 6.305 unidades produtivas no segmento de eletroeletrônicos e representam um valor de produção superior a R\$ 194 bilhões para o ano de 2018. Na Tabela 4, são apresentadas as classes do IBGE que correspondem a categoria de eletroeletrônicos e agrupam as subclasses que, por sua vez, identificam os produtos que são produzidos no país.

Para cada produto citado na Tabela 4, são identificadas na base de dados do IBGE os produtos e as unidades de produção correspondentes. As classes com maior representatividade econômica no segmento são Fabricação de aparelhos telefônicos e de outros equipamentos de comunicação e Fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos. No entanto, cabe ressaltar que o SLR de eletroeletrônicos se aplica aos equipamentos de uso doméstico. Desta forma, os equipamentos de grande porte como geradores e transformadores não fazem parte do sistema.

Outra codificação possível é a Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM), atribuída a partir da identificação dos produtos importados e exportados com um código de oito dígitos no formato 8XXX.XX.XX. As categorias correspondentes aos equipamentos eletroeletrônicos nessa codificação correspondem aos capítulos 84 e 85 da listagem para os quais foram identificados um total de 78 códigos NCM correspondentes aos itens estabelecidos na listagem de referência do estudo, informada pelo Decreto nº 10.240/2020.

Tabela 4. Classes do IBGE para relativas aos eletroeletrônicos de uso doméstico e não-doméstico em 2018 (ano-base).

	Nome	Número Unidades	Valor da produção (Mil Reais)
1	Fabricação de componentes eletrônicos	244	7.763.602
2	Fabricação de equipamentos de informática	75	12.629.298
3	Fabricação de periféricos para equipamentos de informática	155	6.924.987
4	Fabricação de equipamentos transmissores de comunicação	235	8.499.860
5	Fabricação de aparelhos telefônicos e de outros equipamentos de comunicação	80	29.827.252
6	Fabricação de aparelhos de recepção, reprodução, gravação e amplificação de áudio e vídeo	216	17.046.750
7	Fabricação de aparelhos e equipamentos de medida, teste e controle	725	5.058.630
8	Fabricação de cronômetros e relógios	34	1.197.226
9	Fabricação de aparelhos eletromédicos e eletroterapêuticos e equipamentos de irradiação	69	921.120
10	Fabricação de equipamentos e instrumentos ópticos, fotográficos e cinematográficos	29	163.304
11	Fabricação de mídias virgens, magnéticas e ópticas	13	235.149
12	Fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos *	644	25.435.361
13	Fabricação de pilhas, baterias e acumuladores elétricos, exceto para veículos automotores*	40	1.044.343
14	Fabricação de baterias e acumuladores para veículos automotores	56	2.049.682
15	Fabricação de aparelhos e equipamentos para distribuição e controle de energia elétrica	440	5.644.040
16	Fabricação de material elétrico para instalações em circuito de consumo	465	3.328.708
17	Fabricação de fios, cabos e condutores elétricos isolados	357	12.602.577
18	Fabricação de lâmpadas e outros equipamentos de iluminação*	210	1.404.830
19	Fabricação de fogões, refrigeradores e máquinas de lavar e secar para uso doméstico	157	14.342.724
20	Fabricação de aparelhos eletrodomésticos não especificados anteriormente	303	4.609.456
21	Fabricação de equipamentos e aparelhos elétricos não especificados anteriormente	380	3.542.367
22	Fabricação de máquinas e aparelhos de refrigeração e ventilação para uso industrial e comercial	377	4.970.368
23	Fabricação de aparelhos e equipamentos de ar-condicionado	75	6.974.040
24	Fabricação de máquinas-ferramenta	446	4.905.803
25	Fabricação de material elétrico e eletrônico para veículos automotores, exceto baterias	251	10.724.064
26	Manutenção e reparação de equipamentos eletrônicos e ópticos*	63	319.110
27	Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos elétricos*	166	2.499.035
	Total	6.305	194.663.686

Fonte: Dados extraídos da base SIDRA. Nota: (*) itens não considerados no estudo por não comporem o SLR de eletroeletrônicos ou identificarem etapas de serviço.

Estimativa do Volume Colocado no Mercado (VCM)

De acordo com decreto, encontram-se estabelecidas as metas de coleta e destinação do REEE produzido no ano-base de 2018 a partir do VCM. Assim, após a harmonização das categorias a partir das bases nas quais constam os dados relativos à produção (IBGE) e a importação e exportação (Receita Federal), foi realizada a aplicação da equação (1), conforme metodologia proposta pela comunidade europeia (Magalini et al., 2014; Forti et al., 2020).

Tabela 5. Indicadores para a produção, importação e exportação de 24 itens de REEE de uso doméstico para o ano-base 2018.

Nº	Produto	Código IBGE	Produção (t)	Importação (t)	Exportação (t)
1	Televisores	2640-2180	143851,25	81,92289	0,672399
2	Refrigeradores ou congeladores (freezers)	2751-2100	311948,6	15324,45	3123,807
3	Máquinas de lavar ou secar roupa	2751-2030	261510	21872,47	3080,05
4	Aparelhos de ar condicionado	2824-2010	183161,6	10067,07	1,091536
5	Fogões	2751-2005	162263,7	32277,66	1983,145
6	Ventiladores ou circuladores	2759-2240	64583,39	84859,52	2099,05
7	Rádios (receptores de rádio)	2640-2160	854,05	102228,5	0,981677
8	Trituradores e misturadores de alimentos	2759-2230	56548,96	18081,35	1444,35
9	Fornos de micro-ondas	2751-2020	67858,59	1314,999	34,04266
10	Impressoras multifuncionais	2622-2030	26645,47	32113,3	280,2876
11	Telefones celulares, inclusive "Smartphones"	2632-2060	9394,174	20945,18	8,679927
12	Controle remoto	2790-2075	975,2605	25583,59	92,13519
13	Monitores para computadores	2622-2050	6600,2	17430,12	12,12516
14	Ferros elétricos de passar	2759-2110	5166,296	11166,15	0
15	Aspiradores de pó	2759-2040	1402,774	14840,89	49,11644
16	Teclados para equipamento de informática	2622-2090	505,0473	14076,73	7,87053
17	Cafeteiras	2759-2060	143,5923	13124,87	6,82429
18	Computadores pessoais portáteis (laptops, notebook, handhelds, tablets e semelhantes)	2621-2025	10356,02	2240,642	0
19	Máquinas de calcular eletrônicas	2829-2215	0	12307,15	0,353098
20	Secadores de cabelo	2759-2210	3156,575	8359,028	19,41602
21	Gravador ou reprodutor de sinais de áudio e vídeo	2640-2060	3696	5369,078	0,207572
22	Impressoras, exceto multifuncionais	2622-2020	2833,953	4563,553	0
23	Unidades de memória	2622-2120	744,884	4097,41	23,48218
24	Telefones de outros tipos, exceto celulares ou públicos	2632-2070	1260,025	3335,173	12,58683

Os códigos NCM para os produtos importados e exportados foram obtidos a partir da base de dados da Receita Federal, na qual são informados os produtos e os respectivos valores em reais e os pesos em quilo ou tonelada. Desta forma, para os valores de produção para os itens que foram identificados apenas os valores unitários (unidades ou

mil unidades), procedeu-se à identificação dos respectivos pesos. Para tanto, foram realizadas duas abordagens para a coleta de dados sobre os pesos compreendendo o (i) levantamento bibliográfico e o (ii) levantamento em site de e-commerce. Os respectivos dados para alguns dos produtos analisados são apresentados na Tabela 5.

A partir da consolidação dos valores médios obtidos para a produção, foi aplicada a Equação (1) para o cálculo do VCM para o ano de 2018, que corresponde ao valor de VCM de 1.788.760 tde equipamentos eletroeletrônicos, considerando-se a análise de 24 códigos do IBGE correspondentes a 78 NCMs. Desta forma, a Tabela 5 apresenta as respectivas metas para o SLR obtidas a partir do VCM.

Como um mesmo produto pode apresentar a variação do peso conforme o modelo ou tipo, foram considerados ainda dois cenários. O cenário conservador para o qual foram considerados os valores mínimos de peso para os produtos analisados e o cenário arrojado com os valores máximos de peso (Tabela 3). Desta forma, foram encontrados os valores de VCM equivalentes a 1.159.974 t e 3.100.950 t, respectivamente. Tais valores mostram-se relevantes, porexemplo, para o caso de destinação de refrigeradores ou monitores antigos cujos pesos era significativamente superior aos valores verificados para equipamentos mais modernos. Em seguida, foram calculados os valores de VCM para o atendimento das metas estabelecidas, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Metas do SLR calculadas a partir do VCM médio para o ano-base 2018.

Metas SLR	(%)	Quantidade a ser coletada por cenário (kt)		
		Conservador	Moderado	Arrojado
ANO 1 - 2021	1%	11,60	17,89	31,01
ANO 2 - 2022	3%	34,80	53,66	93,03
ANO 3 - 2023	6%	69,60	107,33	186,06
ANO 4 - 2024	12%	139,20	214,65	372,11
ANO 5 - 2025	17%	197,20	304,09	527,16
Total	39%	452,39	697,62	1.209,37

Em 2018, foram colocados no mercado cerca de 1,78 milhão de toneladas de produtos eletroeletrônicos, considerando-se os 24 códigos do IBGE analisados, equivalente a 12% do total de itens propostos pelo decreto. Estes produtos tendem a ser descartados como resíduos, em média, após cerca de cinco anos de uso, como assumido inicialmente nas premissas deste estudo. Logo, em 2023, pode-se inferir que serão gerados cerca de 1,78 Mt de REEE no Brasil.

Valor do VCM e as metas do decreto

As categorias de produtos analisados não esgotaram todos os itens que constam na lista do decreto. No entanto, dentre os 24 itens analisados encontram-se todos os equipamentos considerados da linha branca, ou seja, refrigeradores, fogões, máquinas de lavar, ventiladores e ar condicionados.

Dos itens analisados, cinco categorias representam mais de 63% do peso dos produtos analisados, bem como representam equipamentos de maior porte e, por isso, resultam em custos logísticos maiores (Figura 5). O transporte de cargas mais pesadas também resulta em maior consumo de combustíveis e mais emissão de gases para frotas movidas por combustíveis fósseis.

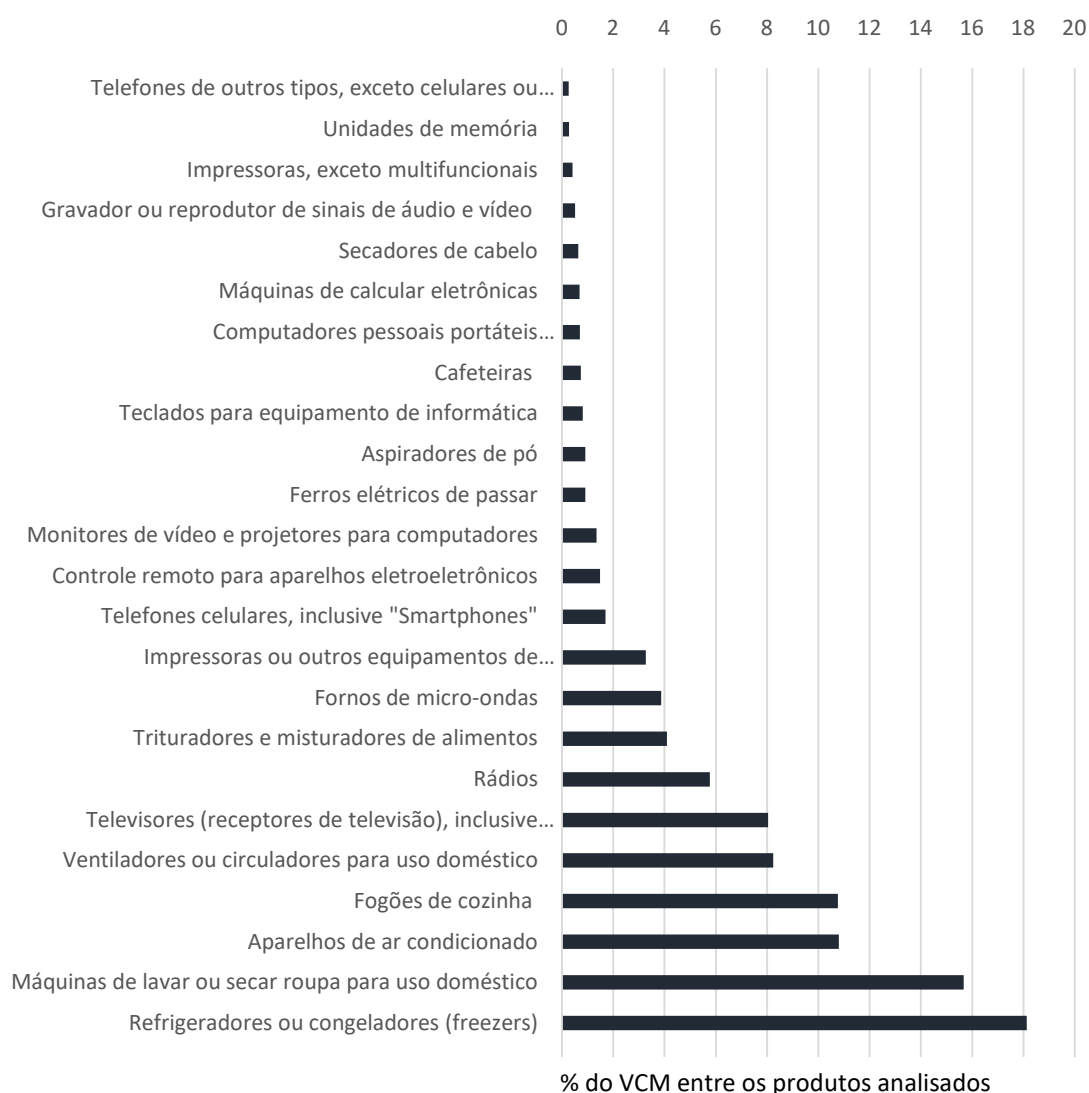


Figura 5. Distribuição do VCM por categoria de equipamentos.

As metas do decreto foram estipuladas para todas as categorias de equipamentos eletroeletrônicos de forma igualitária. No entanto, os dados apresentados na Figura 5 evidenciam a preponderância dos pesos observados para os equipamentos considerados da linha branca. Outro aspecto relevante é a constância da ordem de grandeza dos pesos observados para os produtos de tecnologia da informação e comunicação (TIC). Esta última categoria também possui menor vida útil em razão da inovação tecnológica, conforme observado para equipamentos como celulares, smartphones e notebooks.

Conclusões

A gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) representa um desafio global em razão dos potenciais riscos e do valor de mercado dos materiais que podem ser recuperados dessa categoria de resíduos. No Brasil, a gestão de REEE é regulamentada e as metas para implantação do sistema de logística reversa inicia em 2021 e será concluído em 2015. No entanto, a definição do volume de REEE colocado no

mercado (VCM) é requisito fundamental para a verificação dos valores em peso para a coleta e destinação dos REEE. Desta forma, o presente estudo buscou apresentar formas de categorização dos equipamentos eletroeletrônicos, bem como identificar o volume colocado no mercado (VCM) dos respectivos equipamentos eletroeletrônicos como subsídio ao atendimento das metas estabelecidas para a implantação do SLR de REEE no Brasil.

Os resultados apresentados contribuem como base para o cálculo das metas do SLR de REEE a serem cumpridas no Brasil entre os anos de 2021 e 2022. O estudo considerou a listagem inicial de 215 equipamentos eletroeletrônico que, após validação, foi reduzida para 203 itens, excluindo-se repetições, redundâncias e valores sem correspondência de valores para os códigos IBGE e NCM. Desse montante, foram analisados 24 itens, correspondentes a 12% da listagem total. Mesmo considerando-se uma fração das categorias de eletrônicos estabelecidas pelo Decreto nº 10.240/2020, o VCM calculado foi de 1.788.760 toneladas. O método se mostrou válido e consistente para replicação na totalidade da lista do referido decreto para o cálculo dos volumes totais.

Considerando-se que a vida útil média das categorias de equipamentos analisados estimada em cinco anos, o valor do VCM para o ano de 2018 resultaria na geração de 1,78 Mt de REEE neste período, ou seja, em 2023. O relatório Global E-Waste Monitor, publicado pela Universidade das Nações Unidas, estimou a geração de resíduos eletrônicos em 2,1 Mt, ou 10,2 kg/hab.ano, para o ano de 2019 e 1,5 Mt para o ano de 2016 (FORTI et al., 2020). O valor de VCM encontrado mostra alinhamento com os dados de 2016, mas não parece ter apresentado o salto proposto para o ano de 2019. De toda forma, uma análise mais aprofundada em futuros estudos poderá evidenciar o comportamento da geração de REEE no Brasil, considerando-se, inclusive, o desempenho por categoria e o impacto da pandemia no consumo de equipamentos eletroeletrônicos para atendimento às atividades de forma remota. Ainda, a metodologia para o cálculo do VCM e os resultados apresentados e analisados podem fomentar a realização de estudos futuros considerando-se a análise ponderada do indicador, bem como a eficiência da coleta e processamento dos REEE inclusos no SLR, possibilitando a verificação da efetividade do cumprimento das metas estabelecidas pelo decreto.

As principais limitações deste estudo foram referentes à falta de padronização das bases de dados utilizadas. Assim, a harmonização das categorias de produtos citados do Decreto nº 10.240/2020 a partir da categorização do IBGE foi sugerida neste artigo. Outra forma de harmonização apontada pelo estudo seria a consideração dos códigos NCM dos produtos ou os respectivos códigos de produção atribuídos pelo IBGE. No entanto, tal proposta demandaria uma avaliação pormenorizada das especificidades dos processos produtivos, bem como de reciclagem para indicação dos volumes a serem processados.

Por fim, cabe destacar que a consolidação de políticas públicas no setor de gestão de REEE demandaria a adequação das metas e prazos estabelecidos em conformidade com a variação dos pesos observados para o valor de VCM e a vida útil dos equipamentos que compõem as categorias analisadas. Dessa forma, espera-se que este estudo contribua para a reflexão acerca de tais metas e prazos estabelecidos inicialmente pelos mecanismos legais, de maneira a evidenciar e suplantando os principais desafios para a implantação eficiente do Sistema de Logística Reversa de REEE no Brasil.

Agradecimentos

Os autores agradecem a concessão de recursos para a elaboração do projeto DATARE (CNPq nº 400555/2020-4) e a bolsa nº 132388/2020-0 para a segunda autora.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

Abbondanza, M. N. M.; Souza, R. G. Estimating the generation of household e-waste in municipalities using primary data from surveys: A case study of São José dos Campos, Brazil. **Waste Management**, v. 85, p. 374-384, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.040>

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos**: análise de viabilidade técnica e econômica. Brasília: ABDI, 2012. Disponível em: <https://sinir.gov.br/images/sinir/LOGISTICA_REVERSA/EVTE_ELETROELETRONICO>. Acesso em: 01 out. 2021.

ABRADISTI - Associação Brasileira da Distribuição de Tecnologia da Informação. **Programa de logística reversa apoia cumprimento do acordo setorial**. Brarueri: ABRADISTI, 2021. Disponível em: <<https://abradisti.org.br/noticias/programa-de-logistica-reversa>>. Acesso em: 8 set. 2021.

Brasil. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm>. Acesso em: 01 out. 2021.

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. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 01 out. 2021.

Brasil. **Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010**. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm>. Acesso em: 01 out. 2021.

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. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Decreto/D10240.htm>. Acesso em: 01 out. 2021.

Cobbing M. **Toxic tech**: Not in our backyard. Uncovering the hidden flows of e-waste. Amsterdam: Greenpeace International, 2008. Disponível em: <<https://www.ecotic.ro/wp-content/uploads/2015/07/846472a0b4ca943a0345dfb44e9af06fd82d9931.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2021.

EUROSTAT. 2019. <<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/342366/351758/Target-Rates-WEEE>>. Acesso em: 01 out. 2021.

Forti, V.; Baldé, C. P.; Kuehr, R.; Bel, G. **The global e-waste monitor 2020**: Quantities, flows, and the circular economy potential. Bonn: United Nations University/United Nations Institute for Training and Research, International Telecommunication Union, International Solid Waste Association, 2020.

Forti, V.; Baldé, C. P.; Kuehr, R. **E-waste statistics**: Guidelines on classifications, reporting and indicators. 2. ed. Bonn, Germany: United Nations University, 2018. (ViE - SCYCLE).

Guo, X.; Yan, K. Estimation of obsolete cellular phones generation: A case study of China. **Science of The Total Environment**, v. 575, p. 321-329, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.054>

Hamdan, S.; Saidan, M. Estimation of e-waste generation, residential behavior, and disposal practices from major governorates in Jordan. **Environmental Management**, v. 66, n. 5, p. 884-898, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01341-1>

Ilankoon, I. M. S. K.; Ghorbani, Y.; Chong, M. N. E-waste in the international context: A review of trade flows, regulations, hazards, waste management strategies and technologies for value recovery, **Waste Management**, v. 82, p. 258-275, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.018>

Islam, M. T.; Dias, P.; Huda, N. Assessing the recycling potential of “unregulated” e-waste in Australia. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 152, 104526, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104526>

Lepawsky, J.; McNabb, C. Mapping international flows of electronic waste. **Canadian Geographer**, v. 54, n. 2, p. 177-195, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.2009.00279.X>

Magalini, F.; Wang, F.; Huisman, J.; Kuehr, R.; Baldé, K.; Straalen, V.; Hestin, M.; Lecef, L.; Sayman, U.; Akpulat, O. **Study on collection rates of waste electrical and electronic equipment (WEEE)**: Possible measures to be initiated by the Commission as required by Article 7(4), 7(5), 7(6) and 7(7) of Directive 2012/19/EU on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). Bruxelas: European Commission, 2014. Disponível em: <https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/weee/Final_Report_Art7_publication.pdf>. Acesso em: 01 out. 2021.

Nascimento, H. F.; Xavier, L. H. Urban mining and circular economy: E-waste management in Rio de Janeiro City, Brazil. Fourth Symposium on Urban Mining and Circular Economy, 2018.

Ottoni, M.; Dias, P.; Xavier, L. H. A circular approach to the e-waste valorization through urban mining in Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 261, 120990, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120990>

Parlamento Europeu/Conselho Europeu. **Diretiva 2012/19/UE, de 4 de julho de 2012**. Relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE). Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019>>. Acesso em: 01 out. 2021.

Robinson, B. H. E-waste: An assessment of global production and environmental impacts. **Science of the Total Environment**, v. 408, n. 2, p. 183-191, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.09.044>

Saidan, M.; Tarawneh, A. Estimation of potential e-waste generation in Jordan. **Ekoloji**, v. 24, n. 97, p.60-64, 2015. <https://10.5053/ekoloji.2015.25>

SINIR - Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos. Anexo VI - Manual Operacional Básico (Acordo Setorial de para implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos e seus Componentes). 2019. Disponível em: <https://sinir.gov.br/images/sinir/Acordos_Setoriais/Eletroeletronicos/ANEXO_VI.pdf>. Acesso em: 01 out. 2021.

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, 126570, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126570>

Yang, J.; Lu, B.; Xu, C. WEEE flow and mitigating measures in China. **Waste Management**, v. 28, n. 9, p. 1589-1597, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.08.019>



Informação da Licença: Este é um artigo Open Access distribuído sob os termos da Licença Creative Commons Attribution, que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que a obra original seja devidamente citada.