



## Identificação e análise de barreiras para a redução de resíduos de construção e demolição em canteiros de obras comerciais

*Identification and analysis of barriers for construction and demolition waste reduction on commercial construction sites*

**Pedrita Fernanda Silva**<sup>1</sup> **Lucas Daniel Del Rosso Calache**<sup>2</sup> **Rafael Ferro Munhoz Arantes**<sup>3</sup> **Lauro Osiro**<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mestre. Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM, Av. Randolfo Borges Júnior, 1400 / Uberaba, MG – Brasil

[pedritafernandasilva@gmail.com](mailto:pedritafernandasilva@gmail.com)



<sup>2</sup> Doutor. Universidade Estadual Paulista - UNESP, Faculdade de Engenharia, Câmpus de São João da Boa Vista, Av. Profa. Isette

Corrêa Fontão, 505 - Jardim das Flores, São João da Boa Vista, SP – Brasil



[lucas.calache@unesp.br](mailto:lucas.calache@unesp.br)

<sup>3</sup> Mestre. Universidade de São Paulo - USP, Escola de Engenharia de São Carlos EESC, Av. Trabalhador São-Carlense, 400, São

Carlos, SP – Brasil



[rafma92@usp.br](mailto:rafma92@usp.br)

<sup>4</sup> Doutor. Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM, Av. Randolfo Borges Júnior, 1400 / Uberaba, MG – Brasil

[lauro.osiro@uftm.edu.br](mailto:lauro.osiro@uftm.edu.br)



### Notas dos Autores

Nenhum potencial conflito de interesse foi reportado pelos autores.

Correspondência sobre esse artigo, enviar para Lucas Daniel Del Rosso Calache.

Os dados que sustentam os achados deste estudo estão disponíveis dentro do artigo e de seus materiais suplementares.

Agradecimentos: Os autores são gratos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil [número do projeto 407038/2021-3], à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) [Código de Financiamento 001] e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais [número do projeto APQ-00571-17].

Cite as - American Psychological Association (APA)

Siva, P. F., Calache, L. D. D. R., Arantes, R. F. M., & Osiro, L. (2024). Identification and analysis of barriers for construction and demolition waste reduction on commercial construction sites. *J. Environ. Manag. & Sust.*, 13(1), 1-42, e25838. <https://doi.org/10.5585/2024.25838>





## Resumo

**Objetivo:** Este estudo identifica e avalia as barreiras para a redução de resíduos de construção e demolição (RCD) em canteiros de obras comerciais de médio porte no Brasil.

**Metodologia:** Foi realizada uma revisão sistemática da literatura para identificar e classificar as principais barreiras à redução de RCD. Posteriormente, foi aplicada a técnica Fuzzy Dematel para analisar as barreiras com base no conhecimento dos gestores.

**Originalidade:** Sintetizando os insights de pesquisas existentes sobre os desafios da redução de RCD, o estudo classifica essas barreiras em dimensões técnicas, econômicas e legais no setor da construção civil brasileira. Por meio da análise dessas barreiras sob a ótica dos profissionais, a pesquisa contribui de forma diferenciada ao fornecer um exame novo e focado dentro desse contexto específico.

**Resultados:** A pesquisa revelou os principais fatores econômicos, ambientais e técnicos. Os resultados destacam a influência da legislação e dos incentivos governamentais noutros obstáculos. A falta de recursos financeiros surgiu como uma barreira significativa à redução dos RCD, de acordo com as opiniões dos gestores.

**Contribuições:** Este estudo contribui para o avanço da economia circular ao identificar as principais barreiras à redução dos RCD em obras comerciais de média dimensão. Fornece recomendações práticas para ultrapassar estas barreiras, oferecendo conhecimentos valiosos para o desenvolvimento teórico.

*Palavras-chave:* redução de resíduos de construção, barreiras, Fuzzy Dematel, revisão sistemática da literatura, canteiros de obras comerciais

### Identification and analysis of barriers for construction and demolition waste reduction on commercial construction sites

#### Abstract

**Objective:** This study identifies and assesses the barriers to reducing construction and demolition waste (CDW) in medium-sized commercial construction sites in Brazil.

**Methodology:** A systematic literature review was conducted to identify and classify the main barriers to CDW reduction. Subsequently, the Fuzzy Dematel technique was applied to analyze the barriers based on managers' knowledge.



**Originality:** Synthesizing insights from existing research on CDW reduction challenges, the study classifies these barriers into technical, economic, and legal dimensions within the Brazilian civil construction sector. Through the analysis of these barriers from professionals' viewpoints, the research makes a distinctive contribution by providing a novel, focused examination within this specific context.

**Results:** The research revealed key economic, environmental, and technical factors. Results highlight the influence of legislation and government incentives on other barriers. The lack of financial resources emerged as a significant barrier to CDW reduction, according to managers' opinions.

**Contributions:** This study contributes to advancing the circular economy by identifying key barriers to reducing CDW in medium-sized commercial works. It provides practical recommendations to overcome these barriers, offering valuable insights for both theoretical development and practical applications.

*Keywords:* construction waste reduction, barriers, Fuzzy Dematel, systematic literature review, commercial construction sites

## **Identificación y análisis de barreras para la reducción de residuos de construcción y demolición en obras comerciales**

### **Resumen**

**Objetivo:** Este estudio identifica y evalúa las barreras para la reducción de residuos de construcción y demolición (RCD) en obras comerciales de tamaño medio en Brasil.

**Metodología:** Se realizó una revisión sistemática de la literatura para identificar y clasificar las principales barreras para la reducción de RCD. Posteriormente, se aplicó la técnica Fuzzy Dematel para analizar las barreras a partir del conocimiento de los gestores.

**Originalidad:** Sintetizando los conocimientos de las investigaciones existentes sobre los desafíos de la reducción de RCD, el estudio clasifica estas barreras en las dimensiones técnica, económica y legal dentro del sector brasileño de la construcción civil. A través del análisis de estas barreras desde el punto de vista de los profesionales, la investigación hace una contribución distintiva al proporcionar un examen novedoso y enfocado dentro de este contexto específico.

**Resultados:** La investigación reveló factores económicos, ambientales y técnicos clave. Los resultados destacan la influencia de la legislación y los incentivos gubernamentales en otras barreras. La falta de



recursos financieros se reveló como un obstáculo importante para la reducción de los RCD, según la opinión de los gestores.

**Contribuciones:** Este estudio contribuye al avance de la economía circular mediante la identificación de barreras clave para la reducción de RCD en obras comerciales de tamaño medio. Proporciona recomendaciones prácticas para superar estas barreras, ofreciendo valiosas perspectivas tanto para el desarrollo teórico.

*Palabras clave:* reducción de residuos de la construcción, barreras, Fuzzy Dematel, revisión sistemática de la literatura, obras de construcción comercial

## Introdução

De acordo com Bao, Lee e Lu (2020), as atividades da construção civil são responsáveis por aproximadamente 25% dos resíduos sólidos depositados em aterros sanitários nas grandes cidades. Além disso, Liu, Yi e Wang (2020) indicam que este setor é responsável pela geração de 35% dos resíduos sólidos urbanos em todo o mundo. Portanto, reduzir os resíduos de construção e demolição (RCDs) é crucial para mitigar os impactos negativos da atividade humana no planeta. Os RCDs podem originar-se de várias fontes, como novas construções, demolições, reformas e expansões (Röhm, Marques Neto & Röhm, 2013). Pellegrini et al. (2020) definem os RCDs como qualquer material excedente, excluindo materiais terrosos, que devem ser removidos do local de construção e enviados a um aterro sanitário.

Segundo Peng, Scorpio e Kibert (1997) e Huang et al. (2018), a gestão dos resíduos de construção e demolição (RCD) deve ser orientada pelos princípios dos 3Rs (Reduzir, Reutilizar e Reciclar). Entre esses princípios, a redução de resíduos deve ser prioritária, pois tem o menor impacto sobre o meio ambiente. A reutilização refere-se à prática de usar materiais novamente para o seu propósito original (reutilização convencional) ou para uma função diferente (reutilização criativa ou reaproveitamento). A reciclagem envolve a transformação de itens para



criar novos materiais ou objetos.

O modelo de Economia Circular alinha-se diretamente aos princípios dos 3Rs. Ao promover ativamente a redução de resíduos, a reutilização de materiais e a reciclagem, o modelo de Economia Circular busca romper com o padrão linear de consumo de recursos "extrair – fabricar - descartar" e busca adotar um sistema de ciclo fechado. Essa abordagem destaca a importância de maximizar o uso de materiais e produtos, extraindo seu valor máximo ao longo de seu ciclo de vida e minimizando a produção de resíduos, contribuindo assim para o desenvolvimento sustentável da sociedade (Shooshtarian, Maqsood, Caldera & Ryley, 2022; Arantes, Zanon, Calache, Bertassini & Carpinetti, 2022). Além disso, esse modelo enfatiza que duas opções indesejáveis para a disposição de resíduos são a combustão e, particularmente, o descarte em aterros sanitários (Korhonen, Honkasalo & Seppälä, 2018). Assim, o foco deste estudo é reduzir a quantidade de RCD gerada por canteiros de obras que podem acabar sendo incinerados ou descartados em aterros.

Liu, Yi e Wang (2020) identificam várias barreiras que os gestores de construção devem avaliar e monitorar para reduzir a geração de RCD em todas as etapas do cronograma físico de construção. No entanto, Abarca-Guerrero, Maas e Twillert (2017), que examinaram as barreiras e motivações que levam à redução dos RCD, argumentam que poucos autores pesquisaram as barreiras que impedem a redução de resíduos na construção.

Dadas as diferenças culturais, econômicas e legais entre os países, os gestores de construção enfrentam desafios distintos na redução dos RCD (Bao, Lee & Lu, 2020; Negash, Hassan, Tseng, Wu & Ali, 2021). As relações e níveis de importância dessas barreiras em países com legislação consolidada e fiscalização mais rigorosa diferem daquelas em países com processos menos estruturados nessas questões. Além disso, a organização do setor de construção civil varia entre os países.

No Brasil, a indústria da construção comercial tem relevância econômica significativa, com a presença de 50 grandes construtoras (CBIC, 2018). Esse setor, conforme definido pela



Classificação Nacional de Atividades Econômicas, versão 2.0 (CNAE 2.0), envolve a construção de edifícios comerciais, restaurantes, escolas, hospitais, shoppings, entre outros, que são essenciais para as atividades do setor de serviços. Em países em desenvolvimento como o Brasil, esse setor aumentou sua participação no Produto Interno Bruto (PIB) (de Souza Campos et al., 2013; Roth & Garcias, 2009). Portanto, estudar a construção comercial permite uma melhor compreensão de seu impacto na economia brasileira e a identificação de oportunidades e desafios enfrentados por esse setor. O conhecimento sobre a construção comercial pode auxiliar na formulação de políticas públicas eficientes, no desenvolvimento de estratégias empresariais bem-sucedidas e na criação de empregos e oportunidades de negócios (Menegaki & Damigos, 2018). Além disso, entender o crescimento e as tendências na construção comercial pode fornecer insights valiosos para investidores, empreendedores e profissionais do setor, permitindo-lhes tomar decisões informadas e maximizar seu potencial de sucesso.

Para lidar com as questões discutidas nos parágrafos anteriores, este estudo tem como objetivo identificar e analisar a importância de diferentes barreiras à redução de RCD em canteiros de obras comerciais no Brasil, com base no conhecimento e na experiência dos seus gestores responsáveis, utilizando uma revisão sistemática da literatura (RSL) para identificar essas barreiras. A análise e avaliação da importância das barreiras para a redução dos RCDs foi embasada na frequência de citações obtidas pela RSL e na aplicação do fuzzy Dematel, de forma semelhante aos estudos de Negash et al. (2021) e Mavi e Standing (2018). Essa técnica de múltiplos critérios permite a análise das relações de dependência entre as barreiras e identifica aquelas mais relevantes para o problema abordado. O uso da representação fuzzy nas avaliações dos especialistas permite um melhor manejo das incertezas e imprecisões nos julgamentos (Rodrigues et al., 2023).

Na literatura existente, diversos estudos têm tentado propor várias categorias de barreiras em relação aos Resíduos de Construção e Demolição (RCD). No entanto, o presente



estudo visa consolidar as barreiras associadas à redução dos RCD que foram identificadas em pesquisas anteriores e categorizá-las nas dimensões técnicas, econômicas e legais. Vale destacar que trabalhos anteriores analisaram predominantemente essas barreiras de uma forma genérica, sem considerar as características únicas e complexidades de cada nação. Como resultado, este estudo adota uma abordagem focada ao analisar as barreiras sob a perspectiva dos profissionais dentro da indústria de construção civil brasileira. Notavelmente, nenhum estudo anterior, ao conhecimento dos autores, se esforçou para incorporar essa perspectiva contextual específica, fazendo desta pesquisa uma nova contribuição para o campo.

O restante deste artigo está estruturado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta uma breve fundamentação teórica. A Seção 3 descreve o método de pesquisa, incluindo as técnicas RSL e fuzzy Dematel. A Seção 4 apresenta os resultados e discussões, incluindo uma lista de barreiras para a redução dos RCDs identificadas na literatura e uma análise e avaliação das barreiras em obras comerciais no Brasil. A Seção 5 fornece as conclusões deste estudo.

### **Fundamentação Conceitual**

A construção civil é um setor de grande importância que contribui para o crescimento econômico dos países ao gerar oportunidades de emprego e renda. No entanto, as atividades do setor consomem grandes quantidades de matérias-primas e energia, exploram recursos naturais para aquisição de materiais e impactam negativamente o meio ambiente por meio da geração de resíduos de construção (Azevedo, Kiperstok, & Moraes, 2006).

Os resíduos de construção e demolição (RCD) são recursos excedentes nos canteiros de obras, representando entre 10% e 15% dos materiais utilizados (Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020). Souza et al. (1999) enfatizam a importância de identificar o tipo de perda que está sendo analisada na obra. Existem perdas incorporadas, como hardware dimensionado acima dos coeficientes mínimos de projeto ou revestimento com espessura acima do nível recomendado, assim como perdas que saem da obra. Este trabalho focará no segundo caso, e



o escopo do estudo não incluirá perdas incorporadas ao edifício durante sua construção. Identificar e quantificar esse tipo de perda é desafiador e envolve a análise de projetos e práticas de construção. Essa definição está alinhada com Pellegrini et al. (2020), que consideram os RCDs como qualquer material excedente que deve ser removido do canteiro de obras para descarte, com exceção apenas da terra.

Vários órgãos governamentais, pesquisadores e empresas têm estudado e desenvolvido ações para reduzir, reutilizar e reciclar (3Rs) os RCDs, reduzindo assim seu lançamento em aterros sanitários (Huang et al., 2018). No entanto, inúmeras barreiras dificultam ou tornam inviável a implementação dessas ações, tornando a redução dos RCDs um grande desafio para os gestores que buscam a circularidade em suas operações de construção civil.

Para estruturar a análise, essas numerosas barreiras foram agrupadas de acordo com suas características. Negash et al. (2021) categorizaram as barreiras em cinco categorias: técnica, econômica, social, regulatória e ambiental. Posteriormente, os autores definiram os critérios dentro dessa agrupação. Mahpour (2018) levantou potenciais barreiras para a redução de resíduos de construção com base na economia circular, agrupando os critérios em barreiras comportamentais, técnicas e legais.

No presente estudo, com base na divisão de Negash et al. (2021) e Mahpour (2018), decidimos condensar as barreiras sociais (comportamentais) e ambientais com a barreira técnica. Essa decisão foi tomada porque o tema social também analisa o comportamento operacional, e alguns dos critérios ambientais estão incorporados na legislação vigente. Como resultado, as barreiras neste estudo foram agrupadas em três categorias descritas abaixo:

- Técnica: esta categoria inclui conceitos diretamente ligados às técnicas de execução das obras, como métodos de planejamento, transporte e armazenamento, treinamento e educação (incluindo ambiental) dos atores que têm impacto direto na redução de RCD,

envolvendo principalmente a gestão e a experiência da equipe (Abarca-Guerrero et al., 2017; Agamuthu, 2008).

- Econômica: esta categoria refere-se aos obstáculos financeiros e econômicos que influenciam e dificultam a gestão de RCD nos canteiros de obras (Abarca-Guerrero et al., 2017).
- Legal: esta categoria envolve questões relacionadas a leis e regulamentos que impactam a gestão de RCD nos canteiros de obras, envolvendo o papel de diferentes atores, como órgãos de fiscalização, governo e gestores (Abarca-Guerrero et al., 2017; Udawatta et al., 2018).

### Metodologia

A pesquisa realizada para identificar e analisar as barreiras à redução de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em canteiros de obras comerciais de médio porte seguiu um processo em três etapas. Primeiramente, utilizamos o método de revisão sistemática da literatura (RSL) para identificar e compilar as barreiras relatadas em estudos anteriores referentes à redução de RCD. Essa revisão rigorosa nos permitiu determinar a frequência com que essas barreiras foram citadas na literatura existente.

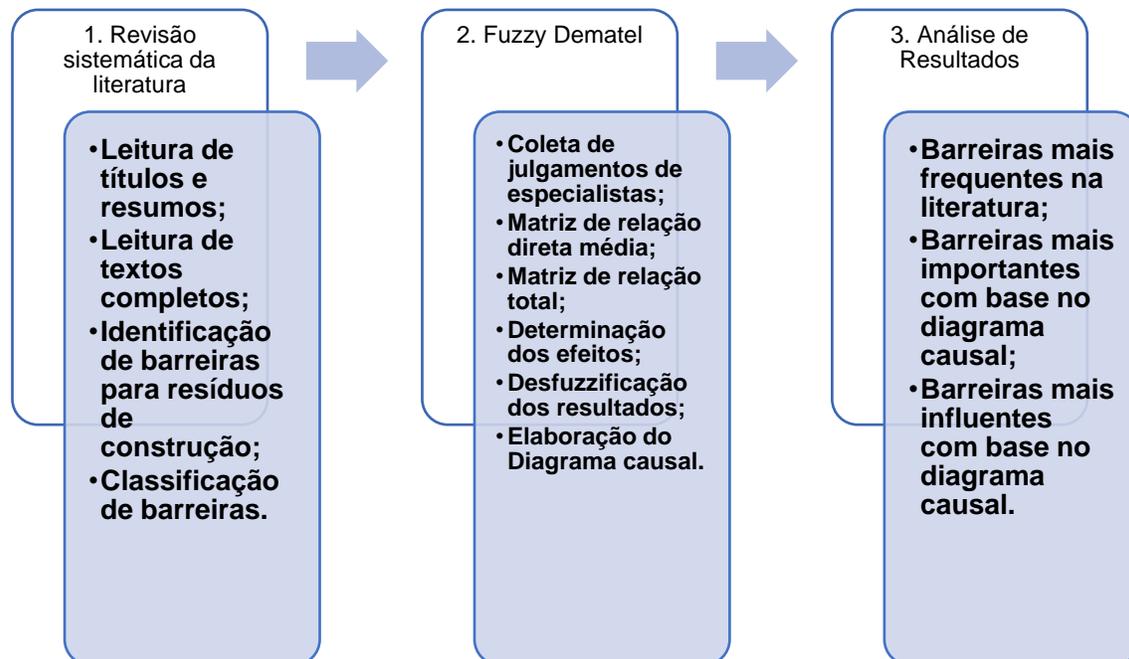
Em segundo lugar, foi utilizado o método fuzzy DEMATEL para estruturar os dados coletados de uma amostra de gestores que atuam em canteiros de obras comerciais de médio porte no Brasil. Esse método nos possibilitou analisar e compreender as relações e interações entre essas barreiras, fornecendo insights valiosos.

Por fim, ao comparar e contrastar os resultados obtidos tanto na revisão sistemática da literatura quanto na análise fuzzy DEMATEL, conseguimos avaliar a significância e a importância de cada barreira identificada. Enquanto a RSL destacou barreiras essenciais em diversos países e contextos de construção, a análise fuzzy DEMATEL examinou especificamente os canteiros de obras comerciais de médio porte no Brasil. Essa abordagem integrativa facilitou uma compreensão mais profunda dos desafios sutis em torno das barreiras

à redução de resíduos de construção e demolição (RCD) dentro desse subconjunto específico da indústria da construção. A estrutura metodológica de nossa pesquisa é visualmente representada na Figura 1.

**Figura 1**

*Método de pesquisa*



Fonte: os autores.

### Revisão Sistemática da literatura (RSL)

O método RSL é crucial para produzir uma pesquisa confiável e metódica que resulte em melhores resultados. Este método aprimora a consistência da pesquisa ao permitir a correlação sistemática do tema da pesquisa com trabalhos previamente publicados (Conforto, Amaral, & Silva, 2011).

Para iniciar o processo de busca na literatura, a pergunta de pesquisa "Quais são as principais barreiras para a redução de RCD?" foi definida. Em seguida, foram pesquisados artigos na plataforma Scopus, utilizando critérios de elegibilidade, como artigos publicados em inglês entre 2012 e 2022, excluindo notas e documentos de revisão de conferências. A busca

foi focada em todas as ciências físicas, e duas strings de busca, "management AND barrier AND construction AND waste" ou "barrier AND reduction AND construction AND waste," foram usadas no título, resumo e palavras-chave dos artigos. Os resultados da pesquisa renderam 169 documentos.

Foram implementadas duas etapas de avaliação dos documentos, sendo que a primeira etapa envolveu a leitura do título, resumo e introdução dos artigos. Nesse processo, artigos que não eram relevantes para o propósito da pesquisa ou que eram repetidos foram excluídos, restando 54 artigos. Na segunda etapa, os 54 artigos foram lidos na íntegra, resultando em 23 artigos que identificaram as barreiras. Esses 23 artigos foram armazenados no software Mendeley® para gestão e criação de referências bibliográficas, e foram utilizados para obter as barreiras identificadas para a redução de RCD.

### Fuzzy Dematel

O método DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) foi desenvolvido em 1972 no Memorial Battelle Institute, em Genebra, como parte do Programa de Ciência e Assuntos Humanos por Gabus e Fontela (Tsai & Chou, 2009). Esse método permite a avaliação estruturada das relações de causa e efeito entre critérios, analisando sua dependência (Zhang et al., 2019).

Para lidar com incertezas e imprecisões nos julgamentos de tomada de decisão, conjuntos fuzzy foram incorporados ao DEMATEL (Mavi & Standing, 2018). O fuzzy DEMATEL tem sido utilizado em diversos estudos para avaliar barreiras à adoção de novas tecnologias, mudanças de paradigma ou melhorias de processos (Farooque, Jain, Zhang, & Li, 2020; Feldmann, Birkel, & Hartmann, 2022).

Números fuzzy triangulares são frequentemente usados para representar termos linguísticos devido à sua simplicidade e eficiência computacional. Nesse tipo de representação, a função de pertinência definida pela Eq. (1) tem um valor máximo de 1 quando  $x$  é igual a  $m$  (Osiro, Lima-Junior, & Carpinetti, 2013).

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq l \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{x-r}{m-r}, & m \leq x \leq r \\ 0, & x \geq r \end{cases} \quad (1)$$

As operações básicas envolvendo números fuzzy triangulares podem ser representadas usando as Eqs. (2) a (6), onde  $\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, r_1)$  e  $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, r_2)$  são números fuzzy triangulares, e  $k$  é uma constante (Mavi & Standing, 2018; Zhang et al., 2019).

$$(l_1, m_1, r_1) \oplus (l_2, m_2, r_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, r_1 + r_2) \quad (2)$$

$$(l_1, m_1, r_1) \ominus (l_2, m_2, r_2) = (l_1 - r_2, m_1 - m_2, r_1 - l_2) \quad (3)$$

$$(l_1, m_1, r_1) \otimes (l_2, m_2, r_2) = (l_1 l_2, m_1 m_2, r_1 r_2) \quad (4)$$

$$k \cdot (l_1, m_1, r_1) = (k \cdot l_1, k \cdot m_1, k \cdot r_1) \quad (5)$$

$$(l_1, m_1, r_1)^{-1} = \left(\frac{1}{l_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{r_1}\right) \quad (6)$$

O método fuzzy DEMATEL tem sido aplicado em pesquisas semelhantes ao objetivo deste estudo, pois proporciona um tratamento mais adequado da incerteza e imprecisão das avaliações dos especialistas por meio do uso da lógica fuzzy. Negash et al. (2021) aplicaram o fuzzy DEMATEL para identificar barreiras regulatórias na gestão sustentável de resíduos de construção e demolição (CDW) na Somalilândia, enquanto Zhang et al. (2019) utilizaram o método para abordar barreiras à gestão inteligente de resíduos na economia circular da China. Mavi e Standing (2018) também usaram o fuzzy DEMATEL para analisar fatores críticos de sucesso na gestão de projetos de construção sustentável.

Para aplicar o fuzzy DEMATEL nesta pesquisa, foi empregada uma sequência de seis etapas baseada na metodologia de Mavi e Standing (2018). Na etapa 1, as  $n$  barreiras foram organizadas em um formato de matriz  $[n \times n]$ . Para analisar a influência das barreiras na redução da geração de RCD em canteiros de obras comerciais de médio porte no Brasil, os gestores de construção foram solicitados a avaliar a pergunta "Qual é a influência da barreira  $i$  sobre a barreira  $j$ ?", utilizando variáveis linguísticas para expressar diferentes graus de

influência com base em uma escala de termos linguísticos. Números triangulares  $\tilde{z}_{ij} = (l, m, r)$ , onde  $l$  representa o limite inferior do intervalo,  $m$  o valor característico mais provável, e  $r$  o limite superior, foram utilizados para incorporar a lógica fuzzy, conforme mostrado na Tabela 1.

**Tabela 1**

*Termos linguísticos para avaliar as relações de influência entre os critérios.*

Termos Linguísticos	Abreviação	Número Fuzzy Triangular		
		$l$	$m$	$r$
Sem Influência	SI	0,00	0,00	0,25
Muito baixa influência	MB	0,00	0,25	0,50
Baixa influência	BI	0,25	0,50	0,75
Alta influência	AI	0,50	0,75	1,00
Muito alta influência	MA	0,75	1,00	1,00

Fonte: os autores.

Cada gestor de construção avaliou as relações de influência entre as barreiras, e seus julgamentos foram utilizados para construir uma matriz  $\tilde{Z}^k$  [ $n \times n$ ], também conhecida como matriz de relação direta. As  $p$  matrizes  $\tilde{Z}^k$  foram combinadas usando as Eqs. (2) e (5) para obter a matriz de relação direta média  $\tilde{Z}$ . A matriz inicial  $\tilde{Z}$  foi então transformada na matriz normalizada  $\tilde{X}$  [ $n \times n$ ] por meio das Eqs. (7) e (8).

$$S = \max_{1 \leq i \leq n} (\sum_{j=1}^n \tilde{r}_{ij}) \quad (7)$$

$$\tilde{X}_{ij} = \frac{\tilde{z}_{ij}}{S} = \left( \frac{l_{ij}}{S}, \frac{m_{ij}}{S}, \frac{r_{ij}}{S} \right) \quad (8)$$

A Etapa 2 consiste em obter a matriz de relação total  $\tilde{T}$  usando as Eqs. (9) a (12).

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} \tilde{t}_{11} & \cdots & \tilde{t}_{1n} \\ \tilde{t}_{n1} & \cdots & \tilde{t}_{nn} \end{bmatrix}, \text{ where } \tilde{t}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, r_{ij}) \quad (9)$$

$$\text{matriz } [l_{ij}] = X_l x (I - X_l)^{-1} \quad (10)$$

$$\text{matriz } [m_{ij}] = X_m x (I - X_m)^{-1} \quad (11)$$

$$\text{matriz } [r_{ij}] = X_r x (I - X_r)^{-1} \quad (12)$$

A Etapa 3 é a desfuzzificação dos números fuzzy triangulares. O centro de área  $t$  de um número fuzzy triangular é calculado pela Eq. (13).

$$t = \frac{(r-l)+(m-l)}{3} + l \quad (13)$$

A Etapa 4 envolve a soma das linhas e colunas da matriz desfuzzificada. As influências diretas e indiretas da barreira  $i$  sobre as demais barreiras são determinadas pela Eq. (14). Da mesma forma, a Eq. (15) é utilizada para identificar as influências que a barreira  $j$  recebe de outras barreiras.

$$D_i = \sum_{j=1}^n t_j \quad (14)$$

$$R_j = \sum_{i=1}^n t_i \quad (15)$$

A Etapa 5 envolve a geração do diagrama causal com os resultados da etapa anterior, permitindo a análise das prioridades e das relações de influência entre as barreiras. A importância de uma barreira é determinada pela Eq. (16), e o grau de influência da barreira é determinado pela Eq. (17). O diagrama causal apresenta os valores  $D_i + R_i$  no eixo horizontal e os valores  $D_i - R_i$  no eixo vertical. Em geral, um valor positivo indica que a barreira em questão influencia as outras, enquanto um valor negativo indica que a barreira é influenciada pelas demais.

$$D_i + R_i \quad (16)$$

$$D_i - R_i \quad (17)$$

Na última etapa, Etapa 6, os pesquisadores realizam uma análise geral dos resultados obtidos nas etapas anteriores. Isso inclui a análise das relações gerais de importância no eixo  $D + R$  e da influência no eixo  $D - R$ . Além disso, a identificação das relações de influência direta mais significativas no diagrama causal é feita com base em valores superiores a um valor de limiar na matriz de relação total desfuzzificada  $T$ , seguindo a metodologia de Zhang et al. (2019). Para identificar as relações mais fortes, este trabalho define um valor de limiar como

valores acima de 1,5 desvios padrão da média da matriz de relação total (T), consistente com estudos anteriores de Farooque et al. (2020) e Li e Tzeng (2009).

O diagrama causal pode ser dividido em quatro grupos distintos, conforme descrito por Hwang, Hsiao, Chen e Chern (2016) e Chien, Wu e Huang (2014). Os grupos no diagrama causal são ilustrados na Figura I apresentada no material suplementar. Esses grupos são caracterizados por:

**Grupo I – Fatores Centrais:** Dada sua alta proeminência e forte relação, esses fatores devem ser classificados como alvo prioritário.

**Grupo II – Fatores de Impulso:** Com baixa proeminência e alta relação, esses fatores podem ser vistos como doadores autônomos.

**Grupo III – Fatores Independentes:** Com baixa proeminência e baixa relação, também apresentam pouca interação com outros fatores, portanto, podem ser considerados aceitáveis em situações ordinárias.

**Grupo IV – Fatores de Impacto:** Com alta proeminência e baixa relação, esses fatores devem ser geridos, mas não melhorados diretamente. Devido aos seus altos níveis de interação com outros fatores, os fatores causais (Grupos I e II) podem ser usados para gerar efeitos de feedback.

Para coletar dados para o fuzzy DEMATEL, foi elaborado um questionário padronizado, composto por dois segmentos. O primeiro segmento é dedicado à captura dos dados profissionais dos especialistas, para fins informativos apenas, sem interferir na aplicação do método proposto. O segundo segmento contém uma matriz  $[n \times n]$  para inserir dados de comparação entre barreiras, o que constitui a Etapa 1 dentro da metodologia fuzzy DEMATEL. A validação rigorosa das respostas de cada especialista foi garantida por meio da execução abrangente de todas as etapas metodológicas, culminando na construção do diagrama causal. Esta abordagem meticulosa para a avaliação dos dados individuais deve aprimorar a consistência e a confiabilidade dos resultados médios derivados de todos os participantes.

## Resultados e Discussão

### Lista de Barreiras

Foram identificadas 14 barreiras nos 23 artigos selecionados na SLR e classificadas em três categorias: técnica, econômica e legal. Esta categorização é baseada no estudo apresentado na seção 2. A Tabela 2 apresenta as oito barreiras técnicas para a redução de RCD.

### Tabela 2

#### Barreiras técnicas para a redução de RCD.

Código	Barreira	Referências	Número de artigos
B1	Falta de um projeto bem desenvolvido e coordenado	(Giorgi et al., 2022); (Condotta & Zatta, 2021); (Negash et al., 2021); (Spišáková et al., 2021); (Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020); (Pellegrini et al., 2020); (Low et al., 2020); (Mawed et al., 2020); (Vidyasekar & Selvan, 2019); (Liyantage et al., 2019); (Narcis et al., 2019); (Mahpour, 2018); (Udawatta et al., 2018); (Ling & Nguyen, 2013); (de Souza Campos et al., 2013)	15
B2	Mudanças de design solicitadas pelo cliente	(Spišáková et al., 2021); (Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020); (Pellegrini et al., 2020); (Mawed et al., 2020); (Liyantage et al., 2019); (Narcis et al., 2019)	6
B3	Manejo inadequado durante a recepção de materiais	(Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020); (Low et al., 2020); (Mawed et al., 2020); (Liyantage et al., 2019); (Narcis et al., 2019)	5
B4	Armazenamento inadequado de materiais	(Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020); (Mawed et al., 2020); (Narcis et al., 2019)	3
B5	Má qualidade dos materiais de construção	(Spišáková et al., 2021); (Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020); (Low et al., 2020); (Ratnasabapathy et al., 2021); (Mawed et al., 2020); (Liyantage et al., 2019); (Narcis et al., 2019); (Mahpour, 2018)	8
B6	Falta de planejamento e gestão no canteiro de obras	(Liu et al., 2021); (Negash et al., 2021); (Bao et al., 2020); (Spišáková et al., 2021); (Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020); (Pellegrini et al., 2020); (Low et al., 2020); (Bailey et al., 2020); (Ratnasabapathy et al., 2021); (Mawed et al., 2020); (Vidyasekar & Selvan, 2019); (Liyantage et al., 2019); (Narcis et al., 2019); (Mahpour, 2018); (Udawatta et al., 2018); (Owolana & Booth, 2016); (Ling & Nguyen, 2013)	17
B7	Falta de treinamento operacional e educação ambiental	(Yu et al., 2021); (Spišáková et al., 2021); (Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020); (Pellegrini et al., 2020); (Low et al., 2020); (Bailey et al., 2020); (Ratnasabapathy et al., 2021); (Mawed et al., 2020); (Vidyasekar & Selvan, 2019); (Liyantage et al., 2019); (Narcis et al., 2019); (Udawatta et al., 2018); (Owolana & Booth, 2016); (Ling & Nguyen, 2013); (Giorgi et al., 2022); (Liu et al., 2021); (Mahpour, 2018); (de Souza Campos et al., 2013).	18
B8	Questões climáticas	(Mawed et al., 2020); (Narcis et al., 2019)	2

Fonte: os autores.

A falta de um projeto bem desenvolvido e coordenado significa a ausência de um



projeto completo, com todos os elementos e detalhes necessários para sua execução. Suas informações devem ser suficientes para o cumprimento adequado de todas as etapas da obra, de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e com a Lei 8.666 de 21 de junho de 1993 (Brasil, 1993). A falta desses requisitos mínimos de detalhamento nos projetos gera dúvidas e incertezas que resultam em erros de execução, os quais, por sua vez, geram retrabalho e consequente geração de RCD (Ratnasabapathy et al., 2021; Olanrewaju e Ogunmakinde, 2020; Pellegrini et al., 2020).

Mudanças de design solicitadas pelo cliente referem-se às incertezas e modificações solicitadas pela parte contratante que geram atrasos, retrabalho e consequente geração de RCD (Olanrewaju e Ogunmakinde, 2020; Mawed et al., 2020).

O manejo inadequado durante a recepção de materiais refere-se ao manejo impróprio por parte dos funcionários durante a recepção e movimentação. Perdas durante o descarregamento de materiais podem ocorrer devido à falta de equipamentos ideais (por exemplo, empilhadeiras) e mão de obra insuficiente durante o descarregamento (Olanrewaju e Ogunmakinde, 2020; Mawed et al., 2020).

Armazenamento inadequado de materiais refere-se a práticas ruins de manejo e controle dos materiais no canteiro de obras, o que inclui o armazenamento de materiais em locais compatíveis com suas especificações (Ling e Nguyen, 2013). Um local bem definido com condições de armazenamento adequadas para qualquer tipo de material pode trazer praticidade e economia de custos, além de prevenir perdas no armazenamento de materiais (Olanrewaju e Ogunmakinde, 2020; Mawed et al., 2020; Narcis et al., 2019).

Má qualidade dos materiais de construção refere-se ao uso de materiais com especificações e procedência inadequadas para atender aos requisitos do projeto. A aquisição de materiais de baixa qualidade ou sem procedência pode resultar em consumo excessivo na execução, baixa durabilidade e baixo rendimento dos materiais (Olanrewaju e Ogunmakinde, 2020; Mawed et al., 2020; Narcis et al., 2019).



Falta de planejamento e gestão no canteiro de obras refere-se a práticas de gestão inadequadas integradas a todas as etapas do projeto. Um planejamento e gestão adequados podem reduzir a geração de resíduos, com ações preventivas por parte da equipe de gestão capazes de evitar retrabalho, correções e substituição de materiais com o mesmo valor técnico, além de possibilitar um menor impacto ambiental (Olanrewaju e Ogunmakinde, 2020; Negash et al., 2021; Spišáková et al., 2021). Um canteiro de obras planejado inclui uma área para triagem e segregação dos RCD (Ratnasabapathy et al., 2021; Negash et al., 2021).

A falta de treinamento operacional e educação ambiental na empresa refere-se à baixa qualificação da mão de obra que dificulta a eficiência da gestão de RCD (Ling e Nguyen, 2013). Uma equipe bem treinada e motivada pode evitar perdas durante a execução do projeto de construção civil, com redução de negligência, retrabalho ou improdutividade (Ratnasabapathy et al., 2021).

Questões climáticas referem-se às condições meteorológicas imprevisíveis e incontroláveis que podem resultar em perdas (Mawed et al., 2020; Narcis et al., 2019).

A segunda classificação das barreiras foi econômica. A Tabela 3 mostra as três barreiras econômicas para a redução de RCD.

**Tabela 3***Barreiras econômicas para a redução de RCD*

<b>Código</b>	<b>Barreira</b>	<b>Referências</b>	<b>Número de artigos</b>
B9	Falta de recursos financeiros	(Negash et al., 2021); (Spišáková et al., 2021); (Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020); (Bailey et al., 2020); (Ratnasabapathy et al., 2021); (Mawed et al., 2020); (Ling & Nguyen, 2013); (de Souza Campos et al., 2013)	8
B10	Falta de retorno econômico do reciclagem de RCD	(Giorgi et al., 2022); (Yu et al., 2021); (Condotta & Zatta, 2021); (Negash et al., 2021); (Diotti et al., 2021); (Bao et al., 2020); (Spišáková et al., 2021); (Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020); (Low et al., 2020); (Bailey et al., 2020); (Ratnasabapathy et al., 2021); (Mawed et al., 2020); (Liyanage et al., 2019); (Mahpour, 2018); (Udawatta et al., 2018); (Owolana & Booth, 2016)	16
B11	Custo de implementação de novas tecnologias	(Gagnon et al., 2022); (Giorgi et al., 2022); (Yu et al., 2021); (Liu et al., 2021); (Condotta & Zatta, 2021); (Diotti et al., 2021); (Bao et al., 2020); (Spišáková et al., 2021); (Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020); (Low et al., 2020); (Bailey et al., 2020); (Ratnasabapathy et al., 2021); (Mawed et al., 2020); (Vidyasekar & Selvan, 2019); (Liyanage et al., 2019); (Mahpour, 2018); (Udawatta et al., 2018); (Owolana & Booth, 2016); (de Souza Campos et al., 2013)	19

Fonte: os autores.

A falta de recursos financeiros refere-se à ausência de fundos suficientes para a execução de todos os serviços, incluindo os acréscimos contratuais planejados (Condotta & Zatta, 2021; Spišáková et al., 2021). A disponibilidade de recursos financeiros também determina como a equipe utilizará equipamentos e ferramentas que podem agregar valor à construção, contribuindo para a qualidade e, conseqüentemente, para a redução dos resíduos gerados (Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020; Negash et al., 2021).

A falta de retorno econômico da reciclagem de RCD refere-se à aceitação ainda imatura do mercado para os subprodutos originados da reciclagem ou beneficiamento, que poderiam gerar retornos financeiros para as empresas que aplicam a gestão no canteiro de obras. Por exemplo, o uso de resíduos de serragem para a produção de Painel de Fibra de Média Densidade (MDF) ou para a produção de carvão (Gagnon et al., 2022). No entanto, as incertezas na busca por um mercado consumidor para esses produtos reciclados podem gerar

insegurança para os gestores (Spišáková et al., 2021; Liu et al., 2021).

O custo de implementação de novas tecnologias refere-se à prática de aplicar materiais e/ou equipamentos inovadores na construção, o que pode reduzir a quantidade de resíduos gerados. No entanto, algumas barreiras culturais e o alto custo de implementação no canteiro podem afetar o uso dessas tecnologias (Giorgi et al., 2022; Gagnon et al., 2022). As tecnologias implementadas no canteiro de obras, como equipamentos para reciclagem de RCD, também contribuem para a redução dos resíduos gerados (Liu et al., 2021; Ratnasabapathy et al., 2021). O desenvolvimento de tecnologias e pesquisas também é essencial para manter o desempenho esperado dos materiais reciclados em comparação com o material original. Além disso, sem os testes de eficiência adequados do material reciclado, engenheiros e arquitetos responsáveis não se comprometem a utilizá-los na construção (Condotta & Zatta, 2021; Giorgi et al., 2022).

A terceira classificação de barreiras foi ambiental. A Tabela 4 apresenta as três barreiras ambientais para a redução de RCD.

#### Tabela 4

##### Barreiras legais para a redução de RCD

Código	Barreira	Referências	Número de artigos
B12	Falta de requisitos ambientais no contrato	(Spišáková et al., 2021); (Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020); (Pellegrini et al., 2020); (Ratnasabapathy et al., 2021); (Owolana & Booth, 2016); (Ling & Nguyen, 2013)	6
B13	Falta de legislação e incentivo governamental	(Giorgi et al., 2022); (Liu et al., 2021); (Diotti et al., 2021); (Negash et al., 2021); (Spišáková et al., 2021); (Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020); (Pellegrini et al., 2020); (Bailey et al., 2020); (Ratnasabapathy et al., 2021); (Maekawa et al., 2013); (Mawed et al., 2020); (Vidyasekar & Selvan, 2019); (Liyanaage et al., 2019); (Narcis et al., 2019); (Ling & Nguyen, 2013); (Gagnon et al., 2022); (Yu et al., 2021); (Condotta & Zatta, 2021); (Bao et al., 2020); (Low et al., 2020); (Mahpour, 2018); (Udawatta et al., 2018); (Owolana & Booth, 2016);	23
B14	Falta de inspeção na construção	(Spišáková et al., 2021); (Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020); (Pellegrini et al., 2020); (Bailey et al., 2020); (Ratnasabapathy et al., 2021); (Mawed et al., 2020); (Liyanaage et al., 2019); (Mahpour, 2018)	8

Fonte: os autores.

A falta de requisitos ambientais no contrato refere-se à ausência de um contrato

legalmente fundamentado no que diz respeito aos aspectos ambientais, que obrigaria o gerente de construção a seguir fielmente práticas corretas para redução de resíduos, reutilização, reciclagem e/ou disposição final (Ratnasabapathy et al., 2021; Condotta & Zatta, 2021; Pellegrini et al., 2020). O contrato também pode impor um volume máximo de resíduos a ser gerado no canteiro de obras (Spišáková et al., 2021).

A falta de legislação e incentivos governamentais refere-se à ausência de aspectos legais eficazes que obriguem os gerentes e outros envolvidos na construção a adotar medidas mitigadoras para a redução de resíduos, e a instruir sobre a forma correta de gerenciamento eficiente dos resíduos de construção (Liu et al., 2021; Condotta & Zatta, 2021; Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020). A falta de ação governamental na fiscalização dessas leis prejudica o gerenciamento de RCD (Ling & Nguyen, 2013). Incentivos de políticas públicas podem estimular a redução de resíduos ao beneficiar empresas de construção que optam pela reutilização, reciclagem ou outras abordagens sustentáveis (Gagnon et al., 2022; Liu et al., 2021; Ratnasabapathy et al., 2021). O governo pode impor impostos e custos mais altos pelo uso de aterros, o que incentivaria a redução de RCD no canteiro de obras (Ratnasabapathy et al., 2021; Negash et al., 2021).

A falta de inspeção do canteiro de obras refere-se à ausência de supervisão responsável, que obrigaria o gerente de construção a manter um nível mínimo de qualidade, evitando possíveis retrabalhos ou desperdícios (Liu et al., 2021; Negash et al., 2021; Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020; Liyanage et al., 2019).

Os obstáculos à redução de RCD nos canteiros de obras, identificados nos 23 artigos da SLR, foram classificados em três categorias: Técnico, Econômico e Legal. Dos 14 obstáculos identificados, oito foram legais, três foram econômicos e três foram técnicos. A frequência de citações desses obstáculos em estudos realizados nos últimos dez anos, conforme mostrado na última coluna das Tabelas 2, 3 e 4, é um indicador de sua respectiva relevância na literatura.



Entre os obstáculos técnicos, os mais citados foram a falta de treinamento operacional e educação ambiental e a falta de planejamento e gerenciamento no canteiro de obras, com 18 e 17 citações, respectivamente. Isso indica uma maior preocupação com os aspectos de gerenciamento e treinamento de pessoal no canteiro de obras em comparação com aqueles relacionados à fase logística de movimentação e armazenamento de materiais, uma vez que os menos citados foram armazenamento inadequado de materiais (3) e problemas climáticos (2).

Em termos de obstáculos econômicos, o custo de implementação de novas tecnologias (19) foi o mais citado. Isso indica a importância de melhorar a competitividade econômica de alternativas mais sustentáveis em comparação com as tecnologias tradicionais. A falta de recursos financeiros foi o obstáculo com o menor número de citações (8) nesta categoria.

Entre os obstáculos legais, a falta de legislação e incentivos governamentais (23) foi o mais citado, sendo mencionado em todos os artigos selecionados na SLR. Esse resultado mostra a importância das autoridades públicas na promoção da redução da geração e liberação de resíduos em canteiros de obras. A falta de requisitos ambientais no contrato (6) foi o obstáculo com o menor número de citações.

### Resultados do Fuzzy Dematel

A análise das barreiras levantadas pela revisão sistemática da literatura (SLR) foi realizada por gerentes de construção com formação em engenharia civil, que trabalharam em canteiros de obras comerciais no Brasil. A amostra inicial consistiu em 22 gerentes de construção especializados que responderam ao questionário. Após a verificação, dois participantes que retornaram a matriz  $[n \times n]$  com respostas incompletas e um com respostas contraditórias foram excluídos. As características dos 19 especialistas cujas respostas foram consideradas no estudo estão apresentadas na Tabela I do material suplementar.

Seguindo o passo 1 da aplicação do DEMATEL fuzzy, os especialistas foram solicitados a avaliar o impacto de uma barreira sobre outra, empregando os termos linguísticos descritos na Tabela 1. A lista de barreiras pode ser vista da Tabela 2 à Tabela 4. A Tabela 5 mostra a

avaliação pareada realizada pelo especialista 1. Por exemplo, o especialista 1 avaliou que a Barreira 1 (Falta de um projeto bem desenvolvido e coordenado) tem uma influência Muito Alta sobre a Barreira 2 (Mudanças de projeto solicitadas pelo cliente). As avaliações linguísticas realizadas pelos outros especialistas estão apresentadas nas tabelas II a XIX do material suplementar.

**Tabela 5**

*Avaliação linguística pareada pelo especialista 1*

<b>E1</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>	<b>B5</b>	<b>B6</b>	<b>B7</b>	<b>B8</b>	<b>B9</b>	<b>B10</b>	<b>B11</b>	<b>B12</b>	<b>B13</b>	<b>B14</b>
<b>B1</b>	-	MA	BI	AI	AI	MA	BI	SI	AI	AI	MA	MB	MB	AI
<b>B2</b>	BI	-	MB	MB	BI	AI	MB	SI	AI	AI	MA	AI	SI	SI
<b>B3</b>	SI	MB	-	MA	SI	SI	SI	SI	SI	MA	AI	MB	SI	SI
<b>B4</b>	SI	BI	AI	-	SI	SI	SI	BI	BI	MA	AI	MB	SI	SI
<b>B5</b>	SI	AI	SI	SI	-	SI	SI	SI	SI	AI	SI	MB	SI	SI
<b>B6</b>	MA	MA	MA	MA	AI	-	AI	SI	AI	AI	BI	MA	AI	MA
<b>B7</b>	MB	BI	MA	MA	AI	AI	-	SI	AI	BI	MA	AI	MA	MA
<b>B8</b>	BI	AI	BI	AI	MB	SI	SI	-	AI	BI	MB	BI	SI	SI
<b>B9</b>	H	MA	BI	BI	MA	MB	AI	SI	-	BI	MA	AI	MB	AI
<b>B10</b>	MB	AI	SI	SI	AI	SI	MB	SI	BI	-	AI	MB	BI	MB
<b>B11</b>	AI	MA	MB	MB	AI	MB	AI	SI	MA	AI	-	MA	BI	MB
<b>B12</b>	MA	SI	AI	MA	MB	MA	AI	SI	BI	AI	BI	-	SI	MB
<b>B13</b>	AI	MB	AI	AI	MB	AI	AI	SI	SI	AI	BI	MA	-	MA
<b>B14</b>	BI	SI	MA	MA	MB	BI	MB	SI	BI	BI	BI	MB	AI	-

Fonte: os autores.

Em seguida, as avaliações dos 19 especialistas foram convertidas em números fuzzy triangulares com base na Tabela 1. A Tabela 6 mostra as avaliações do especialista 1 traduzidas em números fuzzy triangulares. As tabelas convertidas em números fuzzy triangulares para os outros especialistas (Tabelas XX a XXXVII) estão apresentadas no material suplementar.



Tabela 6

Avaliação linguística pareada do especialista 1 convertida em números fuzzy triangulares

E1	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B1	(0 0 0)	(0,75 1 1)	(0,25 0,5 0,75)	(0,5 0,75 1)	(0,5 0,75 1)	(0,75 1 1)	(0,25 0,5 0,75)	(0 0 0,25)	(0,5 0,75 1)	(0,5 0,75 1)	(0,75 1 1)	(0 0,25 0,5)	(0 0,25 0,5)	(0,5 0,75 1)
B2	(0,25 0,5 0,75)	(0 0 0)	(0 0,25 0,5)	(0 0,25 0,5)	(0,25 0,5 0,75)	(0,5 0,75 1)	(0 0,25 0,5)	(0 0 0,25)	(0,5 0,75 1)	(0,5 0,75 1)	(0,75 1 1)	(0,5 0,75 1)	(0 0 0,25)	(0 0 0,25)
B3	(0 0 0,25)	(0 0,25 0,5)	(0 0 0)	(0,75 1 1)	(0 0 0,25)	(0 0 0,25)	(0 0 0,25)	(0 0 0,25)	(0 0 0,25)	(0,75 1 1)	(0,5 0,75 1)	(0 0,25 0,5)	(0 0 0,25)	(0 0 0,25)
B4	(0 0 0,25)	(0,25 0,5 0,75)	(0,5 0,75 1)	(0 0 0)	(0 0 0,25)	(0 0 0,25)	(0 0 0,25)	(0,25 0,5 0,75)	(0,25 0,5 0,75)	(0,75 1 1)	(0,5 0,75 1)	(0 0,25 0,5)	(0 0 0,25)	(0 0 0,25)
B5	(0 0 0,25)	(0,5 0,75 1)	(0 0 0,25)	(0 0 0,25)	(0 0 0)	(0 0 0,25)	(0 0 0,25)	(0 0 0,25)	(0 0 0,25)	(0,5 0,75 1)	(0 0 0,25)	(0 0,25 0,5)	(0 0 0,25)	(0 0 0,25)
B6	(0,75 1 1)	(0,75 1 1)	(0,75 1 1)	(0,75 1 1)	(0,5 0,75 1)	(0 0 0)	(0,5 0,75 1)	(0 0 0,25)	(0,5 0,75 1)	(0,5 0,75 1)	(0,25 0,5 0,75)	(0,75 1 1)	(0,5 0,75 1)	(0,75 1 1)
B7	(0 0,25 0,5)	(0,25 0,5 0,75)	(0,75 1 1)	(0,75 1 1)	(0,5 0,75 1)	(0,5 0,75 1)	(0 0 0)	(0 0 0,25)	(0,5 0,75 1)	(0,25 0,5 0,75)	(0,75 1 1)	(0,5 0,75 1)	(0,75 1 1)	(0,75 1 1)
B8	(0,25 0,5 0,75)	(0,5 0,75 1)	(0,25 0,5 0,75)	(0,5 0,75 1)	(0 0,25 0,5)	(0 0 0,25)	(0 0 0,25)	(0 0 0)	(0,5 0,75 1)	(0,25 0,5 0,75)	(0 0,25 0,5)	(0,25 0,5 0,75)	(0 0 0,25)	(0 0 0,25)
B9	(0,5 0,75 1)	(0,75 1 1)	(0,25 0,5 0,75)	(0,25 0,5 0,75)	(0,75 1 1)	(0 0,25 0,5)	(0,5 0,75 1)	(0 0 0,25)	(0 0 0)	(0,25 0,5 0,75)	(0,75 1 1)	(0,5 0,75 1)	(0 0,25 0,5)	(0,5 0,75 1)
B10	(0 0,25 0,5)	(0,5 0,75 1)	(0 0 0,25)	(0 0 0,25)	(0,5 0,75 1)	(0 0 0,25)	(0 0,25 0,5)	(0 0 0,25)	(0,25 0,5 0,75)	(0 0 0)	(0,5 0,75 1)	(0 0,25 0,5)	(0,25 0,5 0,75)	(0 0,25 0,5)
B11	(0,5 0,75 1)	(0,75 1 1)	(0 0,25 0,5)	(0 0,25 0,5)	(0,5 0,75 1)	(0 0,25 0,5)	(0,5 0,75 1)	(0 0 0,25)	(0,75 1 1)	(0,5 0,75 1)	(0 0 0)	(0,75 1 1)	(0,25 0,5 0,75)	(0 0,25 0,5)
B12	(0,75 1 1)	(0 0 0,25)	(0,5 0,75 1)	(0,75 1 1)	(0 0,25 0,5)	(0,75 1 1)	(0,5 0,75 1)	(0 0 0,25)	(0,25 0,5 0,75)	(0,5 0,75 1)	(0,25 0,5 0,75)	(0 0 0)	(0 0 0,25)	(0 0,25 0,5)
B13	(0,5 0,75 1)	(0 0,25 0,5)	(0,5 0,75 1)	(0,5 0,75 1)	(0 0,25 0,5)	(0,5 0,75 1)	(0,5 0,75 1)	(0 0 0,25)	(0 0 0,25)	(0,5 0,75 1)	(0,25 0,5 0,75)	(0,75 1 1)	(0 0 0)	(0,75 1 1)
B14	(0,25 0,5 0,75)	(0 0 0,25)	(0,75 1 1)	(0,75 1 1)	(0 0,25 0,5)	(0,25 0,5 0,75)	(0 0,25 0,5)	(0 0 0,25)	(0,25 0,5 0,75)	(0,25 0,5 0,75)	(0,25 0,5 0,75)	(0 0,25 0,5)	(0,5 0,75 1)	(0 0 0)

Fonte: os autores.





As 19 tabelas de avaliações pareadas dos especialistas convertidas em números fuzzy triangulares foram agregadas usando as Eq. (2) e Eq. (5), resultando na matriz de relação direta média  $\tilde{Z}$ , ilustrada na Tabela 7. Em seguida, as Eq. (7) e (8) foram usadas para normalizar a matriz  $\tilde{Z}$  e obter a matriz normalizada  $\tilde{X}$ , representada na Tabela 8.

No passo 2, a matriz  $\tilde{T}$  (apresentada na Tabela 9) foi obtida a partir da matriz normalizada  $\tilde{X}$  usando as Eq. (9) a (12). No passo 3, a matriz  $\tilde{T}$  foi desfuzzificada usando o método do centro de área, Eq. (13), para obter a matriz  $T$ , conforme mostrado na Tabela 10.

As colunas D e R na Tabela 10 apresentam os resultados do passo 4: os efeitos totais exercidos por cada barreira  $D_i$ , calculados com a Eq. (14), e os efeitos totais recebidos por cada barreira  $R_i$  calculados com a Eq. (15). As últimas colunas mostram os valores obtidos no passo 5, os valores de  $D_i + R_i$ , Eq. (16), e  $D_i - R_i$ , Eq. (17), que são usados para a determinação do diagrama causal, mostrado na Figura 2. Este diagrama também permite a análise das barreiras mais importantes, aquelas localizadas mais à direita; e das barreiras mais influentes, aquelas localizadas mais acima.

Tabela 7

Matriz de relação direta média  $\tilde{Z}$ 

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B1	(0, 0, 0)	(0.67, 0.92, 1)	(0.16, 0.32, 0.55)	(0.29, 0.5, 0.74)	(0.29, 0.51, 0.74)	(0.68, 0.93, 0.99)	(0.41, 0.59, 0.75)	(0.04, 0.11, 0.36)	(0.59, 0.82, 0.92)	(0.24, 0.43, 0.67)	(0.47, 0.7, 0.88)	(0.38, 0.57, 0.74)	(0.33, 0.51, 0.7)	(0.55, 0.76, 0.86)
B2	(0.67, 0.92, 0.99)	(0, 0, 0)	(0.33, 0.53, 0.7)	(0.38, 0.58, 0.74)	(0.26, 0.46, 0.67)	(0.61, 0.84, 0.95)	(0.36, 0.54, 0.7)	(0.13, 0.28, 0.51)	(0.61, 0.84, 0.95)	(0.21, 0.39, 0.62)	(0.46, 0.64, 0.79)	(0.45, 0.66, 0.83)	(0.24, 0.39, 0.61)	(0.49, 0.68, 0.8)
B3	(0.28, 0.42, 0.63)	(0.26, 0.42, 0.63)	(0, 0, 0)	(0.62, 0.87, 0.97)	(0.34, 0.57, 0.78)	(0.5, 0.72, 0.86)	(0.53, 0.75, 0.89)	(0.32, 0.53, 0.75)	(0.36, 0.55, 0.76)	(0.25, 0.45, 0.66)	(0.25, 0.46, 0.68)	(0.28, 0.47, 0.68)	(0.22, 0.37, 0.59)	(0.47, 0.7, 0.88)
B4	(0.29, 0.46, 0.67)	(0.3, 0.47, 0.7)	(0.57, 0.8, 0.95)	(0, 0, 0)	(0.39, 0.62, 0.79)	(0.59, 0.83, 0.95)	(0.54, 0.76, 0.89)	(0.38, 0.58, 0.76)	(0.46, 0.68, 0.83)	(0.34, 0.57, 0.78)	(0.26, 0.49, 0.72)	(0.3, 0.5, 0.71)	(0.29, 0.46, 0.66)	(0.53, 0.75, 0.89)
B5	(0.33, 0.51, 0.74)	(0.29, 0.47, 0.67)	(0.37, 0.58, 0.78)	(0.43, 0.63, 0.79)	(0, 0, 0)	(0.47, 0.68, 0.84)	(0.39, 0.59, 0.76)	(0.32, 0.49, 0.67)	(0.61, 0.82, 0.88)	(0.39, 0.64, 0.86)	(0.43, 0.62, 0.8)	(0.34, 0.54, 0.72)	(0.25, 0.42, 0.64)	(0.49, 0.68, 0.82)
B6	(0.62, 0.87, 0.96)	(0.61, 0.86, 0.96)	(0.62, 0.87, 0.97)	(0.62, 0.87, 0.97)	(0.54, 0.79, 0.96)	(0, 0, 0)	(0.5, 0.74, 0.88)	(0.24, 0.39, 0.61)	(0.57, 0.8, 0.92)	(0.33, 0.54, 0.75)	(0.41, 0.63, 0.83)	(0.41, 0.62, 0.82)	(0.26, 0.46, 0.68)	(0.61, 0.82, 0.88)
B7	(0.36, 0.57, 0.75)	(0.29, 0.47, 0.68)	(0.63, 0.88, 0.99)	(0.61, 0.86, 0.96)	(0.38, 0.61, 0.79)	(0.58, 0.83, 0.97)	(0, 0, 0)	(0.14, 0.24, 0.47)	(0.5, 0.72, 0.87)	(0.38, 0.61, 0.78)	(0.51, 0.74, 0.89)	(0.37, 0.58, 0.76)	(0.32, 0.53, 0.72)	(0.46, 0.66, 0.79)
B8	(0.13, 0.24, 0.46)	(0.2, 0.36, 0.58)	(0.3, 0.49, 0.7)	(0.43, 0.63, 0.82)	(0.22, 0.39, 0.61)	(0.32, 0.49, 0.7)	(0.13, 0.22, 0.46)	(0, 0, 0)	(0.09, 0.2, 0.45)	(0.07, 0.17, 0.42)	(0.09, 0.21, 0.46)	(0.09, 0.18, 0.43)	(0.05, 0.11, 0.36)	(0.16, 0.26, 0.49)
B9	(0.59, 0.83, 0.95)	(0.57, 0.8, 0.93)	(0.42, 0.64, 0.84)	(0.45, 0.68, 0.86)	(0.64, 0.88, 0.96)	(0.57, 0.8, 0.92)	(0.61, 0.84, 0.96)	(0.12, 0.21, 0.45)	(0, 0, 0)	(0.42, 0.67, 0.88)	(0.67, 0.92, 0.99)	(0.41, 0.64, 0.84)	(0.29, 0.5, 0.71)	(0.5, 0.72, 0.87)
B10	(0.34, 0.55, 0.76)	(0.28, 0.45, 0.67)	(0.22, 0.39, 0.63)	(0.32, 0.5, 0.74)	(0.38, 0.61, 0.8)	(0.26, 0.42, 0.64)	(0.38, 0.59, 0.79)	(0.13, 0.25, 0.49)	(0.37, 0.59, 0.8)	(0, 0, 0)	(0.41, 0.63, 0.84)	(0.36, 0.57, 0.78)	(0.39, 0.62, 0.82)	(0.24, 0.43, 0.64)
B11	(0.39, 0.61, 0.84)	(0.37, 0.58, 0.79)	(0.3, 0.51, 0.71)	(0.38, 0.61, 0.82)	(0.5, 0.72, 0.88)	(0.5, 0.75, 0.91)	(0.54, 0.78, 0.91)	(0.12, 0.26, 0.49)	(0.61, 0.84, 0.93)	(0.47, 0.7, 0.87)	(0, 0, 0)	(0.38, 0.61, 0.8)	(0.36, 0.58, 0.82)	(0.29, 0.47, 0.68)
B12	(0.39, 0.59, 0.76)	(0.38, 0.57, 0.78)	(0.34, 0.57, 0.78)	(0.37, 0.55, 0.74)	(0.38, 0.61, 0.82)	(0.54, 0.79, 0.92)	(0.45, 0.7, 0.87)	(0.12, 0.25, 0.47)	(0.29, 0.51, 0.76)	(0.39, 0.62, 0.83)	(0.34, 0.58, 0.79)	(0, 0, 0)	(0.39, 0.59, 0.78)	(0.46, 0.67, 0.8)
B13	(0.39, 0.58, 0.78)	(0.28, 0.45, 0.68)	(0.37, 0.55, 0.75)	(0.36, 0.57, 0.76)	(0.37, 0.58, 0.78)	(0.46, 0.7, 0.88)	(0.49, 0.72, 0.89)	(0.18, 0.28, 0.49)	(0.25, 0.41, 0.66)	(0.45, 0.67, 0.86)	(0.39, 0.62, 0.84)	(0.51, 0.74, 0.86)	(0, 0, 0)	(0.51, 0.72, 0.84)
B14	(0.53, 0.72, 0.82)	(0.43, 0.63, 0.76)	(0.47, 0.68, 0.83)	(0.5, 0.71, 0.84)	(0.45, 0.68, 0.86)	(0.62, 0.86, 0.92)	(0.47, 0.7, 0.86)	(0.12, 0.22, 0.45)	(0.39, 0.61, 0.79)	(0.29, 0.49, 0.71)	(0.3, 0.5, 0.72)	(0.33, 0.55, 0.76)	(0.3, 0.49, 0.7)	(0, 0, 0)

Fonte: os autores

Table 8

Matriz normalizada  $\tilde{X}$ 

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B1	(0, 0, 0)	(0.06, 0.08, 0.09)	(0.01, 0.03, 0.05)	(0.03, 0.04, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.06, 0.08, 0.09)	(0.04, 0.05, 0.07)	(0, 0.01, 0.03)	(0.05, 0.07, 0.08)	(0.02, 0.04, 0.06)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.06)	(0.05, 0.07, 0.08)
B2	(0.06, 0.08, 0.09)	(0, 0, 0)	(0.03, 0.05, 0.06)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.02, 0.04, 0.06)	(0.05, 0.08, 0.08)	(0.03, 0.05, 0.06)	(0.01, 0.02, 0.05)	(0.05, 0.08, 0.08)	(0.02, 0.04, 0.06)	(0.04, 0.06, 0.07)	(0.04, 0.06, 0.07)	(0.02, 0.04, 0.05)	(0.04, 0.06, 0.07)
B3	(0.02, 0.04, 0.06)	(0.02, 0.04, 0.06)	(0, 0, 0)	(0.06, 0.08, 0.09)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.05, 0.07, 0.08)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.02, 0.04, 0.06)	(0.02, 0.04, 0.06)	(0.02, 0.04, 0.06)	(0.02, 0.03, 0.05)	(0.04, 0.06, 0.08)
B4	(0.03, 0.04, 0.06)	(0.03, 0.04, 0.06)	(0.05, 0.07, 0.08)	(0, 0, 0)	(0.04, 0.06, 0.07)	(0.05, 0.07, 0.08)	(0.05, 0.07, 0.08)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.04, 0.06, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.02, 0.04, 0.06)	(0.03, 0.04, 0.06)	(0.03, 0.04, 0.06)	(0.05, 0.07, 0.08)
B5	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.04, 0.06)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.04, 0.06, 0.07)	(0, 0, 0)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.04, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.04, 0.06)	(0.05, 0.07, 0.08)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.04, 0.06, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.06)	(0.02, 0.04, 0.06)	(0.04, 0.06, 0.07)
B6	(0.06, 0.08, 0.09)	(0.05, 0.08, 0.09)	(0.06, 0.08, 0.09)	(0.06, 0.08, 0.09)	(0.05, 0.07, 0.09)	(0, 0, 0)	(0.04, 0.07, 0.08)	(0.02, 0.04, 0.05)	(0.05, 0.07, 0.08)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.04, 0.06, 0.07)	(0.04, 0.06, 0.07)	(0.02, 0.04, 0.06)	(0.05, 0.07, 0.08)
B7	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.04, 0.06)	(0.06, 0.08, 0.09)	(0.05, 0.08, 0.09)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.05, 0.07, 0.09)	(0, 0, 0)	(0.01, 0.02, 0.04)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.05, 0.07, 0.08)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.06)	(0.04, 0.06, 0.07)
B8	(0.01, 0.02, 0.04)	(0.02, 0.03, 0.05)	(0.03, 0.04, 0.06)	(0.04, 0.06, 0.07)	(0.02, 0.04, 0.05)	(0.03, 0.04, 0.06)	(0.01, 0.02, 0.04)	(0, 0, 0)	(0.01, 0.02, 0.04)	(0.01, 0.02, 0.04)	(0.01, 0.02, 0.04)	(0.01, 0.02, 0.04)	(0, 0.01, 0.03)	(0.01, 0.02, 0.04)
B9	(0.05, 0.07, 0.08)	(0.05, 0.07, 0.08)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.06, 0.08, 0.09)	(0.05, 0.07, 0.08)	(0.05, 0.08, 0.09)	(0.01, 0.02, 0.04)	(0, 0, 0)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.06, 0.08, 0.09)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.03, 0.04, 0.06)	(0.04, 0.06, 0.08)
B10	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.02, 0.04, 0.06)	(0.02, 0.04, 0.06)	(0.03, 0.04, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.02, 0.04, 0.06)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.01, 0.02, 0.04)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0, 0, 0)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.04, 0.06, 0.07)	(0.02, 0.04, 0.06)
B11	(0.04, 0.05, 0.08)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.06)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.04, 0.07, 0.08)	(0.05, 0.07, 0.08)	(0.01, 0.02, 0.04)	(0.05, 0.08, 0.08)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0, 0, 0)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.04, 0.06)
B12	(0.04, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.05, 0.07, 0.08)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.01, 0.02, 0.04)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.04, 0.06, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0, 0, 0)	(0.04, 0.05, 0.07)	(0.04, 0.06, 0.07)
B13	(0.04, 0.05, 0.07)	(0.02, 0.04, 0.06)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.02, 0.02, 0.04)	(0.02, 0.04, 0.06)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.05, 0.07, 0.08)	(0, 0, 0)	(0.05, 0.06, 0.08)
B14	(0.05, 0.06, 0.07)	(0.04, 0.06, 0.07)	(0.04, 0.06, 0.07)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.06, 0.08, 0.08)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.01, 0.02, 0.04)	(0.04, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.04, 0.06)	(0.03, 0.04, 0.06)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.04, 0.06)	(0, 0, 0)

Fonte: os autores



Tabela 9

Matriz X

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B1	(0,03; 0,12; 0,57)	(0,09; 0,19; 0,64)	(0,04; 0,15; 0,62)	(0,06; 0,17; 0,66)	(0,06; 0,17; 0,65)	(0,1; 0,22; 0,72)	(0,07; 0,18; 0,66)	(0,02; 0,07; 0,43)	(0,09; 0,2; 0,67)	(0,05; 0,14; 0,6)	(0,07; 0,18; 0,65)	(0,06; 0,16; 0,61)	(0,05; 0,14; 0,56)	(0,08; 0,19; 0,65)
B2	(0,09; 0,2; 0,65)	(0,03; 0,12; 0,55)	(0,06; 0,16; 0,63)	(0,07; 0,18; 0,66)	(0,05; 0,16; 0,64)	(0,09; 0,22; 0,71)	(0,07; 0,18; 0,65)	(0,03; 0,09; 0,44)	(0,09; 0,2; 0,67)	(0,04; 0,14; 0,59)	(0,07; 0,17; 0,64)	(0,07; 0,17; 0,61)	(0,04; 0,13; 0,55)	(0,08; 0,19; 0,64)
B3	(0,05; 0,15; 0,61)	(0,05; 0,14; 0,6)	(0,03; 0,11; 0,56)	(0,08; 0,19; 0,67)	(0,06; 0,16; 0,64)	(0,08; 0,19; 0,69)	(0,08; 0,18; 0,66)	(0,04; 0,1; 0,45)	(0,06; 0,17; 0,64)	(0,04; 0,14; 0,59)	(0,05; 0,15; 0,62)	(0,05; 0,14; 0,59)	(0,04; 0,12; 0,54)	(0,07; 0,18; 0,64)
B4	(0,06; 0,16; 0,64)	(0,06; 0,16; 0,63)	(0,08; 0,19; 0,67)	(0,03; 0,13; 0,62)	(0,06; 0,18; 0,67)	(0,09; 0,21; 0,73)	(0,08; 0,19; 0,69)	(0,05; 0,11; 0,47)	(0,07; 0,19; 0,68)	(0,05; 0,16; 0,63)	(0,05; 0,16; 0,65)	(0,05; 0,15; 0,62)	(0,05; 0,13; 0,57)	(0,08; 0,19; 0,67)
B5	(0,06; 0,16; 0,63)	(0,05; 0,15; 0,61)	(0,06; 0,17; 0,63)	(0,07; 0,18; 0,66)	(0,03; 0,12; 0,58)	(0,08; 0,2; 0,7)	(0,07; 0,18; 0,66)	(0,04; 0,1; 0,45)	(0,08; 0,19; 0,66)	(0,06; 0,16; 0,62)	(0,07; 0,17; 0,64)	(0,06; 0,15; 0,61)	(0,04; 0,13; 0,55)	(0,07; 0,18; 0,64)
B6	(0,09; 0,21; 0,71)	(0,09; 0,21; 0,7)	(0,09; 0,21; 0,72)	(0,09; 0,22; 0,75)	(0,08; 0,21; 0,73)	(0,05; 0,17; 0,71)	(0,08; 0,21; 0,74)	(0,04; 0,11; 0,49)	(0,09; 0,22; 0,74)	(0,06; 0,17; 0,67)	(0,07; 0,19; 0,71)	(0,07; 0,18; 0,68)	(0,05; 0,15; 0,61)	(0,09; 0,22; 0,72)
B7	(0,06; 0,18; 0,66)	(0,06; 0,16; 0,64)	(0,09; 0,2; 0,68)	(0,09; 0,21; 0,71)	(0,07; 0,18; 0,68)	(0,09; 0,22; 0,75)	(0,04; 0,14; 0,63)	(0,03; 0,09; 0,46)	(0,08; 0,2; 0,69)	(0,06; 0,16; 0,64)	(0,08; 0,19; 0,68)	(0,06; 0,17; 0,64)	(0,05; 0,14; 0,58)	(0,08; 0,19; 0,67)
B8	(0,03; 0,08; 0,44)	(0,03; 0,09; 0,44)	(0,04; 0,1; 0,46)	(0,05; 0,12; 0,49)	(0,03; 0,1; 0,46)	(0,04; 0,12; 0,51)	(0,03; 0,09; 0,46)	(0,01; 0,03; 0,28)	(0,02; 0,08; 0,46)	(0,02; 0,07; 0,42)	(0,02; 0,08; 0,44)	(0,02; 0,07; 0,42)	(0,01; 0,06; 0,38)	(0,03; 0,09; 0,45)
B9	(0,09; 0,21; 0,71)	(0,08; 0,2; 0,7)	(0,07; 0,19; 0,71)	(0,08; 0,21; 0,74)	(0,09; 0,22; 0,73)	(0,1; 0,24; 0,79)	(0,09; 0,22; 0,74)	(0,03; 0,09; 0,48)	(0,04; 0,15; 0,66)	(0,07; 0,18; 0,68)	(0,09; 0,22; 0,72)	(0,07; 0,18; 0,68)	(0,05; 0,15; 0,62)	(0,08; 0,21; 0,72)
B10	(0,05; 0,15; 0,6)	(0,05; 0,14; 0,58)	(0,04; 0,14; 0,59)	(0,05; 0,15; 0,63)	(0,06; 0,16; 0,62)	(0,05; 0,16; 0,66)	(0,06; 0,16; 0,63)	(0,02; 0,08; 0,42)	(0,06; 0,16; 0,63)	(0,02; 0,09; 0,52)	(0,06; 0,15; 0,62)	(0,05; 0,14; 0,59)	(0,05; 0,13; 0,54)	(0,05; 0,15; 0,6)
B11	(0,07; 0,18; 0,67)	(0,06; 0,17; 0,65)	(0,06; 0,17; 0,66)	(0,07; 0,18; 0,7)	(0,07; 0,19; 0,69)	(0,08; 0,21; 0,74)	(0,08; 0,2; 0,7)	(0,02; 0,09; 0,46)	(0,09; 0,2; 0,7)	(0,07; 0,17; 0,64)	(0,03; 0,12; 0,61)	(0,06; 0,17; 0,64)	(0,05; 0,15; 0,59)	(0,06; 0,17; 0,66)
B12	(0,06; 0,17; 0,64)	(0,06; 0,16; 0,63)	(0,06; 0,16; 0,64)	(0,06; 0,17; 0,67)	(0,06; 0,17; 0,66)	(0,08; 0,21; 0,72)	(0,07; 0,19; 0,68)	(0,02; 0,08; 0,44)	(0,06; 0,17; 0,67)	(0,06; 0,16; 0,62)	(0,06; 0,16; 0,65)	(0,03; 0,11; 0,56)	(0,05; 0,14; 0,57)	(0,07; 0,18; 0,65)
B13	(0,06; 0,17; 0,64)	(0,05; 0,15; 0,62)	(0,06; 0,16; 0,64)	(0,06; 0,17; 0,67)	(0,06; 0,17; 0,66)	(0,08; 0,2; 0,72)	(0,07; 0,19; 0,68)	(0,03; 0,08; 0,44)	(0,05; 0,16; 0,65)	(0,06; 0,16; 0,62)	(0,06; 0,17; 0,65)	(0,07; 0,17; 0,63)	(0,02; 0,09; 0,5)	(0,08; 0,18; 0,65)
B14	(0,08; 0,18; 0,64)	(0,07; 0,17; 0,62)	(0,07; 0,18; 0,64)	(0,08; 0,19; 0,67)	(0,07; 0,18; 0,66)	(0,09; 0,22; 0,72)	(0,08; 0,19; 0,67)	(0,02; 0,08; 0,44)	(0,07; 0,18; 0,66)	(0,05; 0,15; 0,61)	(0,06; 0,16; 0,64)	(0,06; 0,16; 0,62)	(0,05; 0,14; 0,56)	(0,03; 0,13; 0,58)

Fonte: os autores





Tabela 10

Matriz T

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	D	R	D+R	D-R
<b>B1</b>	0,243	0,306	0,270	0,297	0,290	0,347	0,304	0,173	0,318	0,265	0,300	0,278	0,249	0,308	3,95	4,01	7,95	-0,06
<b>B2</b>	0,312	0,233	0,283	0,300	0,285	0,339	0,298	0,183	0,318	0,260	0,294	0,282	0,239	0,301	3,93	3,87	7,80	0,06
<b>B3</b>	0,270	0,262	0,233	0,314	0,285	0,322	0,305	0,199	0,290	0,257	0,272	0,261	0,231	0,295	3,80	4,00	7,80	-0,20
<b>B4</b>	0,286	0,280	0,311	0,260	0,302	0,345	0,320	0,211	0,312	0,278	0,288	0,276	0,249	0,312	4,03	4,24	8,27	-0,20
<b>B5</b>	0,284	0,272	0,287	0,304	0,245	0,327	0,301	0,199	0,314	0,278	0,292	0,273	0,241	0,300	3,92	4,09	8,01	-0,17
<b>B6</b>	0,339	0,330	0,339	<b>0,354</b>	0,341	0,309	0,345	0,213	0,349	0,300	0,325	0,310	0,270	0,342	4,47	4,58	9,05	-0,12
<b>B7</b>	0,300	0,286	0,322	0,334	0,309	<b>0,353</b>	0,267	0,191	0,323	0,287	0,314	0,289	0,259	0,312	4,15	4,23	8,38	-0,08
<b>B8</b>	0,182	0,186	0,202	0,221	0,197	0,222	0,191	0,107	0,188	0,169	0,181	0,172	0,151	0,189	2,56	2,59	5,15	-0,03
<b>B9</b>	0,338	0,327	0,324	0,342	0,346	<b>0,373</b>	<b>0,353</b>	0,200	0,286	0,310	0,344	0,311	0,273	0,336	4,46	4,20	8,67	0,26
<b>B10</b>	0,269	0,255	0,258	0,278	0,278	0,290	0,284	0,172	0,283	0,210	0,277	0,260	0,242	0,265	3,62	3,74	7,36	-0,12
<b>B11</b>	0,303	0,292	0,294	0,315	0,316	0,345	0,327	0,190	0,330	0,294	0,253	0,290	0,263	0,298	4,11	4,01	8,12	0,10
<b>B12</b>	0,291	0,282	0,289	0,302	0,298	0,337	0,311	0,183	0,298	0,279	0,291	0,230	0,256	0,301	3,95	3,80	7,74	0,15
<b>B13</b>	0,290	0,273	0,288	0,301	0,295	0,330	0,313	0,186	0,290	0,282	0,294	0,288	0,205	0,304	3,94	3,38	7,32	0,56
<b>B14</b>	0,301	0,286	0,298	0,313	0,303	0,343	0,313	0,183	0,305	0,270	0,287	0,277	0,248	0,249	3,98	4,11	8,09	-0,13

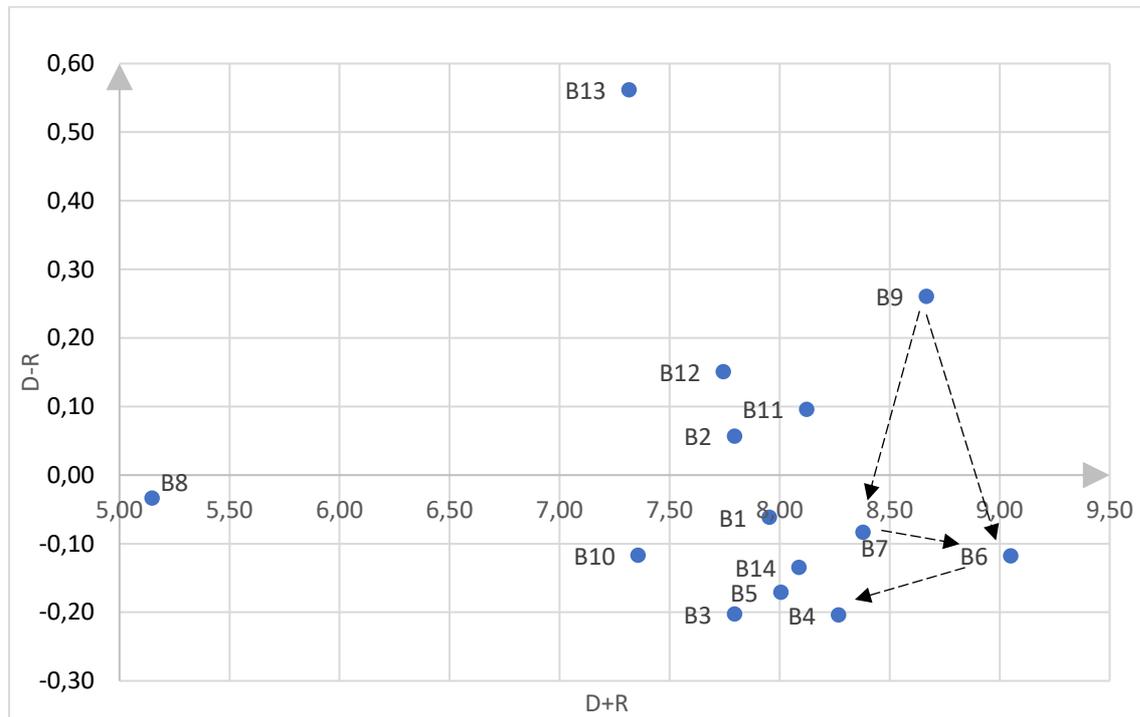
Fonte: os autores.



A Figura 2 ilustra que a B13 (falta de legislação e incentivos governamentais) é a barreira mais influente entre todas as barreiras analisadas, pois possui o maior valor de  $D_i - R_i$ . Portanto, melhorias nessa barreira trariam benefícios para outras barreiras e gerariam impactos significativos na redução de RCD nos canteiros de obras. Isso é apoiado por estudos anteriores que enfatizam a relevância das autoridades públicas e dos aspectos legais na redução de resíduos gerados em canteiros de obras (Condotta & Zatta, 2021; Liu et al., 2021; Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020). A participação e os incentivos governamentais são críticos para que os gestores implementem medidas de redução de resíduos, conforme afirmado por Ling et al. (2013).

A barreira B9, que denota a falta de recursos financeiros, surgiu como a segunda barreira mais influente e a segunda mais significativa, solidificando seu status como um fator central. Isso ocorre porque a tomada de decisões em obras de construção pode ser limitada quando há restrições financeiras, o que pode impactar a gestão de CDW nos canteiros de obras ou levar à compra de materiais de baixa qualidade que geram resíduos excessivos no canteiro de obras (Condotta & Zatta, 2021; Negash et al., 2021; Spišáková et al., 2021).

A barreira B6 (falta de planejamento e gestão no canteiro de obras) apresentou o maior valor de  $(D+R)$ . Portanto, pode ser considerada a barreira mais importante para a redução de RCD nos canteiros de obras. Esses resultados são consistentes com estudos anteriores que destacam a importância dos gerentes de projeto em antecipar circunstâncias imprevistas, retrabalho e planejar as etapas do serviço (Negash et al., 2021; Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020; Spišáková et al., 2021).

**Figura 1***Diagrama causal*

Fonte: os autores.

O estudo revela que as barreiras B2 (mudanças de design solicitadas pelo cliente), B11 (custos de implementação de novas tecnologias) e B12 (falta de requisitos ambientais no contrato) apresentam uma influência significativa sobre as outras e possuem considerável importância de acordo com seus valores obtidos nos eixos (D-R) e (D+R). A falta de requisitos ambientais no contrato, por exemplo, foi percebida pelos gestores como uma barreira essencial para a redução de RCD, pois contratos bem elaborados permitem um melhor controle das atividades realizadas (Condotta & Zatta, 2021; Pellegrini et al., 2020; Ratnasabapathy et al., 2021; Spišáková et al., 2021).

Em relação ao eixo (D-R), as barreiras B3 (manuseio inadequado durante a recepção de materiais) e B4 (armazenamento inadequado de materiais) foram identificadas como as mais influenciadas por outras barreiras, dadas suas características operacionais. Essas barreiras são mais diretamente influenciadas por outras barreiras relacionadas ao planejamento, como B9 (falta de recursos financeiros), B6 (falta de planejamento e gestão no canteiro de obras), B7 (falta de treinamento operacional e educação ambiental) e B13



(falta de legislação e incentivo governamental) (Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020).

No eixo (D+R), a barreira B8 (questões climáticas) foi considerada a menos importante. Embora fenômenos climáticos não possam ser impedidos de ocorrer (Mawed et al., 2020; Narcis et al., 2019), o Brasil não sofre com terremotos, tornados ou furacões. Além disso, períodos de chuvas intensas são regulares de acordo com as estações. Como resultado, o planejamento com medidas já consolidadas nos canteiros de obras tem ajudado a mitigar os riscos de perdas e a geração indevida de RCD. A barreira B10 (falta de retorno econômico da reciclagem de RCD) foi considerada a segunda menos importante pelos especialistas. Isso pode ser devido ao fato de que os gestores de construção percebem o retorno econômico com a reciclagem como pequeno ou negligenciável para os custos de gestão (Zhang et al., 2019). Em países onde a reciclagem é mais remunerada, essa barreira pode ser considerada mais importante.

A Tabela 11 resume nossas descobertas, fornecendo uma categorização clara dos fatores envolvidos. Vale destacar que nossos fatores centrais, classificados como Grupo I devido à sua alta proeminência e forte relação, consistem principalmente em B9 e B11. Esses fatores se enquadram na categoria de Barreiras Econômicas, conforme mostrado na Tabela 3, destacando sua importância e a necessidade de priorizá-los.

Além disso, os fatores de condução, classificados como Grupo II devido à sua baixa proeminência, mas alta relação, incluem proeminentemente B12 e B13. Esses fatores são amplamente classificados como Barreiras Ambientais, conforme apresentado na Tabela 4, funcionando como contribuintes autônomos dentro do sistema.

Os fatores independentes, denominados como Grupo III devido à sua baixa proeminência e baixa relação, junto com os fatores por impacto, classificados como Grupo IV devido à sua alta proeminência e baixa relação, estão predominantemente associados às Barreiras Técnicas, listadas na Tabela 2. Enquanto os fatores independentes têm interação limitada com outros fatores, tornando-os aceitáveis na maioria das situações, os fatores por impacto precisam de gestão devido aos seus altos níveis de interação, embora não devam ser diretamente melhorados. Sua melhoria pode ser alcançada indiretamente através do

manejo eficaz dos fatores causais, ou seja, os fatores dos Grupos I e II.

### Tabela 11

*Categorias de barreiras no diagrama causal de quatro quadrantes*

Grupos	Fatores
Grupo I – Fatores Centrais	B9, B11
Grupo II – Fatores Motivadores	B2, B12, B13
Grupo III – Fatores Independentes	B3, B5, B8, B10
Grupo IV – Fatores de Impacto	B1, B4, B6, B7, B14

*Fonte:* os autores.

No Passo 6, a Tabela 10 destaca as relações de influência mais significativas, representadas em negrito, com valores superiores a 0,351 (média mais 1,5 desvios padrão). Essas relações também estão ilustradas na Figura 2. Os resultados indicam que a Barreira B6 (falta de planejamento e gerenciamento no canteiro de obras) tem um efeito substancial sobre B4 (armazenamento inadequado de materiais), revelando que a ausência de planejamento impacta diretamente a organização e o arranjo dos materiais no canteiro de obras (Narcis et al., 2019).

Além disso, a Barreira B7 (falta de treinamento operacional e educação ambiental) influencia a B6 (falta de planejamento e gerenciamento no canteiro de obras), implicando que, para alcançar um planejamento e gerenciamento eficazes, os funcionários devem primeiro passar por treinamento profissional, juntamente com educação ambiental que promove um senso de pertencimento e cuidado com o meio ambiente (Liyanage et al., 2019; Vidyasekar & Selvan, 2019; Zhang et al., 2019).

Além disso, a Barreira B9 (falta de recursos financeiros) tem um impacto direto tanto na B6 (falta de planejamento e gerenciamento no canteiro de obras) quanto na B7 (falta de treinamento operacional e educação ambiental). Isso sublinha a necessidade de investimento em educação e treinamento para melhorar o desenvolvimento e a qualificação dos trabalhadores em suas tarefas, bem como na conscientização ambiental para reduzir o



RCD (Bailey et al., 2020; Mahpour, 2018; Vidyasekar e Selvan, 2019). Da mesma forma, um melhor planejamento e gerenciamento das obras requer investimento em profissionais mais qualificados, além de equipamentos e software apropriados, para alcançar um fluxo de informações mais preciso e melhor controle das atividades (Olanrewaju & Ogunmakinde, 2020).

A comparação entre os resultados do fuzzy Dematel e a frequência de citações na SLR revelou semelhanças e diferenças. Uma das semelhanças foi a importância da B13 (falta de legislação e incentivos governamentais), que foi citada em todas as referências da SLR e considerada a barreira mais influente pelo fuzzy Dematel. Além disso, barreiras técnicas como a B6 (falta de planejamento e gerenciamento no canteiro de obras) e a B7 (falta de treinamento operacional e educação ambiental) foram frequentemente mencionadas na literatura e foram consideradas altamente significativas pelos gerentes de obras. Por outro lado, a B8 (questões climáticas) e a B3 (manuseio inadequado durante a recepção de materiais) foram mencionadas com pouca frequência na literatura e foram consideradas com pouco impacto de acordo com o fuzzy Dematel.

No entanto, a diferença mais notável nos resultados foi relacionada à B9 (falta de recursos financeiros), que teve a menor frequência de citações na SLR como barreira econômica. No entanto, a B9 classificou-se em segundo lugar em termos de valores D-R e D+R, o que significa que foi a segunda barreira mais influente e importante, respectivamente, de acordo com os gerentes de construção e o fuzzy Dematel. Essa discrepância entre os resultados da literatura e a perspectiva dos gerentes de canteiros de obras comerciais de médio porte pode ser atribuída às características únicas do setor da construção no Brasil. As restrições orçamentárias sempre foram um obstáculo significativo para a melhoria dos projetos comerciais de médio porte no Brasil, incluindo aqueles voltados para a implementação dos princípios da economia circular. Além disso, a recessão econômica e a alta inflação nos anos anteriores ao estudo podem ter intensificado as preocupações dos gerentes de construção em relação a essa barreira.

## Conclusão



Em conclusão, os princípios dos 3R destacam que a redução é uma abordagem menos complexa e mais econômica que deve ser incentivada em obras de construção civil, as quais geram uma quantidade significativa de resíduos sólidos em aterros. Com a crescente participação do setor de serviços no PIB dos países em desenvolvimento, como o Brasil, é essencial investigar as barreiras para a redução de RCD em obras comerciais de médio porte, incluindo edifícios comerciais, escolas e restaurantes, para promover iniciativas de economia circular.

Este estudo teve como objetivo identificar barreiras à redução de RCD em canteiros de obras utilizando uma Revisão Sistemática da Literatura (SLR) e analisar essas barreiras usando o método fuzzy Dematel com gerentes de obras comerciais de médio porte no Brasil. A SLR identificou 14 barreiras, sendo a B13 (falta de legislação e incentivo governamental) a mais citada, seguida pela B11 (custo de implementação de novas tecnologias), B7 (falta de treinamento operacional e educação ambiental) e B6 (falta de planejamento e gerenciamento no canteiro de obras). A análise fuzzy Dematel também destacou a influência da B13 e da B9 (falta de recursos financeiros) e a importância da B6 e da B9. Embora tenham sido encontradas semelhanças entre os resultados da SLR e do fuzzy Dematel, a falta de recursos financeiros (B9) foi a diferença mais significativa entre a revisão da literatura e a perspectiva dos gerentes de construção. As restrições financeiras, altas taxas de juros e inflação no mercado de construção brasileiro podem ser uma possível causa dessa divergência.

Os resultados indicam que diferentes atores precisam colaborar para superar as barreiras à redução de RCD em obras comerciais de médio porte no Brasil. Os formuladores de políticas devem estabelecer leis para desencorajar a prática de envio de RCD para aterros, aumentando o custo dessa prática. Governo, bancos e investidores devem trabalhar para aumentar a disponibilidade de capital para iniciativas de redução de RCD devido à falta de recursos financeiros. Os profissionais da construção civil devem desenvolver uma cultura de maior conscientização para a redução de RCD ao longo do ciclo de vida da construção, com treinamento para toda a equipe de trabalho para abordar a falta de planejamento e



gerenciamento da obra e a falta de treinamento operacional e educação ambiental.

No entanto, o foco deste estudo em gerentes de obras comerciais de médio porte no Brasil é uma limitação, e os resultados não podem ser generalizados para outros países. Além disso, diferentes partes interessadas, como pesquisadores e políticos, podem ter opiniões diferentes sobre essas barreiras. Pesquisas futuras poderiam incluir amostras de outros interessados ou de outros países com contextos legais, culturais e econômicos diversos, o que contribuiria para uma melhor compreensão do problema da redução de RCD em canteiros de obras.

### Referências

- Abarca-Guerrero, L., Maas, G., & van Twillert, H. (2017). Barriers and Motivations for Construction Waste Reduction Practices in Costa Rica. *Resources*, 6(4), 69. <https://doi.org/10.3390/resources6040069>
- Agamuthu, P. (2008). Challenges in sustainable management of construction and demolition waste. *Waste Management and Research*, 26(6), 491–492. <https://doi.org/10.1177/0734242X08100096>
- Arantes, R. F. M., Zanon, L. G., Calache, L. D. D. R., Bertassini, A. C., & Carpinetti, L. C. R. (2022). A fuzzy multicriteria group decision approach for circular business models prioritization. *Production*, 32. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20220019>
- Azevedo, G. O. D. D., Kiperstok, A., & Moraes, L. R. S. (2006). Construction waste in Salvador: ways to a sustainable management. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 11, 65-72.
- Bailey, M., Booth, C. A., Horry, R., Vidalakis, C., Mahamadu, A. M., & Awuah, K. G. B. (2020). Opinions of small and medium UK construction companies on environmental management systems. *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Management, Procurement and Law*, 174(1), 23–34. <https://doi.org/10.1680/jmapl.19.00033>
- Bao, Z., Lee, W. M. W., & Lu, W. (2020). Implementing on-site construction waste recycling in Hong Kong: Barriers and facilitators. *Science of the Total Environment*, 747, 141091. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141091>

- Calache, L. D. D. R., Bertassini, A. C., Osiro, L., & Carpinetti, L. C. R. (2021). *Identificação e avaliação de critérios para seleção de projetos sustentáveis aplicando o VFT e o Fuzzy DEMATEL*. In *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP 2021)*. [https://doi.org/10.14488/enegep2021\\_tn\\_wpg\\_362\\_1872\\_42096](https://doi.org/10.14488/enegep2021_tn_wpg_362_1872_42096)
- Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (2018), *Banco de dados do CBIC*. <http://www.cbicdados.com.br/home>
- Chien, K. F., Wu, Z. H., & Huang, S. C. (2014). Identifying and assessing critical risk factors for BIM projects: Empirical study. *Automation in construction*, 45, 1-15.
- Condotta, M., & Zatta, E. (2021). Reuse of building elements in the architectural practice and the European regulatory context: Inconsistencies and possible improvements. *Journal of Cleaner Production*, 318(January 2020), i. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128413>
- Conforto, E. C., Amaral, D. C., & Silva, S. D. (2011). *Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: Aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos*. Paper presented at the 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto (CBGDP 2011), Porto Alegre, RS, Brazil, September 12-14, 2011.
- de Souza Campos, L. M., Trierweiler, A. C., Bornia, A. C., de Carvalho, D. N., dos Santos, T. H. S., & Peixe, B. C. S. (2013). Um Levantamento Exploratório sobre o tema gestão ambiental no setor da construção. *Espacios*, 34(4), 1–14.
- Diotti, A., Plizzari, G., & Sorlini, S. (2021). Technical analysis of full-scale construction and demolition waste treatment plants: case studies of the Lombardy region, Italy. *Detritus*, 15, 51-66.
- Farooque, M., Jain, V., Zhang, A., & Li, Z. (2020). Fuzzy DEMATEL analysis of barriers to Blockchain-based life cycle assessment in China. *Computers and Industrial Engineering*, 147(July). <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106684>
- Feldmann, F. G., Birkel, H., & Hartmann, E. (2022). Exploring barriers towards modular construction – A developer perspective using fuzzy DEMATEL. *Journal of Cleaner Production*, 367(July), 133023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133023>



- Gagnon, B., Tanguay, X., Amor, B., & Imbrogno, A. F. (2022). Forest Products and Circular Economy Strategies: A Canadian Perspective. *Energies*, *15*(3), 1–17.  
<https://doi.org/10.3390/en15030673>
- Giorgi, S., Lavagna, M., Wang, K., Osmani, M., Liu, G., & Campioli, A. (2022). Drivers and barriers towards circular economy in the building sector: Stakeholder interviews and analysis of five european countries policies and practices. *Journal of Cleaner Production*, *336* (December 2021), 130395.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130395>
- Huang, B., Wang, X., Kua, H., Geng, Y., Bleischwitz, R., & Ren, J. (2018). Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. *Resources, Conservation and Recycling*, *129*, 36-44.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.029>
- Hwang, W., Hsiao, B., Chen, H. G., & Chern, C. C. (2016). Multiphase assessment of project risk interdependencies: evidence from a University ISD project in Taiwan. *Project Management Journal*, *47*(1), 59-75. <https://doi.org/10.1002/pmj.21563>
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, *143*, 37–46.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Li, C. W., & Tzeng, G. H. (2009). Identification of a threshold value for the DEMATEL method using the maximum mean de-entropy algorithm to find critical services provided by a semiconductor intellectual property mall. *Expert Systems with Applications*, *36*(6), 9891-9898. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.01.073>
- Ling, F. Y. Y., & Nguyen, D. S. A. (2013). Strategies for construction waste management in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Built Environment Project and Asset Management*, *3*(1), 141–156. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-08-2012-0045>
- Liu, J., Wu, P., Jiang, Y., & Wang, X. (2021). Explore potential barriers of applying circular economy in construction and demolition waste recycling. *Journal of Cleaner Production*, *326*(June), 129400. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129400>

- Liu, J., Yi, Y., & Wang, X. (2020). Exploring factors influencing construction waste reduction: a structural equation modeling approach. *Journal of Cleaner Production*, 276, 123185. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123185>
- Liyanage, K. L. A. K. T., Waidyasekara, K. G. A. S., & Mallawaarachchi, H. (2019). Enablers and barriers to adopt zero waste concept in the construction industry. *Malaysian Construction Research Journal*, 8(3 Special issue), 41–49.
- Low, J. K., Wallis, S. L., Hernandez, G., Cerqueira, I. S., Steinhorn, G., & Berry, T. A. (2020). Encouraging Circular Waste Economies for the New Zealand Construction Industry: Opportunities and Barriers. *Frontiers in Sustainable Cities*, 2(July), 1–7. <https://doi.org/10.3389/frsc.2020.00035>
- Maekawa, R., De Carvalho, M. M., & De Oliveira, O. J. (2013). Um estudo sobre a certificação ISO 9001 no Brasil: Mapeamento de motivações, benefícios e dificuldades. *Gestao e Producao*, 20(4), 763–779. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000003>
- Mahpour, A. (2018). Prioritizing barriers to adopt circular economy in construction and demolition waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 134(November 2017), 216–227. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.026>
- Mavi, R. K., & Standing, C. (2018). Critical success factors of sustainable project management in construction: A fuzzy DEMATEL-ANP approach. *Journal of Cleaner Production*, 194, 751–765. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.120>
- Mawed, M., Al Nuaimi, M. S., & Kashawni, G. (2020). Construction And Demolition Waste Management In The Uae: Application And Obstacles. *International Journal of GEOMATE*, 18(70), 235–245. <https://doi.org/10.21660/2020.70.45101>
- Menegaki, M., & Damigos, D. (2018). A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 8-15. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.02.010>



- Narcis, N., Ray, I., & Hosein, G. (2019). Construction and demolition waste management actions and potential benefits: A perspective from Trinidad and Tobago. *Buildings*, 9(6), 1–27. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS9060150>
- Negash, Y. T., Hassan, A. M., Tseng, M. L., Wu, K. J., & Ali, M. H. (2021). Sustainable construction and demolition waste management in Somaliland: Regulatory barriers lead to technical and environmental barriers. *Journal of Cleaner Production*, 297. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126717>
- Olanrewaju, S. D., & Ogunmakinde, O. E. (2020). Waste minimisation strategies at the design phase: Architects' response. *Waste Management*, 118, 323–330. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.045>
- Osiro, L., Lima-Junior, F. R., & Carpinetti, L. C. R. (2014). A fuzzy logic approach to supplier evaluation for development. *International Journal of Production Economics*, 153, 95–112. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.02.009>
- Owolana, V. O., & Booth, C. A. (2016). Stakeholder perceptions of the benefits and barriers of implementing environmental management systems in the Nigerian construction industry. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 24(2), 79–89. <https://doi.org/10.3846/16486897.2015.1127251>
- Pellegrini, L., Campi, S., Locatelli, M., Pattini, G., Di Giuda, G. M., & Tagliabue, L. C. (2020). Digital Transition and Waste Management in Architecture, Engineering, Construction, and Operations Industry. *Frontiers in Energy Research*, 8(November), 1–21. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.576462>
- Peng, Chun-Li; Scorpio, D. E.; Kibert, C. J. Strategies for successful construction and demolition waste recycling operations. *Construction Management and Economics*. V. 15, n 1, 49-58, 1997. <https://doi.org/10.1080/014461997373105>
- Ratnasabapathy, S., Alashwal, A., & Perera, S. (2021). Exploring the barriers for implementing waste trading practices in the construction industry in Australia. *Built Environment Project and Asset Management*, 11(4), 559–576. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-04-2020-0077>

- Rodrigues, L. R., Calache, L. D. D. R., Osiro, L., & Ganga, G. M. D. (2023). A proposal of selection and analysis of criteria for sustainable supplier selection based on fuzzy DEMATEL. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 45(4), 415-446. <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2021.10040224>
- Röhm, D. G., Neto, J. D. C. M., & Röhm, S. A. (2013). Gestão dos Resíduos da Construção Civil (RCC) em Canteiros de Obras de Empresas Construtoras da Cidade de São Carlos-SP, Brasil. *Engenharia Civil*, (45), 21-36.
- Roth, G., & Garcias, C. M. (2009). Construção Civil e a Degradação Ambiental. *Desenvolvimento Em Questão*, 7(13), 111–128. <https://doi.org/10.21527/2237-6453.2009.13.111-128>
- Shooshtarian, S., Maqsood, T., Caldera, S., & Ryley, T. (2022). Transformation towards a circular economy in the Australian construction and demolition waste management system. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 89-106. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.11.032>.
- Souza, U. E. L. D., Agopyan, V., Paliari, J. C., & Andrade, A. C. D. (1999). *Anais do Simpósio Nacional Desperdício de Materiais nos Canteiros de Obras: a quebra do mito*.
- Spišáková, M., Mésároš, P., & Mandičák, T. (2021). Construction waste audit in the framework of sustainable waste management in construction projects—case study. *Buildings*, 11(2), 1–16. <https://doi.org/10.3390/buildings11020061>
- Tsai, W. H., & Chou, W. C. (2009). Selecting management systems for sustainable development in SMEs: A novel hybrid model based on DEMATEL, ANP, and ZOGP. *Expert Systems with Applications*, 36(2 PART 1), 1444–1458. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.11.058>
- Udawatta, N., Zuo, J., Chiveralls, K., Yuan, H., Zillante, G., & Elmualim, A. (2018). Major factors impeding the implementation of waste management in Australian construction projects. *Journal of Green Building*, 13(3), 101–121. <https://doi.org/10.3992/1943-4618.13.3.101>



- Vidyasekar, & Selvan. (2019). Identification of the factors, barriers, and motivations that influence the construction and demolishing waste generation and management. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(2 Special Issue 11), 2619–2623. <https://doi.org/10.35940/ijrte.B1317.0982S1119>
- Yu, A. T. W., Wong, I., & Mok, K. S. H. (2021). Effectiveness and barriers of Pre-refurbishment Auditing for refurbishment and renovation waste management. *Environmental Challenges*, 5, 100231. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100231>
- Zhang, A., Venkatesh, V. G., Liu, Y., Wan, M., Qu, T., & Huisingh, D. (2019). Barriers to smart waste management for a circular economy in China. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118198. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118198>