

# Indicadores de sustentabilidade para análise do gerenciamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

*Sustainability indicators to analyze the management of waste from electrical and electronic equipment*

Rayanne Maria Galdino Silva<sup>1,2\*</sup> , Claudia Coutinho Nóbrega<sup>1</sup> , Ana Cecília Novaes de Sá<sup>1</sup> ,  
Davi Lopes Viana Silva<sup>1</sup> , Lílian de Queiroz Firmino<sup>3</sup> 

## RESUMO

Os indicadores de sustentabilidade têm se tornado uma ferramenta de grande utilidade na avaliação e no acompanhamento das metas a serem atingidas no gerenciamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) no Brasil, explicitado na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) como conteúdo mínimo que deve estar presente nos planos municipais. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi o desenvolvimento de uma matriz de indicadores de sustentabilidade capaz de avaliar o sistema de gerenciamento de REEE em municípios brasileiros. Para isso, reuniu-se um conjunto de 31 indicadores para serem validados pelo método Delphi. Foram necessárias duas rodadas do referido método, aplicadas no ano de 2020, para refinar os indicadores e obter opiniões relevantes para o estudo por parte de especialistas. Cada especialista recebeu o questionário, no qual pôde avaliar a relevância do indicador; atribuir uma nota concernente a cada descritor de mensuração do indicador; e fazer suas sugestões. Dos 60 especialistas para os quais foram enviados os questionários, 32 e 28 participaram da primeira e segunda rodada, respectivamente. Foi obtida uma matriz composta de 21 indicadores (com forma de cálculo, descritores da tendência à sustentabilidade e suas respectivas notas), dos quais três foram criados, 11 foram adaptados da literatura de REEE e oito foram baseados em indicadores de resíduos sólidos urbanos e coleta seletiva, separados em cinco dimensões da sustentabilidade: política/institucional, conhecimento/cobertura, econômica, social e ambiental. Também foi apresentada a proposta de forma de cálculo do índice de sustentabilidade da matriz.

**Palavras-chave:** resíduos de equipamentos eletroeletrônicos; logística reversa; matriz de indicadores.

## ABSTRACT

Sustainability indicators have become a very useful tool in the evaluation and monitoring of goals to be achieved in the management of waste from electrical and electronic equipment (WEEE) in Brazil, which is mentioned in the National Solid Waste Policy (*Política Nacional de Resíduos Sólidos* - PNRS) as a minimum content that must be present in municipal plans. Thus, the objective of this research was to develop a matrix of sustainability indicators capable of evaluating the WEEE management system in Brazilian municipalities. For this, a set of 31 indicators was gathered to be validated using the Delphi Method. Two rounds of the method were needed, which were applied in 2020 to refine the indicators and gather opinions relevant to the study by experts. Each specialist received a copy of the questionnaire, in which they could evaluate the relevance of the indicator; assign a mark to each indicator measurement descriptor; and make suggestions. Of the sixty experts who were sent questionnaires, 32 and 28 participated in the first and second rounds, respectively. A matrix consisted of 21 indicators was obtained (including calculations made, descriptors of the sustainability trend and their respective scores), of which three were created, 11 were adapted from the WEEE literature, and eight were based on indicators of urban solid waste and garbage collection, separated into five dimensions of sustainability: political/institutional, knowledge/coverage, economic, social, and environmental. A proposal for calculating the matrix's sustainability index was also presented.

**Keywords:** waste from electrical and electronic equipment; reverse logistics; matrix of indicators.

## INTRODUÇÃO

O elevado consumo de equipamentos eletroeletrônicos (EEE) traz um sério problema ambiental, que é a destinação final dos resíduos resultantes desses produtos, também

conhecidos como resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE). Esse termo é usado para definir todo equipamento eletroeletrônico, ou parte dele, que seus possuidores tenham descartado, sem intenção de reutilização (STEP INITIATIVE, 2014).

<sup>1</sup>Universidade Federal da Paraíba, Ringgold Standard Institution - João Pessoa (PB), Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal de Campina Grande, Ringgold Standard Institution - Pombal (PB), Brasil.

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas, Ringgold Standard Institution, Centro de Engenharias - Pelotas (RS), Brasil.

\*Autora correspondente: rayannemaria2014@gmail.com

**Conflitos de interesse:** os autores declaram não haver conflitos de interesse.

**Financiamento:** nenhum.

**Recebido:** 23/04/2022 - **Aceito:** 24/02/2023

Kumar e Rawat (2018) explicam que o rápido avanço e as mudanças na tecnologia dos equipamentos eletroeletrônicos tem findado em uma obsolescência mais rápida dos produtos dessa tipologia, o que gera aumento na quantidade de resíduo eletrônico produzido e descartado.

De acordo com Forti *et al.* (2020), excluindo-se os painéis fotovoltaicos, foram gerados mundialmente 53,6 milhões de toneladas métricas (Mt) de REEE no ano de 2019, isto é, 7,3 kg *per capita*, e estima-se que a geração desse resíduo será superior a 74 milhões de toneladas em 2030, em uma taxa de aumento de quase 2 Mt ao ano.

Com relação à reciclagem dos REEE, em 2019 a coleta documentada e a reciclagem foram de 9,3 milhões de toneladas, ou seja, de 17,4% em comparação com o total gerado. Logo, nesse sistema as atividades de reciclagem não acompanham o crescimento global do REEE (FORTI *et al.*, 2020).

Segundo Forti *et al.* (2020), o Brasil é o maior gerador de resíduos eletroeletrônicos da América Latina, contando com aproximadamente 2.143 kt de resíduos gerados no ano de 2019, resultando em 10,2 kg de resíduo eletrônico produzido por indivíduo, 2,9 kg *per capita* a mais em comparação com a geração de REEE mundial.

A preocupação no gerenciamento dos REEE também é justificada pela existência, na constituição desses resíduos, de diversas substâncias tóxicas que podem causar danos à saúde humana e ao meio ambiente se não forem gerenciados de maneira adequada (FORTI, 2019; BEULA; SURESHKUMAR, 2021). Essas substâncias incluem metais pesados como chumbo, berílio, cádmio, mercúrio e componentes químicos poluentes como retardadores de chamas, além de vários outros compostos altamente tóxicos (BEULA; SURESHKUMAR, 2021).

Algumas substâncias perigosas contidas nos REEE podem ser voláteis e não biodegradáveis, e quando eles são aterrados ou incinerados podem causar problemas significativos de contaminação do solo, da água e do ar. Os metais pesados presentes nesse tipo de resíduo são tóxicos para plantas, animais e microrganismos e, no homem, causam diversas enfermidades, principalmente no cérebro e sistema nervoso (BEULA; SURESHKUMAR, 2021).

Alguns retardadores de chamas também presentes nos resíduos eletroeletrônicos formam gases de combustão corrosivos ou tóxicos que poluem a atmosfera e geram gases que contribuem para a perda da camada de ozônio, principalmente os clorofluorcarbonetos (CFC) (FORTI, 2019; BEULA; SURESHKUMAR, 2021). Ainda assim, segundo Forti (2019), a maior parte dos REEE não recebe nenhum tratamento e é descartada de forma imprópria, tendo os lixões como principal depósito final.

No Brasil, o gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os REEE, é definido pela Lei nº 12.305 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Desde o ano de 2010, as empresas que fabricam, distribuem e comercializam produtos eletroeletrônicos têm por obrigação elaborar, desde sua concepção, um plano de logística reversa (LR) para esse tipo de resíduo. No entanto, de forma geral, ainda não se conseguiu implementar esse sistema para os REEE no país, apesar de ele ter sido instituído pela PNRS no ano de 2010 (DIAS, 2017).

Tendo em vista a implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, em outubro de 2019 foi assinado o Acordo Setorial, ato de natureza contratual firmado entre a União, por intermédio do Ministério do Meio ambiente, e os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes para a implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos

de Uso Doméstico (SINIR, 2019). O acordo setorial é um dos possíveis instrumentos jurídicos que permite a implementação do sistema de logística reversa.

Ainda na perspectiva legal, o Decreto nº 10.240/2020 regulamenta a estruturação, implementação e operacionalização dos sistemas de logística reversa dos REEE no Brasil. Nesse decreto são detalhados os pormenores para a realização da logística reversa do resíduo, orientando os agentes envolvidos sobre suas atribuições e responsabilidades e os caminhos que deverão ser percorridos para o sucesso da logística (BRASIL, 2020).

Em janeiro de 2022 o governo federal promulgou o Decreto nº 10.936, que regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), e o capítulo III trata especificamente da logística reversa. Nesse decreto estão especificados os objetivos, que são: otimizar a implementação e operacionalização da infraestrutura física e logística; proporcionar ganhos de escala e possibilitar a sinergia entre os sistemas. Já no art. 13 do referido decreto, especifica-se que a logística reversa é instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado pelo conjunto de ações, de procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos ou para a destinação final ambientalmente adequada.

Diante do exposto, torna-se claro que o gerenciamento dos REEE constitui um grande desafio na sociedade. Nesse sentido, uma ferramenta importante na análise da sustentabilidade dos programas de gerenciamento de REEE é o uso de indicadores, incluído na PNRS como conteúdo mínimo que deve estar presente nos planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos, servindo como mecanismo para a análise de desempenho operacional e ambiental dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Os indicadores de sustentabilidade são utilizados para determinar a tendência de um determinado sistema, apontando se esse sistema está evoluindo ou retrocedendo no tocante à sustentabilidade (ELSAID; AGHEZZAF, 2018). Nesse viés, os indicadores de sustentabilidade aplicados na gestão e no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) fornecem uma visão holística do desempenho de todo o sistema de gestão de RSU, sendo usados para comparar diferentes tecnologias, tratamentos e desempenhos socioeconômicos ambientais (DEUS; BEZERRA; BATTISTELLE, 2019). Veiga (2014) também afirma que o uso de indicadores pode fornecer informações importantes no desenvolvimento de planos de gestão integrada de resíduos e ainda auxiliar na definição de técnicas de gerenciamento mais adequadas.

Com relação aos REEE, Dias (2017) reuniu um conjunto de indicadores para avaliar o sistema de gestão desses resíduos e propôs um índice para sua avaliação. Pereira, Gunther e Ribeiro (2017) desenvolveram indicadores para a avaliação de sistemas de logística reversa de REEE e sugerem que pesquisas posteriores testem os indicadores com dados reais dos sistemas de logística reversa e estabeleçam notas ou pontuações que reflitam a *performance* dos sistemas de maneira mais visual e imediata. Motta e Barreto (2019) levantaram indicadores para análise da gestão de REEE em instituições públicas e privadas.

Apesar de haver na literatura científica trabalhos na área de indicadores para REEE, a maioria não apresenta formas claras de mensuração e aplicação, não teve seus indicadores validados por especialistas, não possui descritores que representem as possibilidades da realidade local ou não fornece um meio de criação de um índice de sustentabilidade. Nesse sentido, verifica-se a necessidade de um estudo pormenorizado que levante um conjunto de indicadores capazes de avaliar o gerenciamento dos REEE em

municípios, uma vez que estes devem atuar na responsabilidade compartilhada de gestão desses resíduos.

Esta pesquisa teve como objetivo selecionar um conjunto de indicadores reportados na literatura e avaliá-los pela metodologia Delphi para compor um índice de análise do nível de sustentabilidade para a avaliação do sistema de gerenciamento de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos nos municípios brasileiros.

## MATERIAL E MÉTODOS

O principal foco desta pesquisa foi propor ferramentas, por meio da adaptação de indicadores reportados na literatura, que permitam avaliar o nível de sustentabilidade do gerenciamento de REEE nos municípios brasileiros. As etapas do procedimento metodológico podem ser observadas no fluxograma (Figura 1).

Primeiramente foi realizado um levantamento bibliográfico, na literatura nacional e internacional, dos indicadores que avaliam a logística reversa, a gestão e o gerenciamento dos REEE. A partir de então, foi possível identificar na literatura científica e em outras fontes propostas de critérios e indicadores.

Para a seleção dos indicadores, foram usados os critérios adotados por Dias (2017): aplicabilidade dos indicadores, acessibilidade dos dados, relevância, validação científica e social, previsibilidade, padronização, sensibilidade temporal, confiabilidade da fonte, consistência científica e critérios que estimulassem boas práticas futuras no gerenciamento de REEE.

Inicialmente, foi possível a construção e adaptação de um conjunto de 31 indicadores relevantes ao estudo, agrupados em cinco dimensões: política/institucional, de conhecimento/coertura, econômica, social e ambiental. Essa matriz de indicadores em sua versão preliminar foi avaliada e validada em função da existência e do potencial dos indicadores para mensurar o gerenciamento dos REEE. Para isso, foi utilizado o método Delphi com o objetivo de obter um consenso sobre os indicadores com maior relevância para a gestão de REEE.

A fase de aplicação do método Delphi contou com duas etapas. A primeira consistiu no envio dos questionários aos especialistas e retorno dos questionários respondidos. Na segunda etapa, foram reenviados os questionários com as sugestões propostas, novos indicadores e indicadores modificados, para a atribuição ou não de novas notas.

O critério de escolha dos profissionais foi fundamentado na área de formação, especialidade no tema e atuação na temática em instituições públicas e privadas. Para isso, selecionaram-se pessoas com conhecimento e experiência da área de REEE (como pesquisadores, acadêmicos, profissionais que atuam com REEE) e realizaram-se buscas de professores doutores na Plataforma Lattes, terminando-se com aproximadamente 60 especialistas no Brasil. Segundo Wright e Giovinazzo (2000), para a validação do referido método são necessários no mínimo três especialistas, sem limite máximo, podendo-se superar uma centena.

Durante a aplicação do questionário, foi possível a participação de especialistas de diversas regiões do país. Tal fato pode fortalecer a credibilidade do estudo para ser usado futuramente (BESEN, 2011).

Todas as rodadas de questionário da pesquisa foram feitas por meio da ferramenta Google Forms, presente no pacote do escritório do Google Drive. Para a análise estatística dos resultados, foi empregado a ferramenta Excel 2013, na qual foram calculadas médias, medianas, modas, frequências e porcentagens das notas atribuídas.

No questionário foi solicitado que os especialistas avaliassem o grau de relevância dos indicadores, o que demonstra a importância do indicador em fornecer informações para o gerenciamento dos REEE. Sendo assim, o especialista deveria atribuir uma nota a cada indicador, de acordo com a escala Likert de cinco pontos: 5 — muito relevante, 4 — relevante, 3 — desejável, 2 — baixa relevância, 1 — irrelevante.

Um indicador foi considerado relevante quando o somatório das notas entre 4 e 5 foram superiores a 50%, que foi o nível de consenso utilizado, baseado em Santiago e Dias (2012). Segundo os referidos autores, trabalhos passados mostraram que os níveis de consenso adotados na literatura variam de 50 a 80%. Os indicadores considerados irrelevantes foram excluídos.

Os especialistas também atribuíram notas a cada descritor da tendência à sustentabilidade, que representam as possibilidades de realidades distintas normalmente encontradas nos municípios e servem como meio de mensuração/aplicação dos indicadores. Na matriz preliminar, dos 31 indicadores, 29 continham três descritores e dois continham dois descritores, somando-se o total de 91 espaços para a atribuição dos pesos. De acordo com Souza e Lamounier (2006), o método não necessita de consenso, uma vez que a opinião predominante é refletida pela mediana, assim as notas dos descritores dos indicadores apresentados na matriz final foram definidas pela mediana das notas atribuídas pelos especialistas.

Por fim, foi dada aos especialistas a possibilidade de sugerir alterações nas denominações, fórmulas de cálculos, descritores, propostas de escalas, novos indicadores e onde buscar os dados para alimentar tais indicadores. Os descritores representam as possibilidades de realidade local e servem como meio de mensuração dos indicadores. Quanto às escalas, suas amplitudes foram determinadas com base em indicadores iguais ou semelhantes existentes na literatura e, posteriormente, houve a padronização dessas escalas para alguns indicadores do atual estudo. Essa padronização foi feita com o intuito de facilitar a análise feita por parte dos especialistas durante a aplicação dos questionários.

Na primeira rodada do método Delphi, o envio do questionário ocorreu no dia 3 de julho de 2020 e o encerramento, no dia 4 de agosto do mesmo ano. Dos 60 especialistas a quem foram enviados o questionário, 32 participaram da pesquisa, obtendo-se assim retorno de 53,3%. Foi registrado o total de 204 comentários e sugestões desses especialistas. Nessa rodada, foi possível a identificação de possíveis erros de valores e de digitação, exclusões e alterações nos

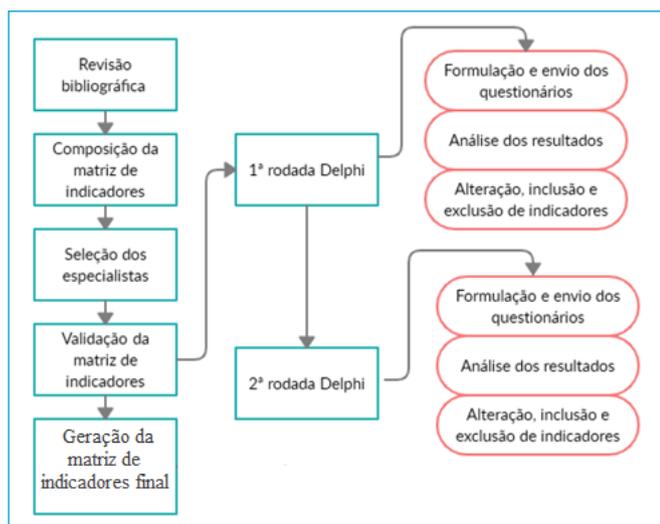


Figura 1 - Fluxograma das etapas metodológicas.

indicadores, bem como alterações nos descritores da tendência à sustentabilidade, objetivando a melhoria da matriz. Com base nos resultados da primeira rodada, foi construído o formulário da segunda rodada.

A segunda rodada teve início no dia 12 de outubro de 2020 e estendeu-se até dia 20 de novembro do referido ano, no qual foram enviados os questionários com os *feedbacks* para os 32 participantes da primeira rodada. Nessa etapa, obteve-se o total 28 respostas, correspondente a 87,5% de retorno considerando-se o grupo de 32 especialistas que responderam à primeira rodada. Além disso, foram recebidas 13 sugestões, número inferior ao da rodada anterior, indicando maior consenso entre os especialistas acerca dos indicadores.

Após as duas rodadas Delphi, foi construída a matriz de indicadores apresentada neste trabalho, na qual: três indicadores foram criados para o atual estudo baseados na realidade local e na legislação municipal de João Pessoa pertinente aos REEE; 11 foram adaptados de Dias (2017); quatro foram baseados em indicadores de RSU criados por Santiago e Dias (2012); três foram baseados em indicadores da gestão municipal de RSU de Polaz e Teixeira (2009); e um (01) foi baseado em indicadores de coleta seletiva com inclusão de catadores de Besen (2011).

De posse da matriz final consolidada e inédita, resultado deste estudo, poderão ser calculados os índices representativos do gerenciamento dos REEE nos municípios, proposto por Santiago e Dias (2012) e adaptado a esta pesquisa, para obter o nível de sustentabilidade do sistema. Segundo Besen (2011), a geração de índices é a única forma de se estabelecerem comparações entre municípios ou organizações e estimular o avanço em direção ao desenvolvimento sustentável, isto quando eles são aprimorados para chegarem o mais próximo da realidade existente. Dessa forma, também foi proposto o cálculo do índice de sustentabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Perfil dos especialistas

Dos 60 especialistas selecionados, 32 aceitaram participar da pesquisa. Esses profissionais atuam em seis estados brasileiros (Figura 2). O estado da Paraíba apresentou maior número de participantes (78,1%), seguido do Ceará (6,3%).

Desses respondentes, 71,9% eram do sexo feminino e 26,1% do sexo masculino. Com relação à área de formação, a maioria dos respondentes é formada em Engenharia (84,4%), ciências biológicas (12,5%) e ciências exatas e da terra (3,1%). Quanto ao grau de titulação acadêmica, 46,9% dos participantes

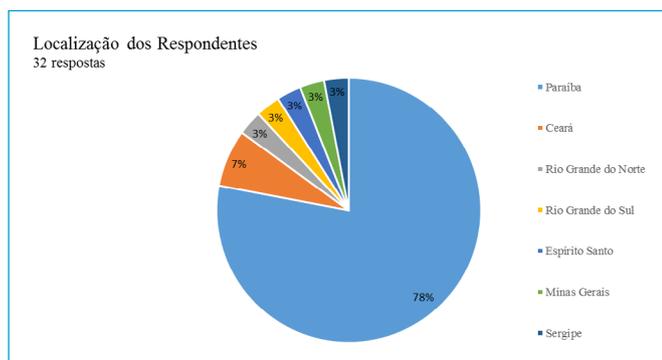


Figura 2 - Localização dos respondentes (32 respostas).

possuíam doutorado, 21,9% mestrado, 15,6% curso técnico, 12,5% graduação e 31,1% especialização. Com isso, observou-se a existência de uma equipe multidisciplinar com diversas habilidades técnicas, experiências e perspectivas, o que auxiliou e trouxe mais segurança para o processo de validação dos indicadores.

### Etapas de validação e matriz final dos indicadores

Na primeira rodada, 31 indicadores seguiram para análise pelos especialistas. Nessa etapa todos os indicadores obtiveram consenso superior a 75% sobre sua relevância. Como todos apresentaram alta aceitação, a exclusão de alguns foi baseada nas sugestões recebidas, que também nortearam as alterações feitas no conjunto de indicadores para serem validados na segunda rodada do método. No total foram excluídos nove indicadores e não houve inserção de novos, resultando em uma matriz composta de 21 indicadores para envio na segunda rodada.

Na segunda rodada, os especialistas puderam analisar os resultados alcançados na primeira rodada e todas as modificações efetuadas, refletir sobre a possibilidade de alterar as notas atribuídas à relevância do indicador com base nas médias e medianas. O consenso mínimo dos indicadores nessa fase foi de 82,1%, não havendo nenhuma exclusão e inclusão após a rodada.

De posse dos resultados e alterações realizadas após a segunda rodada, foi possível estruturar a matriz final com 21 indicadores, apresentando a nomenclatura dos indicadores, sua forma de mensuração, seus descritores da tendência à sustentabilidade e as notas desses descritores agrupados nas dimensões política/institucional, de conhecimento/cobertura, econômica, social e ambiental (Quadro 1). Segundo Souza e Lamounier (2006), a mediana representa a opinião majoritária dos respondentes, assim as notas dos descritores apresentadas na matriz final foram obtidas com base na mediana das notas atribuídas pelos participantes.

Em razão da pouca difusão do tema “indicadores para REEE” na literatura científica, como também observou Pereira (2018), houve dificuldades e limitações na seleção dos indicadores propostos em outros trabalhos, motivo da adaptação e criação de novos indicadores. Também foi verificado que muitos dos indicadores encontrados na literatura, apesar de relevantes, não apresentavam formas claras de mensuração ou descritores da tendência à sustentabilidade. Dessa forma, foi necessário o desenvolvimento de tais complementos para permitir a elaboração de um índice representativo.

Jain e Gurtoo (2019) selecionaram 24 indicadores para a medição de sustentabilidade para empresas produtoras de resíduo eletrônico. Dias (2017) usou 40 indicadores com seis dimensões. Pereira, Ribeiro e Günther (2017) reuniram 44 indicadores, mediante adaptações, que foram distribuídos em dois grupos: um para avaliação global da situação da implementação da LR de REEE no país e o outro para avaliação da *performance*. Gavrilescu *et al.* (2021) propuseram um sistema de avaliação da sustentabilidade de sistemas de gestão de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, trabalhando com a metodologia SUSTWEEE que compreende quatro níveis e é composta de indicadores a serem tratados em informações básicas, geração de REEE, desempenho técnico de REEE e sustentabilidade. Quanto à quantidade de indicadores para avaliar monitorar esses sistemas, ela é muito variável e está condicionada à disponibilidade e qualidade de dados.

Pereira (2018) recomenda que os dados para a alimentação de indicadores para análise do sistema de logística reversa de REEE sejam provenientes dos relatórios anuais a serem apresentados aos órgãos ambientais pelos responsáveis dos sistemas, preferencialmente via sistema eletrônico.

**Quadro 1 - Matriz de indicadores final com a forma de mensuração dos indicadores e os descritores da tendência à sustentabilidade com suas respectivas notas.**

Dimensão Política / Institucional				
Indicador	Mensuração	Descritor	Nota	
1	Legislação específica de REEE (Adaptado de Dias, 2017)	Existência de legislação específica de REEE	Existe uma legislação específica de REEE.	5
			Não existe legislação específica de REEE, porém existe uma classificação do REEE como resíduo especial na legislação de RSU.	3
			Não existe legislação específica de REEE e a não há citação destes resíduos na legislação de RSU.	0
2	Acordo Setorial Municipal (Adaptado de Dias, 2017)	Existência de Acordo Setorial Municipal	Existe acordo setorial municipal.	5
			Acordo setorial municipal está em fase de elaboração.	3
			Não existe acordo setorial municipal	0
3	Ações de fiscalização relacionadas ao gerenciamento de REEE nos estabelecimentos comerciais de EEE, promovidas pelo poder público municipal (Adaptado de Polaz e Teixeira, 2009)	Frequência das ações de fiscalização relacionadas ao gerenciamento de REEE nos estabelecimentos comerciais de EEE, promovidas pelo poder público municipal	Existe fiscalização com ocorrência permanente.	5
			Existe fiscalização, porém com ocorrência esporádica.	3
			Inexistência de fiscalização	0
4	Informações sistematizadas e disponibilizadas sobre REEE para a população (Adaptado de Polaz e Teixeira, 2009)	Existência de informações sistematizadas e disponibilizadas para a população	Informações sistematizadas e disponibilizadas continuamente para a população	5
			Informações são sistematizadas, mas não estão acessíveis para a população.	2
			Informações não são sistematizadas.	0
5	Parcerias entre comerciantes de REEE e entidades gestoras, conforme Decreto nº 10.240/2020 (BRASIL, 2020)	Existência de parcerias	Existem parcerias.	5
			Não existem parcerias.	0
Dimensão Conhecimento/Cobertura				
Indicador	Mensuração	Descritor	Nota	
6	Número de pontos de coleta de REEE instalados <sup>1</sup> (Adaptado de Dias, 2017)	Nº de pontos / (Mil habitantes × 0,04)	≥ 80%	5
			20,1 a 79,9%	3
			≤ 20%	2
7	Estabelecimentos inscritos para instalação de pontos de coleta REEE (Adaptado de Dias, 2017)	Nº de estabelecimentos com pontos de coleta × 100 / Nº de estabelecimentos comerciais de REEE	≥ 80%	5
			20,1 a 79,9%	3
			≤ 20%	2
8	Adesão ao sistema de logística reversa de REEE (Adaptado de Dias, 2017)	Nº de empresas que entregam REEE pontos formais × 100 / Nº de empresas total	≥ 80%	5
			20,1 a 79,9%	3
			≤ 20%	2
9	Empresas de reciclagem ou gerenciadoras de REEE que coletam na cidade (Adaptado de Dias, 2017)	Existência de empresas de reciclagem ou gerenciadoras de REEE que coletam na cidade	Existem empresas e elas operam com capacidade de receber todos os resíduos que são encaminhados.	5
			Existem empresas, mas elas operam acima da capacidade operacional e não suportam o volume de REEE encaminhados.	3
			Não existem empresas recicladoras/gerenciadoras de REEE na região.	0
10	Realização de avaliação da gestão dos REEE com a participação da sociedade (Adaptado de Santiago e Dias, 2012)	Frequência da realização da avaliação da gestão dos REEE com a participação da sociedade	É realizada anualmente.	5
			É realizada de forma esporádica.	3
			Não há.	0
11	Disponibilização de recipientes de coleta de REEE por parte das empresas (Autores, 2020)	Disponibilização de recipientes de coleta nos locais de comercialização de EEE e nos locais de grande fluxo de pessoas	Disponibilizam recipientes de coleta de REEE nos locais de comercialização e de grande fluxo de pessoas.	5
			Disponibilizam recipientes de coleta de REEE nos locais de comercialização.	4
			Não disponibilizam recipientes de coleta de REEE.	0

Continua..

Quadro 1 - Continuação.

Dimensão Econômica				
Indicador	Mensuração	Descritor	Nota	
12	Recursos alocados para ações de educação ambiental no gerenciamento de REEE (Adaptado de Santiago e Dias, 2012)	Recurso alocado para educação ambiental × 100 / Custo total do gerenciamento de REEE	> 3%	5
			1 a 2,9%	3
			Não há	1
13	Viabilidade econômica da reciclagem (Adaptado de Dias, 2017)	Ve = (CN-CR)/CN*100 CN – custo unitário no mercado do insumo de fonte natural; CR – custo unitário no mercado do insumo obtido de reciclagem; Ve –viabilidade econômica da reciclagem.	≥ 80%	5
			20,1 a 79,9%	3
			≤ 20%	2
14	Aplicação dos recursos provenientes da reciclagem e reúso dos REEE (Adaptado de Santiago e Dias, 2012)	Destinação dos recursos provenientes da reciclagem e reúso dos REEE	Na própria manutenção do gerenciamento de REEE	5
			Atividades socioculturais e assistenciais	4
			Outra	2
Dimensão Social				
Indicador	Mensuração	Descritor	Nota	
15	Capacitação promovida aos atuantes da rede de logística reversa (Adaptado de Santiago e Dias, 2012)	Existência de capacitação contínua promovida aos atuantes da rede de LR	Existe capacitação contínua.	5
			Existe capacitação de forma esporádica.	3
			Não existe.	0
16	Condições de saúde <sup>2</sup> e trabalho <sup>3</sup> (nos pontos de coleta: empresa que recolhe REEE, centros de tratamento etc.) (Adaptado de Besen, 2011)	Nº de requisitos atendidos × 100 / Nº de requisitos desejáveis (média de todos os ambientes)	≥ 80%	5
			20,1 a 79,9%	3
			≤ 20%	2
Dimensão Ambiental				
Indicador	Mensuração	Descritor	Nota	
17	Estabelecimentos que comercializam EEE de segunda mão <sup>4</sup> (Adaptado de Dias, 2017)	Nº de lojas de EEE 2ª mão × 100 / (mil habitantes × 0,06)	≥ 80%	5
			20,1 a 79,9%	3
			≤ 20%	2
18	Número de serviços de reparo de EEE (Adaptado de Dias, 2017)	Nº de serviços de reparo × 100 / Mil habitantes	≥ 50%	5
			10,1 a 49,9%	3
			≤ 10%	1
19	Recuperação dos recursos naturais contidos nos REEE (Adaptado de Dias, 2017)	Total de REEE reciclados (kg) × 100 / Total de REEE coletado (kg)	≥ 80%	5
			20,1 a 79,9%	3
			≤ 20%	2
20	Programas educativos continuados voltados para boas práticas de gerenciamento de REEE (Adaptado de Polaz e Teixeira, 2009)	Existência de programas educativos continuados voltados para boas práticas de gerenciamento de REEE	Existem programas educativos continuados com alto envolvimento da população.	5
			Existem programas educativos continuados, porém com baixo envolvimento da população.	3
			Não existem programas educativos.	0
21	Apresentação do Plano de Gerenciamento de Resíduos Tecnológicos por parte das empresas (Autores, 2020)	Apresentação do Plano de Gerenciamento de Resíduos Tecnológicos por parte das empresas	Apresentação por parte das empresas que fabricam, produzem, importam, distribuem e comercializam EEE	5
			Somente por parte das empresas que fabricam e produzem	3
			Não é apresentado Plano de Gerenciamento de Resíduos Tecnológicos por parte das empresas	0

EEE: equipamentos eletroeletrônicos; REEE: resíduos de equipamentos eletroeletrônicos; RSU: resíduos sólidos urbanos; <sup>1</sup>o valor 0,04 corresponde a 1 ponto de recebimento para cada 25 mil habitantes. Valor considerado ideal para a realidade brasileira, segundo Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2012); <sup>2</sup>recomenda-se o atendimento aos requisitos do Ministério da Saúde e Trabalho: Princípios de higiene e limpeza, controle de vetores de doenças, ausência de ratos, moscas e baratas, cobertura adequada, ventilação adequada, ausência de odores incômodos, sistema de prevenção de riscos acidentais e incêndios, plano de emergência, uso de equipamento de proteção individual (EPI), identificação de materiais perigosos e outros; <sup>3</sup>vacinação regular, prevenção de lesão por esforços repetitivos, descanso pelo peso das atividades, limpeza e higiene no local de trabalho, exames médicos periódicos, comunicação visual nos ambientes, recolhimento de INSS pelos cooperados, prevenção, registro e atendimento aos acidentes de trabalho; <sup>4</sup>o número de estabelecimentos que comercializam equipamentos de segunda mão é de 3.880 para o ano de 2015 no Reino Unido. Isso corresponde ao valor de 0,06 lojas por mil habitantes considerando-se a população do Reino Unido (DIAS, 2017). Assim, a escala proposta considera valor máximo de 5 para o indicador, quando a relação entre o número de estabelecimentos de EEE de segunda mão e os milhares de habitantes resultar em valores iguais ou superiores a 0,06, e valor mínimo igual a 0 (zero) quando não houver estabelecimentos que comercializam equipamentos eletroeletrônicos de segunda mão.

Motta, Barreto e Xavier (2019) afirmam que os indicadores podem ser utilizados para subsidiar o desenvolvimento de um modelo mais eficiente de gestão de REEE, mais proporcional à realidade do ambiente institucional. Para Pereira (2018), essas ferramentas, quando adaptadas às particularidades locais, podem contribuir para uma avaliação eficiente dos potenciais assertivos e das limitações para a implementação da logística reversa de REEE.

### Forma de cálculo do índice de sustentabilidade

Após a aplicação da matriz de indicadores em um município brasileiro, poderá ser calculado o índice do nível de sustentabilidade do município por dimensão. Propõe-se o cálculo do índice por meio da Equação 1, elaborada por Santiago e Dias (2012) e adaptada a esta pesquisa para cada uma das cinco dimensões apresentadas, seguido do cálculo da média para a obtenção do índice final. Dessa forma, todas as dimensões terão o mesmo impacto no resultado do nível de sustentabilidade do município. O nível de sustentabilidade será identificado por meio da Tabela 1.

$$NS = \frac{\sum \text{notas na avaliação}}{\sum \text{máxima pontuação da matriz final}} \times 100 \quad (1)$$

$\sum$  máxima pontuação da matriz final = pontuação máxima que poderia ser obtida na matriz caso o município se adequasse às melhores realidades apresentadas nos descritores.

Trabalhar com índices incentiva debates que levam a repensar políticas, a revisar a legislação existente e a criar legislações, além de promoverem melhor avaliação dos investimentos públicos e privados nas atividades de gerenciamento dos REEE. O uso dos índices fornece aos municípios a possibilidade de avaliarem suas fortalezas e fragilidades quanto à sustentabilidade,

**Tabela 1 – Nível de sustentabilidade.**

Intervalo de Sustentabilidade	Nível de Sustentabilidade
$0 \leq NS < 10$	Insustentável
$10 \leq NS < 50$	Baixa sustentabilidade
$50 \leq NS < 90$	Média sustentabilidade
$90 \leq NS \leq 100$	Alta sustentabilidade

Fonte: Adaptada de Santiago e Dias (2012).

para que sejam capazes de planejar e empregar políticas e ações direcionadas (BESEN, 2011).

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesta pesquisa alcançaram o objetivo proposto, que foi sugerir e validar um conjunto de indicadores de sustentabilidade por meio da metodologia Delphi para servir como subsídio aos municípios brasileiros na análise do gerenciamento de REEE. O conjunto de indicadores propostos permite levantar um índice que avalie o gerenciamento dos REEE nos municípios brasileiros e atenda a determinados quesitos da legislação.

A utilização do método Delphi mostrou-se eficaz para a validação do conjunto de indicadores criados, adaptados e selecionados da literatura. No entanto, apesar de essa metodologia ser muito aplicada, ela pode ser limitada pela dificuldade de retorno dos especialistas. Como forma de solucionar esse problema, foram necessários o reenvio, novas solicitações e a extensão do prazo para recebimento das respostas, que foi suficiente para obter um número considerável de questionários respondidos.

O modelo de matriz de indicadores levantado apresenta a forma de mensuração dos indicadores e seus descritores da tendência à sustentabilidade com suas respectivas notas, o que permite sua aplicação em qualquer município desde que se considerem as particularidades do local, implicando adaptações em muitos casos.

É esperado que os indicadores levantados sejam utilizados na prática. Dessa forma, sugere-se que futuras pesquisas sejam realizadas aplicando a matriz de indicadores com dados reais e atuais dos municípios para obterem como resultado o reflexo da qualidade do gerenciamento dos REEE implantado. Espera-se que a aplicação dos indicadores seja útil aos gestores, ao poder público e à sociedade, promovendo a transparência das informações levantadas.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Silva, R.M.G.: Conceituação, Curadoria de Dados, Metodologia, Escrita — Primeira Redação. Nóbrega, C.C.: Análise Formal, Supervisão, Validação. Sá, A.C.N.: Visualização, Investigação, Validação. Silva, D.L.V.: Escrita — Revisão e Edição, Investigação. Firmino, L.Q.: Escrita — Revisão e Edição, Visualização.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). *Logística Reversa de Equipamento Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica*. Brasília: ABDI, 2012.

BESEN, G. R. *Coleta seletiva com inclusão de catadores: construção participativa de indicadores e índices de sustentabilidade*. 2011. 274f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

BEULA, D.; SURESHKUMAR, M. A review on the toxic E-waste killing health and environment – Today's global scenario. *Materials Today: Proceedings*, v. 47, n. 9, p. 2168-2174, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.516>

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 9177, de 23 de outubro de 2017, quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. Brasil, 2020.

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. Brasil, 2022.

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. *Diário Oficial da União*, v. 147, 2010.

- DEUS, R.M.; BEZERRA, B.S.; BATTISTELLE, R.A.G. Solid waste indicators and their implications for management practice. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 16, n. 2, p. 1129-1144, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2163-3>
- DIAS, M.V. *Avaliação da gestão de resíduos eletroeletrônicos*. 189f. Tese (Doutorado em Gestão Ambiental) – Universidade Positivo, Curitiba, 2017.
- ELSAID, S.; AGHEZZAF, E.H. A progress indicator-based assessment guide for integrated municipal solid-waste management systems. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, v. 20, n. 2, p. 850-863, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10163-017-0647-8>
- FORTI, V. O crescimento do lixo eletrônico e suas implicações globais. *Panorama Setorial da Internet*, v. 11, n. 4, 2019.
- FORTI, V.; BALDÉ, C.P.; KUEHR, R.; KUEHR, R.; BEL, G. *The Global E-waste Monitor 2020*. 2020. Disponível em: <https://ewastemonitor.info/>. Acesso em: 16 nov. 2020.
- GAVRILESCU, D.; ENACHE, A.; IBANESCU, D.; TEODOSIU, C.; FIORE, S. Sustainability assessment of waste electric and electronic equipment management systems: Development and validation of the SUSTWEEE methodology. *Journal of Cleaner Production*, v. 306, 127214, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127214>
- JAIN, A.; GURTOO, A. E-waste and sustainability: impact assessment indicators. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TRANSFORMATIONAL STRATEGIES FOR BUSINESS SUSTAINABILITY, 2019, Bangalore. *Proceedings*.. Bangalore, 2019.
- KUMAR, S.; RAWAT, S. Future e-Waste: Standardisation for reliable assessment. *Government Information Quarterly*, v. 35, n. 4, supl., p. S33-S42, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2015.11.006>
- MOTTA, L.B.; BARRETO, R.C. Indicadores para análise da gestão de resíduos eletroeletrônicos em instituições públicas e privadas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 28., 2019, Belo Horizonte. *Anais*.. 2019.
- MOTTA, L.B.; BARRETO, R.C.; XAVIER, L.H. Uso de Indicadores como Ferramenta para o Planejamento de Instituições Públicas. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 27., E JORNADA DE INICIAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO, 3., 2019. *Anais*.. 2019.
- PEREIRA, R.S.C. *Logística reversa de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: proposta de indicadores de monitoramento para órgãos ambientais*. 2018. 163f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- PEREIRA, R.S.C.; GUNTHER, W.M.R.; RIBEIRO, F.M. Logística Reversa de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos: uma proposta de indicadores de monitoramento para os órgãos ambientais. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 19., 2017, São Paulo. *Anais*.. 2017.
- PEREIRA, R.S.C.; RIBEIRO, F.M.; GÜNTHER, W.M.R. Indicadores para gestão de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: uma comparação inicial. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 6., 2017. *Anais*.. 2017.
- POLAZ, C.N.M.; TEIXEIRA, B.A.N. Indicadores de sustentabilidade para gestão municipal de resíduos sólidos urbanos: um estudo para São Carlos (SP). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 14, n. 3, p. 411-420, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000300015>
- SANTIAGO, L.S.; DIAS, S.M.F. Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 17, n. 2, p. 203-212, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522012000200010>
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS (SINIR). Acordo setorial para implantação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2019. Disponível em: [https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/05/Acordo\\_Setorial\\_-\\_Eletroeletronico%CC%82nicos\\_sem\\_anexos.pdf](https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/05/Acordo_Setorial_-_Eletroeletronico%CC%82nicos_sem_anexos.pdf). Acesso em: 28 jul. 2022.
- SOUZA, A.; LAMOUNIER, B. O futuro da democracia: cenários político-institucionais até 2022. *Estudos Avançados*, v. 20, n. 56, p. 43-60, jan./abr. 2006. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142006000100005>
- STEP INITIATIVE. *Solving the E-Waste Problem (Step) White Paper: One Global Definition of E-waste*. 2014. v. 3576, p. 13. Disponível em: [https://www.step-initiative.org/files/\\_documents/whitepapers/StEP\\_WP\\_One%20Global%20Definition%20of%20E-waste\\_20140603\\_amended.pdf](https://www.step-initiative.org/files/_documents/whitepapers/StEP_WP_One%20Global%20Definition%20of%20E-waste_20140603_amended.pdf). Acesso em: 15 abr. 2020.
- VEIGA, T.B. *Indicadores de sustentabilidade na gestão de resíduos sólidos urbanos e implicações para a saúde humana Indicadores de sustentabilidade na gestão de resíduos sólidos urbanos e implicações para a saúde humana*. 2014. 261f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Programa de Pós-graduação em Saúde Pública, Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- WRIGHT, J.; GIOVINAZZO, R. Delphi – Uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. *Caderno de Pesquisas em Administração*, v. 1, n. 12, p. 54-65, 2000.