



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

NICOLAS MATEUS MUNIZ

**APLICAÇÃO DA ABORDAGEM DEMATEL PARA
IDENTIFICAR E ANALISAR AS BARREIRAS PARA RECUPERAÇÃO DE
METAIS A PARTIR DE REEE GERADOS NO BRASIL**

Orientador(a): Profa. Dra. Simone Machado Santos

Caruaru
2023

NICOLAS MATEUS MUNIZ

**APLICAÇÃO DA ABORDAGEM DEMATEL PARA
IDENTIFICAR E ANALISAR AS BARREIRAS PARA RECUPERAÇÃO DE
METAIS A PARTIR DE REEE GERADOS NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Civil.

Orientador(a): Profa. Dra. Simone Machado Santos

Caruaru

2023

Aplicação da abordagem Dematel para identificar e analisar as barreiras para recuperação de metais a partir de REEE gerados no Brasil

Application of the Dematel approach to identify and analyze barriers to recovery of metals from WEEE generated in Brazil

Nicolas Mateus Muniz¹

RESUMO

Com o avanço da tecnologia e a globalização das informações, as demandas dos consumidores por Equipamentos Eletroeletrônicos (EEE) são cada vez maiores, tornando a vida útil cada vez mais curta, levando a um aumento acentuado de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE). É interessante que países em desenvolvimento, adotem práticas como por exemplo a recuperação de metais dos REEE. O Brasil ocupa o 5º lugar no mundo em volume de produção de lixo eletrônico, além de questões sociais como a falta de conscientização pública sobre como gerenciar adequadamente esses resíduos; baixos níveis de reciclagem e práticas de reutilização. Nesse contexto, este trabalho busca estudar os desafios existentes no Brasil que impedem o desenvolvimento e estabelecimento de um sistema de recuperação dos REEE, por meio da metodologia DEMATEL. De posse dos resultados, foi possível perceber que a falta de regulamentação e fiscalização rigorosas, bem como a falta de conscientização e de incentivos para a reciclagem adequada por parte dos consumidores têm contribuído para práticas inadequadas de descarte de REEE.

Palavras-chave: gerenciamento de REEE; barreiras; Dematel.

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: nicolas.mateus@ufpe.br

ABSTRACT

With the advancement of technology and the globalization of information, consumer demands for Electrical and Electronic Equipment (EEE) are increasing, making the useful life increasingly shorter, leading to a sharp increase in Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). It is interesting that developing countries adopt practices such as recovering metals from WEEE. Brazil ranks 5th in the world in volume of electronic waste production, in addition to social issues such as the lack of public awareness on how to properly manage this waste; low levels of recycling and reuse practices. In this context, this work seeks to study the challenges that exist in Brazil that impede the development and establishment of a WEEE recovery system, using the DEMATEL methodology. With the results, it was possible to see that the lack of strict regulation and inspection, as well as the lack of awareness and incentives for adequate recycling on the part of consumers, have contributed to inadequate WEEE disposal practices.

Keywords: WEEE management; barriers; Dematel.

DATA DE APROVAÇÃO: 04 de outubro de 2023.

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia e a globalização de informações, os consumidores exigem cada vez mais dos equipamentos eletroeletrônicos (EEE). Estes, por sua vez, duram cada vez menos, o que tem gerado um crescimento exponencial dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) (Araújo, 2013; Dias, 2020). Estes resíduos são alvo das indústrias extrativas por serem fontes de materiais valiosos, sendo chamados de minério urbano. A mineração urbana, como tem sido chamada, visa recuperar metais preciosos através da reciclagem dos REEE's (Rubin *et al.*, 2014; Xavier & Lins, 2018). Em 2019, mais de 53 milhões de toneladas de REEE foram descartadas em todo o mundo, segundo o *The Global E-waste Monitor 2020* (Forti *et al.*, 2019). Apenas o Brasil descartou, em 2019, mais de 2 milhões de toneladas de resíduos eletrônicos, sendo que menos de 3% foram reciclados, de acordo com o relatório desenvolvido pela Universidade das Nações Unidas (Agência Brasil, 2021). Para contornar a situação e alterar esses números, em janeiro de 2022, foi publicado decreto presidencial que instituiu o Programa Nacional de Logística Reversa, que busca retornar ao processo produtivo esses resíduos, reduzindo o descarte inadequado, gerando empregos, reduzindo emissão de gases de efeito estufa, além de reabastecer a indústria com matéria-prima, evitando nova extração de recursos naturais, apostando no reaproveitamento e na reciclagem como solução para a destinação do lixo, o grande problemas das cidades.

Essa política de incentivo a Logística Reversa faz parte das ações do programa Lixão zero, e é baseada no princípio da Responsabilidade Estendida do Produtor (REP), que cobra do produtor a responsabilidade pelo seu produto até a fase pós-consumo, incentivando o investimento na modificação dos processos de produção e no design do produto para minimizar o uso de recursos naturais e a geração de poluentes. Outra ação bastante importante é a abertura dos chamados Ecopontos, pontos de entrega voluntária (PEVs) para o descarte adequado de resíduos. Desde a abertura desses pontos, a coleta de eletroeletrônicos cresceu de maneira significativa: indo de pouco mais de 16 toneladas desse material em 2019 (antes da criação dessa política), para 105 toneladas em 2020 e, em 2021, mais de 1,2 mil toneladas de lixo eletrônico foram recolhidos e deixaram de ser descartados no meio ambiente.

Os REEE possuem em sua composição diferentes substâncias, desde as mais procuradas pelo seu valor agregado, como os metais valiosos (ouro, prata, paládio, platina) (Li *et al.*, 2004; Carvalho & Xavier, 2014). É possível também encontrar materiais que possuem

uma alta toxicidade (como mercúrio, berílio, índio, chumbo, cádmio, arsênio, antimônio), o que dificulta sua recuperação (Oliveira, 2012). Entre essas substâncias também são encontrados: materiais metálicos (básicos, preciosos e tóxicos), materiais cerâmicos e materiais poliméricos.

De acordo com o tipo de EEE e ano de fabricação, a composição desses resíduos também se altera, o que dificulta o processo de recuperação por dois motivos, que logo a seguir definiremos como barreiras: 1) a grande quantidade de substâncias diferentes, visto a grande gama de equipamentos diferentes, dificulta o processo de tomada de decisão sobre qual material recuperar e 2) o desejo por inovação por parte das empresas, tornam seus produtos únicos, com composições bem específicas, o que impossibilita um sistema de larga escala de recuperação de metais (Carvalho & Xavier, 2014).

1.1 JUSTIFICATIVA

Países em desenvolvimento como o Brasil, precisam manter em evidência assuntos como a recuperação de metais a partir dos REEE, por diversos motivos, entre eles: (i) a alta produção de lixo eletrônico, que tem colocado o Brasil na quinta colocação mundial (Forti *et al.*, 2019); (ii) os baixos índices de reciclagem e aproveitamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil (Azevedo *et al.*, 2017; Lopes Do Santos, 2020); (iii) o pouco tempo de aplicação para as novas políticas públicas, que consideram o lixo eletrônico como um resíduo especial e que exige um cuidado detalhado para reciclagem e aproveitamento; (iv) a falta de conhecimento por parte da população sobre o manejo adequado desses resíduos (Santos *et al.*, 2017; Franco & Lange, 2011; Rodrigues *et al.*, 2015); (v) toda preocupação mundial no que se diz respeito a questão ambiental, presente na Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que buscam mitigar o Problema do Aquecimento Global.

Nesse contexto, o presente trabalho busca investigar as barreiras existentes no Brasil, que impedem o país de desenvolver e estabelecer um sistema de recuperação de metais a partir de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, que garanta a destinação adequada e racional dos REEE e seus componentes. Bem como, evidenciar possíveis oportunidades, visto que é uma área ainda não regulamentada no Brasil, e que vem se tornando um meio lucrativo e sustentável para algumas organizações pelo mundo.

A recuperação de metais de REEEs no Brasil envolve muitos fatores críticos e torna-se um processo complexo de implementação, e assim, por essa singularidade, se faz necessário a aplicação de metodologias estruturadas que correspondam as essas particularidades.

Para esse cenário a abordagem “Laboratory Evaluation and Decision-Making Test” (DEMATEL), tem-se apresentado oportunamente viável, pois permite compreender mais claramente as relações de causa e efeito entre as barreiras, assim como a intensidade das influências de cada uma dessas barreiras. Dessa maneira, o emprego dessa metodologia ainda pouco explorada, mas de grande potencial, contribuirá para o alcance de resultados factíveis que poderão auxiliar em ações deliberativas para resolução do problema analisado.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente estudo consiste em identificar e analisar as barreiras para recuperação de metais a partir de REEE gerados no Brasil, e evidenciar as possíveis oportunidades visto a alta produção desse tipo de resíduo no Brasil.

1.2.2 Objetivos Específicos

O Objetivo Geral desdobra-se nos seguintes objetivos específicos:

- Identificar na literatura através de uma busca avançada, as categorias e barreiras para recuperação de metais a partir de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil;
- Identificar as relações de causa e efeito entre as barreiras com o auxílio da Abordagem Dematel;
- Examinar o fator de proeminência das barreiras selecionadas para implementação da recuperação de metais a partir de REEE no Brasil;
- Identificar e analisar as possíveis oportunidades ligadas aos resíduos eletroeletrônicos, bem como uma possível aplicação no Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), também conhecidos com e-waste (electronic waste), consistem em Equipamentos Eletroeletrônicos (EEE) descartados ou obsoletos, nos quais suas partes foram descartadas sem a intenção de reutilização (Baldé et al., 2017). Segundo Robinson (2009), um dos fatores contribuintes para esse descarte são quebra e/ou fim de vida útil (tempo contado a partir da aquisição do equipamento, enquanto ele mantém um bom desempenho das funções as quais foi projetado).

Conforme a Diretiva 2012/19/EU, os REEE constituem resíduos dos EEE, ou seja, dos equipamentos dependentes de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos para funcionarem corretamente, bem como os equipamentos para geração, transferência e medição dessas correntes e campos, e concebidos para utilização com uma tensão nominal não superior a 1 000 V para corrente alternada e 1 500 V para corrente contínua; incluindo todos os componentes, subconjuntos e materiais consumíveis que fazem parte integrante do produto no momento em que este é descartado;

Ainda segundo essa Diretiva, os EEE podem ser divididos nas seguintes categorias: (i) grandes eletrodomésticos; (ii) pequenos eletrodomésticos; (iii) equipamentos de informática e de telecomunicação; (iv) equipamentos de consumo e painéis fotovoltaicos; (v) equipamentos de iluminação; (vi) ferramentas eletroeletrônicas; (vii) brinquedos e equipamentos de esporte e lazer; (viii) aparelhos médicos; (ix) instrumentos de monitoramento e controle; e (x) distribuidores automáticos (UE, 2012).

Já no Brasil, a NBR 10004 (ABNT) classifica os resíduos sólidos como: a) resíduos classe I - Perigosos: aqueles que apresentam periculosidade ou características como, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade; b) resíduos classe II – Não perigosos: podem ser de dois tipos: – resíduos classe II A – Não inertes: podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água; – resíduos classe II B – Inertes: quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Outra classificação para os equipamentos eletroeletrônicos, realizada pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), divide em quatro categorias amplas: a)

Linha Branca: refrigeradores e congeladores, fogões, lavadoras de roupa e louça, secadoras, condicionadores de ar; b) Linha Marrom: monitores e televisores de tubo, plasma, LCD e LED, aparelhos de DVD e VHS, equipamentos de áudio, filmadoras; c) Linha Azul: batedeiras, liquidificadores, ferros elétricos, furadeiras, secadores de cabelo, espremedores de frutas, aspiradores de pó, cafeteiras; d) Linha Verde: computadores desktop e laptops, acessórios de informática, tablets e telefones celulares.

2.1 Panorama Global de Geração

O desenvolvimento tecnológico das últimas décadas permitiu o surgimento de aparelhos cada vez mais modernos, que estão disponíveis a cada dia para diferentes necessidades e facilitam a vida dos consumidores. Com as novas tecnologias, o modo de vida é marcado pelo uso de novas tecnologias produtivas e modificação no perfil do consumidor, mergulhado numa perspectiva consumista a partir do fetichismo pela mercadoria, baseado na aceleração do ritmo da inovação dos produtos, especialmente os eletrônicos, o que tem alterado sensivelmente as relações entre o homem, a sociedade e a natureza.

Após a revolução industrial, a exploração mundial começou a progredir de proporções sem precedentes, levando à expansão do sistema em todo o mundo visando um crescimento econômico desimpedido, contrário à sua capacidade o planeta fornece recursos naturais e remove resíduos do processo produtivo e consumo. O crescimento econômico do pós-guerra foi baseado em um sistema de produção e consumo e o uso de recursos naturais (matérias-primas e energia) - em uma matriz tecnológica intensiva, considerado inesgotável. Com base nessa suposição, o modelo de desenvolvimento na prática seguia uma teoria econômica que não levava em conta os efeitos ambientais criado pela produção de bens (Costa, 2011).

O consumo e o descarte são duas atividades contínuas e diárias da população. Como uma ação é o resultado de outra, a sociedade caracteriza-se pelo consumo e geração ilimitada de resíduos em intervalos cada vez mais curtos. Os REEE têm se tornado os resíduos que mais crescem no mundo (Robinson, 2009), incluindo países em desenvolvimento. De acordo com (Franco & Lange, 2011) alguns fatores que influenciam esse aumento é: queda nos preços de venda, aumento nas inovações de tecnologia e redução da vida útil dos equipamentos.

Hoje, os produtos são feitos para durar um certo tempo e além disto, é quase obrigatório substituí-los, visto que algumas peças de reposição já saíram de linha, tornando antieconômico para o consumidor repará-los. Esse fenômeno conhecido como obsolescência

programada é o grande responsável pelo acúmulo de resíduos, principalmente de equipamentos eletroeletrônicos. Esse ramo da indústria, em países em desenvolvimento, já possui legislação ambiental específica para resíduos sólidos (Santos *et.al*, 2017).

2.2 A Legislação no Brasil e no Mundo

Nos últimos anos, a União Europeia tentou criar uma base para o desenvolvimento de uma economia circular, onde os resíduos seriam tratados como um recurso e, portanto, utilizados de forma mais eficiente e sustentável (Comissão Europeia, 2014). Pensando nisso, foi criada a Diretiva WEEE (2012/19/EU), que se refere ao gerenciamento dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no final de sua vida útil, e a Diretiva RoHS (2011/65/UE), que define as restrições para o uso de certas substâncias perigosas em equipamentos elétricos e eletrônicos (Smol et al., 2016). De todos os diferentes fluxos de resíduos, a atenção da Comissão Europeia centrou-se principalmente no tratamento de resíduos elétricos e eletrônicos devido a vários avisos específicos.

Além disso, estes resíduos contêm componentes muito importantes que estão na lista da UE de matérias-primas críticas, representando a maior fonte de resíduos e também a que mais cresce (Comissão Europeia, 2014). Portanto, a recuperação de recursos caros e escassos, como metais preciosos e materiais importantes para seus produtos, é uma importante oportunidade econômica. No entanto, as atuais tecnologias de reciclagem e modelos de negócios limitaram nossa capacidade de usar esses recursos, pois as taxas de utilização ainda são relativamente baixas (Comissão Europeia, 2018). Além disso, reciclar lixo eletrônico é mais difícil do que reciclar lixo municipal porque os dispositivos eletrônicos contêm muitos compostos tóxicos (Smol et al., 2016).

Na Europa, a Alemanha em novembro de 2000, o Grupo de Trabalho Federal Alemão (LAGA) criou a Elektro-Altgeräte-Richtlinie (EAG), que fornece o primeiro padrão técnico profissional abrangente e ecologicamente correto para o manuseio de equipamentos eletroeletrônicos (UmweltBundesamt, 2017). Na gestão de resíduos alemã, o modelo "Closed Material Cycle and Waste Management Act" (Krw-/Abfg), que entrou em vigor em 1996, estabelece uma nova abordagem para a responsabilidade pelo produto, onde produtores e comerciantes têm uma obrigação de atingir as metas estabelecidas na política de geração.

Em 20 de outubro de 2015, foi lançada a ElektroG, uma lei que torna a Diretiva 2012/19/CE parte da Diretiva da UE, que por sua vez substituiu a Diretiva 2002/96/CE, alterando a definição da meta de coleta de 4 kg/hab para uma abordagem com base na percentagem de vendas de produtos introduzidos. O objetivo da lei é prevenir ou reduzir os

efeitos nocivos da geração e manutenção de resíduos elétricos e eletrônicos, reduzir os efeitos gerais do uso de recursos e aumentar a eficiência do uso de recursos (UmweltBundesamt, 2017).

Já o Brasil segue lentamente nas disposições legislativas do Meio Ambiente. Suas principais análises de proteção e leis ambientais são quatro:

- Política Nacional do meio Ambiente;
- Política Nacional dos Recursos Hídricos;
- Resoluções CONAMA (257 e 263 de interesse REEE);

Nenhumas destas políticas e resoluções podem ser utilizadas exclusivamente para os EEE, esperava-se a mais de 20 anos a Política Nacional dos Recursos Sólidos, a qual poderia especificar o que pode ser feito com estes resíduos.

Para tentar controlar o nível de descarte de pilhas e baterias usadas, o CONAMA instituiu em 30 de junho de 1999 a Resolução 257, que prioriza os impactos negativos causados pelas pilhas e baterias no ambiente de acordo com sua composição como, chumbo, cádmio e mercúrio (CONAMA, 257/99). No entanto, por ser uma Resolução específica de pilhas e Baterias, o CONAMA não pôde controlar os elétricos. A espera de uma política de resíduos sólidos se torna mais considerável para agir com estes equipamentos.

Em 02 de Agosto de 2010 foi sancionada a Política Nacional de Recursos Sólidos (PNRS). Porém os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos foram apenas citados na Lei 12.305/10, parágrafos de 1 á 6 no Artigo 33º o seguinte:

São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de:

I - agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, ou em normas técnicas;

II - pilhas e baterias;

III - pneus;

IV - óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;

V - lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;

VI - produtos eletroeletrônicos e seus componentes (PNRS, 2010).

Passados mais de 10 anos da sanção da PNRS, foi criado o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), instituído por meio do Decreto Nº 11.043, de 13 de abril de 2022, como um importante instrumento da Política Nacional de Resíduos Sólidos pois apresenta um caminho para se alcançar os objetivos e materializar a PNRS por meio de diretrizes, estratégias, ações e metas para melhorar a gestão de resíduos sólidos no País. Além do encerramento de todos os lixões, é previsto o aumento da recuperação de resíduos para cerca de 50% em 20 anos. Assim, metade do lixo gerado deverá deixar de ser aterrado e passará a ser reaproveitado por meio da reciclagem, compostagem, biodigestão e recuperação energética.

2.3 Gerenciamento dos REEE

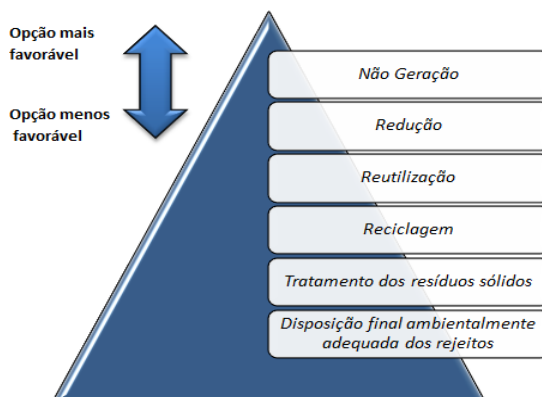
Segundo o PNRS, a ordem de prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos apresenta a não geração como ação prioritária a ser adotada, seguida da redução. Entretanto, tais práticas ainda se mostram incipientes no Brasil, não havendo indicadores que demonstrem o volume de material que deixou de ser descartado ou que foi reduzido.

Para reverter esse cenário, é importante incentivar a produção, comercialização e consumo, se possível a repensar, estimulando, modelos que não geram resíduos ou pelo menos reduzam os desperdícios. Além disso, programas e atividades de educação ambiental voltados para a população em geral e com implementação contínua são muito importantes para alcançar tais objetivos.

Desenvolver a consciência em cada indivíduo sobre a sua responsabilidade e o impacto ambiental por aquilo que consome e pela forma como descarta seu resíduo, principalmente por meio da educação ambiental, é essencial para reduzir a geração de REEE, bem como para melhorar a qualidade dos materiais coletados, potencializando seu reaproveitamento, e propiciar a universalização da coleta, com destinação final ambientalmente adequada para a totalidade dos resíduos gerados.

Quando, o resíduo não pode ser evitado e sua geração não pode ser reduzida, é necessário pensarmos na forma de disposição final desses resíduos (Figura 1). O PNRS, em seu art. 3º, inciso VII, definiu que destinação final ambientalmente adequada compreende a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes, dentre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar impactos ambientais adversos.

Figura 1: Gerenciamento de resíduos sólidos



Fonte: Resíduo All, 2017.

A reutilização está prevista no PNRS, e insere-se dentre as ações iniciais da hierarquia na gestão e gerenciamento de resíduos, sendo caracterizada como o aproveitamento do resíduo sem que ocorra uma transformação biológica, física ou físico-química. Já a reciclagem é o processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes.

Já o tratamento de resíduos visa na maioria das vezes o aproveitamento energético e pode ser executado de várias formas, como por exemplo, a incineração que consiste na submissão dos resíduos a tratamento térmico em ambiente controlado no interior de instalações construídas especificamente para esse propósito. As vantagens desta tecnologia são: reduzir o volume e massa dos resíduos; tornar os resíduos inertes quimicamente; e viabilizar a recuperação de energia, metais e outros materiais.

A última opção é a disposição final ambientalmente adequada, representada pelo uso do aterro sanitário (não sendo o lixão e o aterro controlado opções consideradas válidas). Vale ressaltar que a opção de disposição final ambientalmente adequada, nos termos da PNRS, cabe apenas aos rejeitos, isto é, para os resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação, não apresentem outra possibilidade que não a disposição em aterro sanitário. Sendo, portanto, a disposição final ambientalmente adequada a última opção na escala de destinação de resíduos, é imperativo viabilizar avanços nas demais formas consideradas pela Lei.

Diante dos cenários apresentados, é possível perceber o retardo das ações brasileiras frente a outros países, por esse motivo, se faz necessário desenvolver um estudo para

examinar quais barreiras que impedem o país de avançar na implementação de um sistema de gerenciamento de REEE. Para apoiar essa investigação de forma eficaz, é preciso adotar métodos quantitativos de abordagem analítica que suportem a complexidade desse tipo de problema. O capítulo seguinte trata do método escolhido para dar apoio a essa questão.

3. METODOLOGIA

Este capítulo será dividido em duas seções, a primeira delas consiste numa Busca Avançada na literatura disponível, sobre o uso da abordagem Dematel na identificação de barreiras na recuperação de metais dos REEE e suas relações. Já a segunda seção, trará a descrição da metodologia Dematel, e como ela será aplicada no presente trabalho.

3.1 Busca Avançada sobre o uso do Dematel para recuperação de metais dos REEE

A busca avançada refere-se a técnicas mais refinadas e específicas para encontrar informações em motores de busca na internet, bancos ou outros repositórios de dados. Ela permite que você refine sua pesquisa para encontrar resultados mais relevantes e específicos para suas necessidades.

Para realização de uma busca avançada, se faz uso dos operadores booleanos. Operadores booleanos, também conhecidos como operadores lógicos, são símbolos ou palavras usados para criar expressões lógicas que avaliam se uma determinada condição é verdadeira (verdadeira) ou falsa (falsa). Esses operadores são amplamente usados na programação, na pesquisa na internet e em bancos de dados para tomar decisões com base em lógica condicional. Existem três operadores booleanos principais: AND, OR e NOT.

Quadro 1: Tipos de Operadores Booleanos

Operador	Significado
AND	Restringe a pesquisa, os resultados recuperados devem conter um termo e o outro. Esse operador corresponde ao símbolo da adição +
OR	Amplia a pesquisa, os resultados recuperados devem conter um termo ou o outro.
NOT	Exclui o termo que sucede a palavra NOT da pesquisa. Esse operador corresponde ao símbolo da subtração -

Fonte: Estratégias de busca (USP, 2020)

Quando pesquisado nos motores de busca, como Google Scholar e Scopus, os resultados referentes a Recuperação de REEE eram demasiadamente extensos. Logo, se fez uso do operador booleano AND para restringir o campo de busca. Então, com os temas combinados, a busca foi reduzida para 11 artigos, que possuem simultaneamente, ambos os temas, e através desses artigos foram identificadas barreiras mencionadas na literatura.

3.2 Abordagem Dematel para Identificação de Fatores Críticos

O método DEMATEL, que significa Laboratory Evaluation and Decision-Making Test, foi introduzido pelo Battelle Memorial Institute com base em pesquisas realizadas no centro de Pesquisas de Genebra (Gabus; Fontela, 1973). Essa abordagem é mais preferida quando se trata de analisar modelos estruturais complicados que envolvem relações de causa e efeito entre fatores críticos. (Wu; Lee, 2007).

Segundo Wu e Lee (2007), o método DEMATEL é baseado em dígrafos que dividem os fatores envolvidos em grupos de causa e grupos de efeito. A utilidade de grafos direcionados sobre grafos não direcionados é inegável, pois eles podem mostrar relacionamentos direcionados de subsistemas. Um dígrafo pode figurar uma rede de comunicação ou uma relação obsessiva entre indivíduos.

Assim, Shaik e Abdul-Kader (2014) justificam a aplicação do DEMATEL, destacando suas vantagens: 1. Fornece saída gráfica e apresenta as inter-relações dos fatores em estudo, numericamente; 2. Visualize a relação de feedback entre os fatores em cada nível (prós e contras); 3. Mostra o peso da importância de cada fator em relação à influência de todos os outros fatores do sistema.

Neste capítulo, exploraremos a aplicação da Metodologia DEMATEL em um contexto específico, apresentando o processo passo a passo e destacando os benefícios e limitações dessa abordagem.

3.2.1. Definição do problema e identificação dos fatores - O primeiro passo na aplicação da Metodologia DEMATEL é definir claramente o problema ou questão que será abordada. Em seguida, é necessário identificar os fatores que estão envolvidos no problema e que serão analisados. Esses fatores podem ser variáveis, critérios, indicadores ou elementos relacionados ao problema em estudo.

3.2.2. Construção da matriz de impactos - Após a identificação dos fatores, é necessário construir a matriz de impactos. Para isso, alguns especialistas no assunto são

consultados a respeito das relações entre os fatores, e suas respostas são transformadas em números, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Grau de Influência das barreiras

Grau de Influência	Valor Numérico
Sem influência	0
Baixa influência	1
Média influência	2
Alta Influência	3
Muito alta influência	4

Fonte: Autor (2023).

Em seguida, é construída uma matriz média inicial ou matriz de relação direta, que é calculada em cima das respostas dos especialistas quanto ao grau de influência direta que cada fator (barreira) i exerce sobre cada fator/barreira j , que é denotado por a_{ij} , como apresentado na matriz de relação direta A (1). Essa matriz permite visualizar as relações de interdependência entre os fatores e é fundamental para a análise DEMATEL.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

3.2.3. Cálculo das influências diretas e indiretas - Com a matriz de impactos construída, é possível calcular as influências diretas e indiretas entre os fatores. O cálculo das influências diretas é realizado por meio de operações matemáticas específicas, enquanto as influências indiretas são obtidas por meio de iterações no cálculo das influências diretas.

Calcula-se a matriz de relação direta inicial normalizada X obtendo-se a normalização da matriz média inicial A pelo fator s (0,1). A constante de normalização é representada por s e pode ser calculada através das Equações (2) e (3), onde os elementos diagonais principais são iguais a zero.

$$X = s \times A \quad (2)$$

$$s = \min \left[\frac{1}{\max_i \sum_{j=1}^n |a_{ij}|}, \frac{1}{\max_j \sum_{i=1}^n |a_{ij}|} \right] \quad (3)$$

Em seguida, é preciso derivar a matriz de influência total (matriz de relação total). A matriz de relação total T é obtida usando a Equação (4), onde I é a matriz de identidade. Depois, é necessário obter os valores normalizados do relacionamento total. Onde, $T=[t_{ij}]n \times n$, por $i, j=1,2,n$. Sendo D e R vetores $n \times 1$ e $1 \times n$ representando a soma das linhas e soma das colunas da matriz T , nesta ordem, conforme mostra as equações 5 e 6.

$$T = X(I - X)^{-1} \quad (4)$$

$$D = [D_i]_{n \times 1} = \left[\sum_{j=1}^n t_{ij} \right]_{n \times 1} \quad (5)$$

$$R = [R_j]'_{1 \times n} = \left[\sum_{i=1}^n t_{ij} \right]'_{1 \times n} \quad (6)$$

Assim, D_i é a soma da i -ésima linha na matriz T . Então D_i indica os efeitos totais, diretos e indiretos, do fator i sobre os outros fatores. E, R_j a soma da j -ésima coluna na matriz T . Então, D_i mostra os efeitos totais, diretos e indiretos, recebidos pelo fator j dos outros fatores. Quando $j = i$, a soma ($D_i + R_i$) fornece um índice que representa os efeitos totais dados e recebidos pelo fator i . Em outras palavras, ($D_i + R_i$) mostra o grau de importância (soma total dos efeitos dados e recebidos) que o fator i desempenha no sistema. Além disso, a diferença ($D_i - R_i$) mostra o efeito líquido que o fator i contribui para o sistema. Quando ($D_i - R_i$) é positivo, o fator i é um causador líquido, ou seja, o fator i está afetando outros fatores e quando ($D_i - R_i$) é negativo, o fator i é um receptor líquido, ou seja, o fator i está sendo influenciado por outros fatores (TZENG et al. 2007).

Com o intuito de manter a complexidade do MI a um nível razoável, define-se um valor Limiar α (0,5) e alguns efeitos menores na matriz T são filtrados. Desta forma apenas os efeitos maiores que o valor limiar α seriam escolhidos e mostrados no MI.

$$\alpha = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [t_{ij}] \quad (7)$$

3.2.4. Análise dos resultados- Após o cálculo das influências diretas e indiretas, os resultados são interpretados e analisados. Para uma melhor interpretação é construído um mapa de influência, onde é representado por um diagrama de relações causa e efeito e é o resultado final obtido com o método DEMATEL. As coordenadas são construídas como segundo a equação 8. A análise pode envolver a identificação de fatores centrais, que exercem

influência significativa sobre os demais, e a identificação de clusters ou grupos de fatores inter-relacionados.

$$Fi (Di+Ri; Di-Ri) \quad (8)$$

Onde:

Fi : i-ésimo fator do sistema em análise;

$(Di+Ri)$: efeitos totais provocados pelo i-ésimo fator no sistema;

$(Di-Ri)$: efeito resultante provocado pelo i-ésimo fator no sistema.

3.2.5. Tomada de decisão- Com base na análise dos resultados, é possível tomar decisões mais informadas e embasadas. A compreensão das inter-relações entre os fatores permite identificar ações que podem ser tomadas para resolver o problema em questão ou melhorar determinada situação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Identificação das Barreiras para aplicação do Dematel

Inicialmente, com nosso problema definido, é necessário escolher quais barreiras levaremos em conta, antes da aplicação do Dematel. Como já visto anteriormente em toda literatura, através da busca avançada, foram identificadas diversas barreiras e sub-barreiras, que foram catalogadas no Quadro 2, com seus respectivos autores, resumo dos resultados e considerações, bem como as referências citadas por cada autor.

Quadro 2: Barreiras identificadas na literatura, segundo Busca Avançada

Autor	Barreiras	Resultados e considerações	Referências
Kumar & Dixit (2018)	Políticas e Regulações	A barreira relacionada a políticas e regulações foi considerada a barreira mais importante, sendo considerada uma causa para outras barreiras. Em segundo lugar, as barreiras tecnológicas foram consideradas uma chave para solucionar os problemas de gerenciamento de REEE, sendo um efeito de outras barreiras.	(Bouzon et al., 2017; Wath et al., 2010; Rajesh, 2011; UNEP, 2009; Kojima & Michida, 2013; Yoon & Sim, 2015; Kiddee et al., 2013; Afroz et al., 2013; Dwivedy & Mittal, 2013; Toxic Link, 2014; Luthra et al., 2011; Abdulrahman et al., 2014; Garlapati, 2016; Robinson, 2009).
	Infraestrutura		(Hung Lau & Wang et al., 2009; Rahimifard et al., 2009; Chung & Zhang, 2011; Dat et al., 2012; Zhou et al., 2007).
	Conhecimento		(Yu et al., 2010; Yoshida & Yoshida, 2010; Atasu & Subramanian, 2012; Dwivedy & Mittal, 2013; Nnorom et al., 2009; Ravi et al., 2005; Luthra et al., 2011; Khetriwal et al., 2009; Wang & Xu, 2014).
	Socioeconômicas		(Sharma et al., 2011; Baskaran & Muchie, 2006; Gregory & Kirchain, 2007; Grant et al. 2013; Cucchiella et al., 2015; Ojeda-Benítez et al., 2008; Nnorom et al., 2009; Hung Lau & Wang, 2009; Sarkhel et al., 2016).
	Socioculturais		(Min & Galle, 2001; Hung Lau & Wang et al., 2009; Medina, 2000; World bank, 2010; Saphores et al., 2006; Williams et al., 2008; Chi et al., 2011; Carvalho et al., 2012; Wibowo & Deng, 2015).
	Tecnológicas		(Mishra & Rhee, 2010; Kantarelis et al., 2011; Kapetanopoulou & Tagaras, 2011; Babu et al., 2007; Natarajan & Ting, 2014; Garlapati, 2016; Bouzon et al., 2016; Wath et al., 2010; Nnorom & Osibanjo, 2008).
	Financeiras		(Ravi & Shankar, 2005; Shi et al., 2008; Abdulrahman et al., 2014; Garlapati, 2016; Wath et al., 2010; Ravi et al., 2005).
Kumar et al. (2022)	Econômicas	Entre esses grupos de barreiras, foram identificadas 23 sub-barreiras.	(Hong et al., 2014; Nnorom & Osibanjo, 2008; Wath et al., 2010; Zhou et al., 2017; Abdulrahman et al., 2014; Nnorom & Osibanjo, 2008; Coban et al., 2018; Mir et al., 2016)

	Sociais	A primeira sub-barreira considerada mais importante foi a conscientização da comunidade, sub-barreira do tipo Social, e que foi definida como um efeito. Em segundo lugar, uma sub-barreira relacionada à Tecnologia e Infraestrutura, a Pesquisa e desenvolvimento de capacidades e digitalização, foi analisada como uma das prioridades, sendo definida como causa para outras barreiras.	(Borthakur & Govind, 2019; Sarath et al., 2015; Xu et al., 2018; An et al., 2015; Hsu et al., 2013; Zhou et al., 2017; Xu & Yeh, 2017)
	Gestão Ambiental		(Grisi et al., 2010; Xu et al., 2018; Yeh & Chuang, 2011; Grant & Marshburn, 2014; Xu et al., 2018; Govindan et al., 2015; Hu & Hsu, 2010; Manomaivibool, 2009; Shaharudin et al., 2017)
	Tecnologia e Infraestrutura		(Gupta & Barua, 2017; Hsu et al., 2013; Kumar & Dixit, 2018a; Somsuk & Laosirihongthong, 2017; Garrido-Hidalgo et al., 2020; Gupta & Barua, 2017; Hsu et al., 2013; Lucas, 2010; Zuo et al., 2020; Coban et al., 2018; Kannan et al., 2014; Liu et al., 2017; Mairizal et al., 2021; Zhu et al., 2013)
	Políticas governamentais e regulamentações relacionadas		(Garlapati, 2016; Khan et al., 2014; Wath et al., 2010; Kumar & Dixit, 2018a; Mir et al., 2016; Wath et al., 2010)
Bhattacharjee (2023)	Incorporação Administrativa	Se tratando da economia circular como uma ferramenta para recuperação dos REEE, esse trabalho apresenta as sub-barreiras relacionadas aos Protocolos Governamentais e Agendas Internacionais como os principais fatores segundo a metodologia Dematel.	(Alonso-Almeida et al., 2020; Gardas et al., 2019; Chen et al., 2020)
	Estabilidade Monetária		(Shpak et al., 2020; Marquez & Rutkowski, 2020)
	Competência Tecnológica e Educacional		(Girard et al., 2019; Bugallo-Rodríguez & Vega-Marcote, 2020)
	Agilidade da cadeia de suprimentos		(Vermunt et al., 2019; Kirchherr et al., 2018)
	Consideração de Mercado		(Rossi et al., 2020; Schlosser et al., 2021)
	Protocolos Governamentais e Agendas Internacionais		(Zhu et al., 2019; Aminoff & Pihlajamaa, 2020)
	Sociedade e Ambiente		(Aranda-Uson et al., 2020)
Karupiah & Sankaranarayanan (2023)	Ausência de conscientização pública sobre a gestão adequada do lixo eletrônico.	Este artigo traz um dado interessante, sobre a Índia, país do estudo, no que diz respeito ao setor informal de reciclagem e desmonte de equipamentos eletroeletrônicos. Após aplicado o Dematel, essa característica é tida como a de maior influência. Fazendo um comparativo com outros trabalhos que agruparam suas barreiras em grupos mais gerais, podemos definir essa barreira como: Infraestrutura e Conhecimento.	(Vishwakarma et al., 2022; Arya & Kumar, 2020; Kumar, G. Dixit, 2018; Rautela et al., 2021; Chen, Faibil & Agyemang, 2020; Xu et al., 2021)
	Não implementação da alteração da proibição de Basileia.		(Kumar, G. Dixit, 2018; Chen, Faibil & Agyemang, 2020; Xu et al., 2021)
	Falta de políticas e regulamentos dedicados à gestão do lixo eletrônico.		(Arya & Kumar, 2020; Kumar, G. Dixit, 2018; Chen, Faibil & Agyemang, 2020; Xu et al., 2021; Sharma, Joshi & Kumar, 2020)
	Sector informal em expansão		(Kumar, G. Dixit, 2018)
	Falta de responsabilidade social corporativa iniciativas.		(Kumar, G. Dixit, 2018)
	Infraestrutura tecnológica inadequada.		(Rautela et al., 2021; Chen, Faibil & Agyemang, 2020; Xu et al., 2021)
	Inexistência de partilha de conhecimento entre empresas de gestão de REEE.		(Kumar, G. Dixit, 2018)
	Falta de fundos para a gestão do lixo eletrônico.		(Rautela et al., 2021; Chen, Faibil & Agyemang, 2020; Xu et al., 2021)
	Falha na incorporação do design verde no desenvolvimento de produtos eletrônicos.		(Kumar, G. Dixit, 2018)
	Ausência de EPR.		(Kumar, G. Dixit, 2018; Chen, Faibil & Agyemang, 2020)
	Importação ilegal de lixo eletrônico.		(Vishwakarma et al., 2022; Patil, S. Ramakrishna, 2020; Garg, 2020)
	Falta de diretrizes para reciclagem de lixo eletrônico.		(Arya & Kumar, 2020)
	Número limitado de pontos de coleta.		(Vishwakarma et al., 2022; Garg, 2020; Lopes dos Santos, Jacobi, 2022)
	Falta de clareza sobre o papel das partes interessadas.		(Garg, 2020)
	Falta de conhecimento técnico.		(Arya & Kumar, 2020; Rautela et al., 2021)
	Falta de inventário de dados.		(Arya & Kumar, 2020)
	Parceria público-privada limitada		(Lopes dos Santos, Jacobi, 2022)
	Métodos de descarte insustentáveis.		(Arya & Kumar, 2020; Lopes dos Santos, Jacobi, 2022; Thapa et al., 2022)
	Políticas de classificação ineficientes.		(Van Yken et al., 2021)
	Falta de comprometimento da gestão.		(Van Yken et al., 2021)
Kumar & Dixit (2018)	Falta de conscientização pública sobre a reciclagem de lixo eletrônico	Este trabalho traz como prioridade as barreiras causais: Falta de conscientização pública sobre a reciclagem de lixo eletrônico e Falta de políticas e regulamentação que abordem o problema do lixo eletrônico	(Min & Galle, 2001; Hung Lau & Wang, 2009; Nnorom et al., 2009; Godfrey et al., 2013; Welfens et al., 2016; Kumar et al., 2016)
	Falta de políticas e regulamentação que abordem o problema do lixo eletrônico		(Chaturvedi et al., 2007; Srinivasan & Bhambri, 2009; Wath et al., 2010; Rajesh, 2011)
	Não adoção da emenda de proibição de Basileia		(Tong & Wang, 2004; Hicks et al., 2005; Selin & VanDeveer, 2006; Robinson, 2009; Bisschop, 2012; Zhang et al., 2012)
	Crescimento do setor informal		(Medina, 2000; Williams et al., 2008; WorldBank, 2010; Chi et al., 2011)
	Falta de implementação de práticas verdes no design de produtos eletrônicos		(Tojo, 2001; Gottberg et al., 2006; Van Rossem et al., 2006; Ravi & Shankar, 2014)
	Falta de fundos para práticas de reciclagem de lixo eletrônico		(Ravi & Shankar, 2005; Shi et al., 2008; Chauhan et al., just-in press)
	Falta de iniciativas de RSE		(Sinha-Khetriwal et al., 2005; Thiel et al., 2009; Mudgal et al., 2010; Mulliner et al., 2013)

	Falta de compartilhamento de conhecimento entre empresas de gestão de REEE		Kumar & Dixit, 2018
	Infraestrutura inadequada		(Hung Lau & Wang, 2009; Wath et al., 2010; Kumar et al., 2016, 2017)
	Falta de Abordagens de responsabilidade estendida do produtor		(Manomaivibool, 2009; Wath et al., 2010; Zhao et al., 2010; Manomaivibool & Vassanadumrongdee, 2011; Kiddee et al., 2013; Garlapati, 2016)
Trivedi, Kumar & Ashish (2022)	Falta de implementação eficiente dos quadros legislativos	A falta de serviços de coleta e a falta de conscientização do público são as barreiras mais prioritárias e são definidas como efeitos de outras barreiras. Quando analisadas apenas as barreiras causais, temos as principais barreiras: Falta de implementação eficiente dos quadros legislativos e Falta de obrigatoriedade de responsabilidade estendida do produtor.	(Ministry of Environment & Forests, 2011; Arya & Kumar, 2020; Garlapati, 2016; Kumar & Dixit, 2018)
	Falta de serviços de coleta sofisticados e formais de porta em porta		(Arya & Kumar, 2020; Kumar & Dixit, 2018; Yong et al., 2019; Ranasinghe & Athapattu, 2019; Chaturvedi, 2013a).
	Falta de técnicas de tratamento avançadas e sustentáveis		(Arya & Kumar, 2020; Ranasinghe & Athapattu, 2019; Shittu et al., 2021; Yong et al., 2019; Garlapati, 2016)
	Falta de treinamento adequado dos trabalhadores do lixo eletrônico		(Garlapati, 2016; Chaturvedi et al., 2015)
	A falta de conscientização do público em geral sobre os benefícios ambientais da reciclagem		(Kumar & Dixit, 2018; Chaturvedi, 2013b; Aboelmaged, 2020; Gao et al., 2015; Ramzan et al., 2020)
	Falta de mecanismos de eliminação inofensivos		(Arya & Kumar, 2020; Garlapati, 2016; Ranasinghe & Athapattu, 2019; Yong et al., 2019; Gautam et al., 2020)
	Falta de iniciativas dos setores corporativos		(Prasad et al., 2019; Arya & Kumar, 2020; Garlapati, 2016)
	Falta de obrigatoriedade de responsabilidade estendida do produtor		(Garlapati, 2016; Chaturvedi, 2013b)
Kazançoglu et al. (2020)	Dimensões Jurídicas e Legislativas	Este trabalho organiza as barreiras em dimensões, e após a análise dos dados é possível notar que as 3 barreiras ligadas a dimensão jurídica e legislativa (ou seja, governamental) são as principais causas das outras barreiras, sendo também as 3 principais barreiras.	Wubbeke & Heroth, (2014); Arora et al. (2017); Gunaratne et al. (2020); Kang et al. (2020); He et al. (2020); Gruenhagen & Parker (2020); Baxter et al. (2016); Do Nacsimento & Xavier, (2018); Cao et al. (2016); European Commission (2019)
	Dimensões Tecnológicas e Infraestruturais		Arora et al. (2017); Grant & Oteng-Ababio (2016); Gunaratne et al. (2020); Gutberlet (2015); He et al. (2020); Matinde et al. (2018); European Commission (2019)
	Dimensões Sociais e Ambientais		Arora et al. (2017); Gunaratne et al. (2020); Koutamanis et al., 2018; Ferronato & Torretta (2019); Grant & Oteng-Ababio (2016); Izatt et al., 2014; Muduli et al. (2020); Gruenhagen & Parker (2020); Caravanos et al. (2011); Park et al. (2017); Matinde et al. (2018);
	Dimensões Econômicas		Tesfaye et al. (2017); Ferronato & Torretta (2019); Krook (2010); Abiodun, 2008; Zeng et al., 2018; Stenis & Hogland (2014); Cossu & Williams (2015)
	Dimensões de Logística e Gestão da Cadeia de Suprimentos		Burger (2012); Sharma et al., 2020; Tesfaye et al. (2017); Keating (2018)
	Dimensões Empresariais e Gerenciais		Burger (2012); Keating (2018); Ferronato & Torretta (2019)
Fetanat, Tayebi & Shafpour (2021)	Sociais	Este trabalho lista 14 sub-barreiras divididas nos 4 grupos citados. O grupo de questões econômicas é a principal barreira citada por este trabalho.	(Bufardi et al. 2003; Ren et al. 2013; Alamerew & Brissaud 2019)
	Tecnológicas		
	Econômicas		
	Ambientais		
Sharm, Joshi & Kumar (2020)	Colaboração com parceiros ambientais;	Esse trabalho aponta com as principais barreiras causais: Sistemas de gestão ambiental; Esquema de reembolso de depósitos; Legislação ambiental; Colaboração com parceiros ambientais;	Vachon & Klassen (2008); Borthakur (2017); Echegaray (2017); Andrade et al. 2019; Zhang et al. (2019).
	Benefícios de subsídios;		Macauley et al. (2003); Awasthi (2017); Zhu et al. (2017); Kumar & Dixit (2018a); Islam (2018); Lee (2018); Ramzan et al. (2019)
	Recuperação de material precioso;		Pan et al. (2015); Daso et al. (2016). Parajuly (2017); Xu (2017); Xu et al. 2017; Coban et al. (2018); Andrade et al. (2019).
	Esquema de reembolso de depósitos;		Wath et al. (2010); Duan et al. (2016); Afroz et al. (2017); Zhou et al. (2017); Ikhlaiel (2017, 2018); Tansel (2017); Vanegas (2018); Shevchenko et al. (2019); Yunita et al. (2019)
	Planos de saúde dos funcionários, Programas de formação para consciência ambiental;		Agamuthu et al. (2011); An et al. (2015); Awasthi et al.(2016); Liu (2017); Bhatia (2018); Xu et al. (2018); Haibo et al. (2019)
	Imagem verde;		Pathak (2017); Bakhiyi (2018); Xu et al. (2018); Ramzan et al. (2019)
	Redução nas práticas de aterros;		Babu et al. (2007); Wibowo & Deng (2015); Zeng (2017a, b, 2018)
	Sistemas de gestão ambiental;		Manomaivibool (2009); Shaharudin et al. (2017); Zeng 2017a, b; Lee et al. (2018); Akram et al. (2019)
	Legislação ambiental;		Heeks et al. (2015)
	Redução de substâncias perigosas e tóxicas no meio ambiente.		Grant & Marshburn (2014); Xu (2017a); Nagaraju et al. (2018); Xu et al. (2018); Alghazo et al. (2019)
Jangre, Prasad & Patel (2022)	Falta de planejamento de longo prazo;	Segundo este trabalho, as principais barreiras são: Insensibilidade do público em relação às questões ambientais e Tecnologias de reciclagem subdesenvolvidas. Entretanto essas barreiras são consideradas efeitos. A barreira causal com maior influência é a Falta de subsídio do governo.	(Prakash & Barua 2016)
	Menos políticas que abordem o problema do lixo eletrônico;		(Balon et al.2016; Luthra et al. 2011; Islam et al.2016)
	Falta de conscientização do cliente sobre a devolução;		(Rahman & Subramanian 2012; Chung and Zhang 2011)
	Insensibilidade do público em relação às questões ambientais;		(Abdulrahman et al. 2014)
	Falta de iniciativas de responsabilidade social corporativa;		(Mudgal et al. 2010; Mulliner et al. 2013)

	Estrutura organizacional e suporte insuficientes;		(Turaga et al 2019)
	Recursos humanos limitados;		(Jangre, Prasad & Pateç, 2022)
	Tecnologias de reciclagem subdesenvolvidas;		(Jindal & Sangwan 2011; Wong et al. 2011)
	Falta de infraestrutura tecnológica;		(Patil and kant 2014)
	Baixa segurança e proteção do sistema de informação;		(Gunasekaran & Ngai 2004)
	Menos investimento em armazéns;		(Abdulrahman et al. 2014)
	Grande investimento inicial e alto custo operacional;		(Presley et al. 2007)
	Alto custo da tecnologia;		(Scheinberg et al. 2011)
	Fundos inadequados para reciclar o lixo eletrônico;		(Kumar & Dixit 2018b)
	Falta de subsídio do governo.		(Shih et al. 2013)
Mahanth et al., 2023	Barreiras Sociais	Este trabalho traz 30 sub-barreiras, subdivididas em 3 grupos principais. Dentre essas sub-barreiras, as 4 primeiras em proeminência de relevância, são alocadas no grupo de barreiras econômicas.	Parajuly et al., 2020; Singh & Giacosa, 2019; Kiss et al, 2019; Rizos & Bryhn, 2022; Huang et al., 2021; Galvão et al., 2018; Hao et al., 2020; Keshavarz-Ghorabae et al., 2022; Jain et al., 2022; Gedam et al., 2021
	Barreiras Econômicas		Gedam et al., 2021; Jain et al., 2022; Mohammadi et al., 2021; Kumar et al., 2021; Hoang et al., 2022; Xavier et al., 2021; Vermunt et al., 2019; Kirchherr et al., 2018
	Barreiras Ambientais		Keshavarz-Ghorabae et al., 2022; Jain et al., 2022; Kumar et al., 2021; Badhotiya et al., 2022; Zhang et al., 2019

Fonte: Autor (2023).

Diante dessa extensa lista de barreiras, é vital agrupá-las (em sua maioria), em um número reduzido de categorias mais gerais, a fim de facilitar a continuidade da aplicação do método Dematel. Esse reagrupamento das barreiras, foi dividido em 05 (cinco) categorias, que foram apresentadas no Quadro 3, juntamente com as respectivas descrições.

Quadro 3: Categorização das Barreiras para aplicação do Dematel

Barreira	Descrição
B1- Tecnologia	Na questão da recuperação de materiais a partir dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE), a tecnologia desempenha um papel crucial, sendo tanto parte do desafio quanto parte da solução. A falta de infraestrutura e tecnologias adequadas para o pré-processamento dos REEE e a eficácia dessas tecnologias têm um impacto direto na habilidade de extrair materiais valiosos. Embora haja tecnologias disponíveis, a capacidade de reciclagem de REEE no país é restrita a determinados tipos de REEE, e as operações mais avançadas estão concentradas nas regiões Sul e Sudeste.
B2-Conhecimento Técnico	A ausência ou restrição de conhecimento técnico sobre como realizar a recuperação eficaz dos materiais contidos nos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) pode levar a práticas inadequadas na logística reversa, o que resulta em uma recuperação de materiais ineficiente. Em relação ao processamento dos REEE, a carência de habilidades técnicas no pré-tratamento e nos processos avançados também pode impactar negativamente a eficácia do sistema de logística reversa.
B3- Controle da Poluição	Durante um longo período, a ausência de regulamentação e a falta de fiscalização rigorosa resultaram em práticas deficientes na gestão dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE). No que se refere ao governo, o controle sobre as atividades de reciclagem de REEE no Brasil tem sido limitado, especialmente devido à presença de um mercado informal de reciclagem desses resíduos. Muitas organizações também carecem de políticas internas sólidas relacionadas à gestão adequada de REEE, o que pode levar a práticas inadequadas de descarte ou à ausência de iniciativas de reciclagem em suas operações. Em termos organizacionais, destaca-se a importância da obtenção de certificações ambientais, o que implica que a empresa está em conformidade com as normas e regulamentações, passou por treinamento e reduziu seu impacto ambiental.
B4- Custos	Os custos significativos associados à extração de materiais dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE), tais como os investimentos em infraestrutura e tecnologia, a falta de apoio financeiro e a exclusão de coletores e cooperativas de reciclagem dos projetos de logística reversa, bem como a disparidade nas taxas governamentais aplicadas, são fatores que podem desencorajar a participação ativa dos participantes na indústria de produtos eletrônicos e na gestão de REEE. Isso, por sua vez, pode ter um impacto direto na quantidade coletada, nas operações de coleta, na separação e na recuperação de materiais dentro do sistema de logística reversa. Por outro lado, os potenciais benefícios econômicos derivados da venda dos materiais recuperados podem criar oportunidades de receita. Essas receitas podem ser direcionadas para programas de reciclagem de REEE, melhorias na infraestrutura de reciclagem e iniciativas de conscientização pública.
B5- Consumidor	Apesar de os consumidores não desempenharem um papel direto na gestão da logística reversa de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE), eles têm um papel crucial na fase inicial de coleta de produtos eletrônicos descartados. Estudos centrados nos consumidores brasileiros indicam que tem havido um avanço no conhecimento e na conscientização dos consumidores sobre a importância da reciclagem e do descarte adequado de REEE. Contudo, a grande maioria dos consumidores ainda adota práticas inadequadas de descarte de REEE, o que pode representar um obstáculo para a coleta inicial e, consequentemente, para as operações subsequentes de recuperação de materiais a partir dos REEE.

Fonte: Autor (2023).

4.2 Construção da Matriz de Impacto

Identificadas as barreiras em destaque no presente estudo, se faz necessário entender a relação entre elas, bem como seu grau de proeminência, ou seja, relevância para o problema. Para isso, foi construída uma matriz, ou tabela de correlações, através de opiniões de um especialista, com 32 anos de formação na Engenharia Metalúrgica, com experiência no manejo de REEE, e ênfase em Gestão Ambiental e Reciclagem de Resíduos. Esse especialista buscou quantificar a importância de cada barreira, através do grau de influência já apresentado na Tabela 1. Os resultados dessa etapa podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2: Matriz de Impacto [A]

Matriz [A]					
BARREIRAS	TECNOLOGIA	CONHECIMENTO TÉCNICO	CONTROLE DA POLUIÇÃO	CUSTOS	CONSUMIDOR
TECNOLOGIA	0	0	3	4	4
CONHECIMENTO TÉCNICO	3	0	3	3	4
CONTROLE DA POLUIÇÃO	4	4	0	4	3
CUSTOS	3	4	4	0	0
CONSUMIDOR	0	3	0	0	0

Fonte: Autor (2023).

4.3 Cálculo das Influências Diretas e Indiretas

De posse da Matriz de Impacto [A], são realizados alguns procedimentos algébricos para obtenção das influências diretas e indiretas. Inicialmente, é realizada a normatização dessa matriz, obtendo uma nova matriz chamada [X] (Tabela 3). Em seguida, é construída a Matriz de Influência [T], que é o resultado da multiplicação da matriz [X], com a derivada dela. Essa derivada é obtida como a matriz inversa da subtração entre a matriz identidade [I] e a matriz [X] (Tabela 4 e 5).

Tabela 3: Matriz [X] normatizada

Matriz X					
BARREIRAS	TECNOLOGIA	CONHECIMENTO TÉCNICO	CONTROLE DA POLUIÇÃO	CUSTOS	CONSUMIDOR
TECNOLOGIA	0	0	0,2	0,266666667	0,266666667
CONHECIMENTO TÉCNICO	0,2	0	0,2	0,2	0,266666667
CONTROLE DA POLUIÇÃO	0,266666667	0,266666667	0	0,266666667	0,2
CUSTOS	0,2	0,266666667	0,266666667	0	0
CONSUMIDOR	0	0,2	0	0	0

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 4: Matriz Identidade, Subtração (I-X), inversa de (I-X)

Matriz I					Matriz (I-X)					Matriz (I-X) ⁻¹				
1	0	0	0	0	1	0	-0,2	-0,2667	-0,2667	1,32262	0,39279	0,49315	0,56276	0,55607
0	1	0	0	0	-0,2	1	-0,2	-0,2	-0,2667	0,5477	1,42800	0,54931	0,57814	0,63672
0	0	1	0	0	-	-	1	-0,2667	-0,2	0,67839	0,71610	1,46985	0,7161	0,66583
0	0	0	1	0	0,2667	0,2667	-	-	1	0	0,59148	0,65031	0,63707	1,45768
0	0	0	0	1	-0,2	-	0,2667	0,2667	0	1	0,10954	0,28560	0,10986	0,11563
0	0	0	0	1	0	-0,2	0	0	1	0,10954	0,28560	0,10986	0,11563	1,12734

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 5: Matriz [T]

Matriz T					Soma
0,32261876	0,392792575	0,493152733	0,562764246	0,556073569	2,3274
0,547710223	0,427996925	0,549311714	0,578138568	0,636717582	2,7399
0,67839196	0,716080402	0,469849246	0,716080402	0,665829146	3,2462
0,591484334	0,650312469	0,637073469	0,457677908	0,458560508	2,7951
0,109542045	0,285599385	0,109862343	0,115627714	0,127343516	0,7480
2,2497	2,4728	2,2592	2,4303	2,4445	<-Soma

Fonte: Autor (2023).

Dessa matriz [T] são retirados dois vetores, Di e Ri, que são as saídas dessa etapa. O vetor Di, é o somatório das linhas da matriz [T]. Já o vetor Ri, é o somatório das colunas da matriz [T]. Com esses dois vetores são calculados dois fatores: o grau de proeminência (Di+Ri) e o grau de influência (Di-Ri).

O grau de proeminência nos mostra qual ou quais fatores devem ter nossa atenção numa primeira instância para resolução do problema. Já o grau de influência, nos diz sobre a relação causa-efeito. Quando esse índice é positivo, indica que o fator é a causa de outros fatores, quando ele é negativo indica que ele está sendo influenciado pelos outros fatores, ou seja, é um efeito. Os valores desses dois índices, para todas as barreiras em questão, foram dispostos na Tabela 6.

Tabela 6: Grau de proeminência e grau de influência

Barreiras	Di	Ri	Di+Ri (proeminência)	Ranking	Di-Ri (causa e efeito)	Causa/Efeito
TECNOLOGIA	2,3274	2,2497	4,5771	4	0,0777	C
CONHECIMENTO TÉCNICO	2,7399	2,4728	5,2127	3	0,2671	C
CONTROLE DA POLUIÇÃO	3,2462	2,2592	5,5055	1	0,9870	C
CUSTOS	2,7951	2,4303	5,2254	2	0,3648	C
CONSUMIDOR	0,7480	2,4445	3,1925	5	-1,6965	E

Fonte: Autor, 2023.

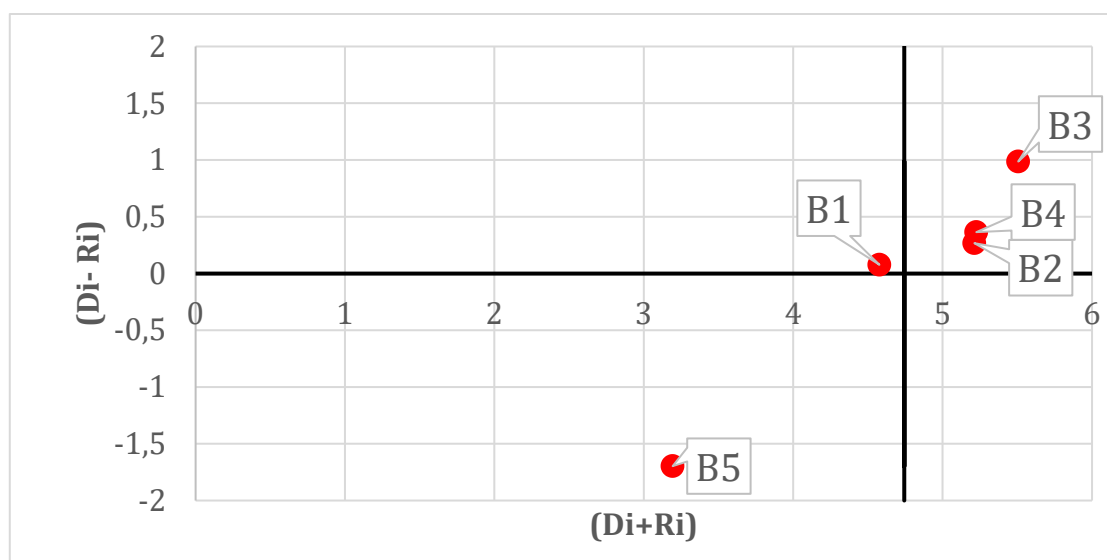
4.4 Análise dos Resultados

Como é possível analisar, pela Tabela 6, a barreira com maior grau de proeminência, e consequentemente, maior importância para a solução do problema foi “Controle da poluição” (5,5055). Essa barreira está intimamente ligada aos órgãos regulatórios, sejam eles nos níveis governamentais ou empresariais. Como já foi visto, a falta de leis e regulações a respeito do gerenciamento dos resíduos de EEE, bem como falta de fiscalização e controle por parte do governo, é uma barreira real aqui no Brasil.

Já no âmbito empresarial, são as certificações ambientais, que têm levado diversas empresas, a mudarem não só seus produtos, mas também a mentalidade de seus colaboradores e clientes. Atitudes como essa, irão tornar a logística reversa um caminho real, visto que cada vez mais, cada empresa irá pensar numa forma ecológica de reaproveitar os resíduos dos seus produtos. Assim existirá um maior controle dos níveis de poluição.

Outro resultado interessante de se analisar, são as relações de causa-efeito que podem ser analisadas na Figura 4, que representa o Diagrama Causa-Efeito. Apenas a barreira “Consumidor” foi tida como um efeito causado pelas outras barreiras, valor negativo na ordenada ($Di-Ri$), sendo as demais consideradas como as causas do problema. Esse resultado é esperado, uma vez que o consumidor, normalmente é o agente final dessa cadeia de recuperação de REEE.

Figura 4: Diagrama Causa-Efeito



Fonte: Autor, 2023.

Podemos ainda analisar os fatores ($Di+Ri$, $Di-Ri$), de maneira conjunta, dividindo o Diagrama de Causa-Efeito em 4 (quatro) quadrantes, ou seja, quatro categorias diferentes. As barreiras B2, B3 e B4 são classificadas como “*key factors*”, ou fatores chave para solução do

problema, tendo os maiores valores de proeminência e influência. A barreira B1 foi classificada como “*minor key fator*”, ou seja, um fator chave menor, que apesar a alta influência possui uma menor proeminência. Já a barreira B5, foi enquadrada como “independente”, sendo uma barreira bastante influenciada pelos outros fatores, mas que exige um estudo mais aprofundado para entender de fato, se essa dependência existe e se ela é influenciada por outros fatores externos. A última categoria, sem nenhuma barreira existente neste trabalho, é a categoria “indireta”, que não é influenciada pelos outros fatores.

5. CONCLUSÕES

A gestão dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) no Brasil é uma questão complexa e multifacetada, com desafios significativos, sendo um deles a falta de controle da poluição associada a esses resíduos. Este estudo buscou analisar essa problemática e suas implicações, destacando a necessidade urgente de ações coordenadas e políticas eficazes para abordar essas questões críticas.

Os resultados desta pesquisa revelaram que a falta de regulamentação e fiscalização rigorosas tem permitido a operação de instalações de reciclagem de REEE sem medidas adequadas de controle de emissões, o que tem impactos negativos no meio ambiente e na saúde pública. Além disso, a falta de conscientização e a falta de incentivos para a reciclagem adequada por parte dos consumidores também têm contribuído para práticas inadequadas de descarte de REEE.

No entanto, também é importante reconhecer que houve avanços significativos na conscientização da população em relação à importância da reciclagem de REEE. As iniciativas de reciclagem estão se expandindo, e a crescente conscientização dos consumidores pode criar oportunidades para melhorias no sistema de logística reversa e para a redução da poluição associada aos REEE.

Portanto, diante desse cenário, é imperativo que o Brasil adote políticas e regulamentações mais rigorosas para controlar a poluição relacionada aos REEE. Isso envolve a implementação de medidas eficazes de controle de emissões, o incentivo à reciclagem responsável por meio de campanhas de conscientização e a criação de incentivos financeiros para a gestão adequada dos REEE. Além disso, a colaboração entre o governo, a indústria de eletrônicos, as organizações de reciclagem e os consumidores é fundamental para enfrentar os desafios associados à gestão dos REEE.

Em resumo, a falta de controle da poluição nos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos é uma questão crítica que requer atenção imediata e ação coordenada. Ao abordar esses desafios de forma eficaz, o Brasil pode não apenas reduzir os impactos ambientais e de saúde pública, mas também aproveitar as oportunidades econômicas associadas à recuperação de materiais valiosos presentes nos REEE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Logística Reversa de Equipamentos Eletrônicos, 2013. Disponível em: <https://conhecimento.abdi.com.br/conhecimento/Publicacoes1/Log%C3%ADstica%20reversa%20de%20Equipamentos%20Eletroeletr%C3%B4nicos%20-%20res%C3%ADduos.pdf>

ABNT, NBR 10004 - Dispõe sobre a classificação dos resíduos sólidos quanto aos seus riscos, p. 19, 2004.

AGÊNCIA BRASIL, (2021) - Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-10/brasil-e-o-quinto-maior-produtor-de-lixo-eletronico>

ARAÚJO, Jaqueline Gomes de. Análise do gerenciamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos residenciais em Manaus-AM. 2013. 162 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.

AZEVEDO, L.P., da Silva Araújo, F.G., Lagarinhos, C.A.F., Tenório, J.A.S., Espinosa, D.C.R., 2017. E-waste management and sustainability: a case study in Brazil. Environ. Sci. Pollut. Res. 24, 25221–25232.

BALDÉ, C. P., FORTI, V., GRAY, V., KUEHR, R., STEGMANN, P. The Global E-waste monitor – 2017, United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna.

BHATTACHARJEE, Prattusha; HOWLADER, Ihan; RAHMAN, Md. Adib; MD, Hasin; TAQI, Muhtasim; HASAN, Md. Tuba; ALI, Syed Mithun; ALGHABABSHEH, Mohammad. Critical success factors for circular economy in the waste electrical and electronic equipment sector in an emerging economy: Implications for stakeholders, 2023.

CARVALHO, T. C; XAVIER, L. H. Gestão de resíduos eletroeletrônicos: uma abordagem prática para a sustentabilidade. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 240 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA 257 Resolução Nº 257, de 30 de junho de 1999 - Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/entra-em-vigor-resolucao-sobre-pilhas-e-baterias>

COSTA, Sandro Luiz da. Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos: aspectos jurídicos e ambientais. Aracaju: Evocati, 2011.

DIAS, Josinaldo De Oliveira. Utilização das Ferramentas Acv E Ahp para Avaliação e Comparação Hierárquica no Processo de Recuperação de cobre em Placas De Circuito Impresso- Universidade Estadual do Norte Fluminenses Darcy Ribeiro - UENF, 2020.

FETANAT, Abdolvahhab; TAYEBI, Mohsen Tayebi; SHAFPOUR, Gholamreza. Management of waste electrical and electronic equipment based on circular economy strategies: navigating a sustainability transition toward waste management sector, 2021.

FORTI, V., Balde, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential, 2020.

FRANCO, R. G. F.; LANGE, L. C. Estimativa fluxo REEE em BH. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 16, n. 1, p. 73–82, 2011.

GABUS, A.; FONTELA, E. Perceptions of the world problematique: communication procedure, communicating with those bearing collective responsibility. Battelle Geneva Research Centre, Switzerland, Relatório DEMATEL no 1, 1973.

<http://residuoall.com.br/2017/08/14/formas-de-disposicao-final-de-residuos/>

JANGRE, Jogendra; PRASAD, Kanika; PATEL, Dharmendra. Analysis of barriers in e-waste management in developing economy: an integrated multiple-criteria decision-making approach, 2022.

JU-LONG, D. Control problems of grey systems. Systems & Control Letters, v.1, n.5, p. 288-294, 1982.

KARUPPIAH, Koppiahraj; SANKARANARAYANAN, Bathrinath. An integrated multi-criteria decision-making approach for evaluating e-waste mitigation strategies, 2023.

KAZANÇOGLU, Yigit; ADA, Erhan; OZTURKOGLU, Yucel; OZBILTEKIN, Melisa. Analysis of the barriers to urban mining for resource melioration in emerging economies, 2020.

KUMAR, Ashwani; DIXIT, Gaurav. An analysis of barriers affecting the implementation of e-waste management practices in India: A novel ISM-DEMATEL approach, 2018.

KUMAR, Ashwani; DIXIT, Gaurav. Evaluating critical barriers to implementation of WEEE management using DEMATEL approach, 2018.

KUMAR, Ashwani; GAUR, Diptanshu; LIU, Yang; SHARMA, Dheeraj. Sustainable waste electrical and electronic equipment management guide in emerging economies context: A structural model approach, 2022.

LI, J., SHRIVASTAVA, P., GAO, Z., ZHANG, H.-C., 2004. Printed circuit board recycling: a state-of-the-art survey. IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing, 27, 33-42.

LOPES DOS SANTOS, K., 2021. The recycling of e-waste in the Industrialised Global South: the case of Sao Paulo Macrometropolis. *Int. J. Urban Sustain. Dev.* 13, 56–69.

MAHANTH, T.; SURYASEKARAN, C.R.; PONNAMBALAM, S.G.; SANKARANARAYANAN, B.; KARUPPIAH, K.; NIELSEN, I.E. Modelling the Barriers to Circular Economy Practices in the Indian State of Tamil Nadu in Managing E-Wastes to Achieve Green Environment. *Sustainability* 2023, 15, 4224. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15054224>

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. SECRETARIA DE QUALIDADE AMBIENTAL. Plano Nacional de Resíduos Sólidos / coordenação de André Luiz Felisberto França... [et. al.]. – Brasília, DF: MMA, 2022. Disponível em: <https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/07/Planares-B.pdf>

OLIVEIRA, C. R. De; BERNARDES, A. M.; GERBASE, A. E. Collection and recycling of electronic scrap: A worldwide overview and comparison with the Brazilian situation. *Waste Management*, v. 32, n. 8, p. 1592–1610, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.04.003>

PACHECO, G. J.; CAMPOS, T. M. P.; NASCIMENTO, D. L. M. (2018), “Análise do sistema de gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos da Alemanha e suas influências na logística reversa do município do Rio de Janeiro”, *Sistemas & Gestão*, Vol. 13, No. 4, pp. 541–556, disponível em: <http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/1473>

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. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.09.044>

RODRIGUES, A. C.; GUNTHER, W. M. R.; BOSCOV, M. E. G. Estimativa da geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos de origem domiciliar: proposição de método e aplicação ao município de São Paulo, São Paulo, Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 20, n. 3, p. 437–447, 2015.

RUBIN, R. S. et al. Utilization of Life Cycle Assessment methodology to compare two strategies for recovery of copper from printed circuit board scrap. *Journal of Cleaner Production*, v. 64, p. 297–305, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.051>

Santos, S.M., Silva, M.M., Melo, R.M. et al. Multi-criteria analysis for municipal solid waste management in a Brazilian metropolitan area. *Environ Monit Assess* **189**, 561 (2017). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6283-x>

SHAIK, M. N.; ABDUL-KADER, W. Comprehensive performance measurement and causal-effect decision making model for reverse logistics enterprise. *Computers & Industrial Engineering*, v. 68, p. 87–103, 2014.

SHARMA, Manu; JOSHI, Sudhanshu; KUMAR, Ashwani. Assessing enablers of e-waste management in circular economy using DEMATEL method: An Indian perspective, 2020.

SI, Sheng-Li; YOU, Xiao-Yue; LIU, Hu-Chen; ZHANG, Ping. DEMATEL Technique: a systematic review of the state-of-the-art literature on methodologies and applications. *Mathematical Problems In Engineering*, v. 2018, p. 1-33, 2018.

SMOL, M.; AVDIUSHCHENKO, A.; KULCZYCKA, J. (2016), "Circular economy (CE) assumptions in WEEE management: Polish case study", *Economic and Environmental Studies*, Vol. 16, No. 4, pp. 531-549.

TRIVEDI, Vibha; PANDEY, Krishan Kumar Pandey; TRIVEDI, Ashish. Analyzing the challenges of e-waste management practices in India during COVID-19, 2022.

UE. Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 4 de julho de 2012, relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos (REEE). relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos (REEE). *Jornal Oficial da União Europeia*, 2012. Seção 6, p.38–71. Disponível em: <<https://eurlex.europa.eu/legalcontent/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019>> .

UmweltBundesamt (2017), Electrical and Electronic Equipment Act, available at: <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/waste-resources/product-stewardship-waste-management/electrical-electronic-waste/electrical-electronic-equipment-act>

WU, Wei-Wen; LEE, Yu-Ting. Developing globais managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method. *Expert Systems With Applications*, v. 32, n. 2, p. 499-507, 2007.

XAVIER, L. H. e LINS, F. A. F. (2018): Mineração Urbana de resíduos eletroeletrônicos: uma nova fronteira a explorar no Brasil. *Brasil Mineral*, v. 379, p. 22-26

YANG Y.; JOHN R.; Grey systems and interval valued fuzzy sets. In: *Proceedings of the 3rd Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology*. Zittau, Germany p.193-197, 2003.

NICOLAS MATEUS MUNIZ

**APLICAÇÃO DA ABORDAGEM DEMATEL PARA
IDENTIFICAR E ANALISAR AS BARREIRAS PARA RECUPERAÇÃO DE
METAIS A PARTIR DE REEE GERADOS NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Saneamento

Aprovado em 04 de outubro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^a. Simone Machado Santos (Orientadora)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Armando Dias Duarte (Avaliador)

Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)

Prof^ª. Dr^a. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves (Avaliadora)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Me. José Francisco Oliveira Neto (Avaliador)

Universidade Federal de Pernambuco