MÉTODOS ASSOCIADOS À TECNOLOGIA BIM PARA GESTÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Methods associated with BIM technology for managing construction and demolition waste: a systematic review

Melissa Pastorini Proença
Instituto Federal do Paraná e Universidade Federal da Integração Latino-Americana | Foz do Iguaçu, PR | melissa.proenca@ifpr.edu.br

Emerson Felipe Perin Pinto
Universidade Federal da Integração Latino-Americana | Foz do Iguaçu, PR | emersonperin030734@gmail.com

Kathleen Dall Bello de Souza Risson
Instituto Federal do Paraná e Universidade Federal da Integração Latino-Americana | Foz do Iguaçu, PR | kathleen.souza@ifpr.edu.br

Sérgio Scheer
Universidade Federal do Paraná | Curitiba, PR | scheer@ufpr.br

Dayana Ruth Bola Oliveira
Universidade Federal da Integração Latino-Americana | Foz do Iguaçu, PR | dayruth@gmail.com

Edna Possan
Universidade Federal da Integração Latino-Americana | Foz do Iguaçu, PR | edna.possan@unila.edu.br

Resumo

A gestão e quantificação dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) é um dos desafios na construção civil. Nesse sentido, este estudo objetiva identificar como a tecnologia BIM (Building Information Modeling) vem sendo utilizada para estimar a quantidade de RCD auxiliando no gerenciamento. Para isso, por meio de uma revisão sistemática foram avaliadas 296 publicações indexadas entre 2015 e 2023, sendo encontrados cinco artigos abordando as metodologias BIM na gestão do RCD, com potenciais de aplicação em nível de edificações individuais como em nível de cidades. Constatou-se que em conjunto com o BIM, os estudos fazem associação de levantamentos de imagens e nuvem de pontos, métodos associados ao Sistema de Informações Geográficas (GIS, Geographic Information System) e ferramentas de passaporte de materiais e análises em big data. As aplicações BIM para a quantificação e gestão do RCD, ainda são incipientes, porém os estudos já publicados indicam um elevado potencial.

Palavras-chave: Ferramentas computacionais; Resíduos da Construção Civil (RCC's); Gestão Pública; Economia circular.

ABSTRACT

The management and quantification of Construction and Demolition Waste (CDW) is one of the challenges in civil construction. In this sense, this study aims to identify how BIM (Building Information Modeling) technology has been used to estimate the amount of CDW helping in management. For this, through a systematic review, 296 publications indexed between 2015 and 2023 were evaluated, and five articles were found addressing BIM methodologies in CDW management, with potential application at the level of individual buildings as well as at the level of cities. It was found that together with BIM, the studies associate image and point cloud surveys, methods associated with the Geographic Information System (GIS, Geographic Information System) and passport tools for materials and analysis in big data. BIM applications for the quantification and management of CDW are still incipient, however published studies indicate a high potential.

Keywords: Computational tools; Civil Construction Waste (RCC's); Public Management; Circular economy.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil tem um impacto significativo no meio ambiente (FARINHA; BRITO; VEIGA, 2021), pois é responsável pela exploração de 50% dos recursos naturais, com 42,4 bilhões de toneladas de materiais consumidos anualmente (GBCA, 2021), e geração de volumes médios de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) correspondentes a 50% dos resíduos sólidos mundiais (BRASILEIRO; MATOS, 2015; SANTOS; TUBINO, 2021). De acordo com o relatório da Transparency Market Research (2017) espera-se uma geração de 2,2 bilhões de toneladas de RCD em 2025.

A geração de RCD depende de diversos fatores tais como, o crescimento populacional e aumento de demandas de moradia e infraestrutura, (SANTOS; TUBINO, 2021), antiguidade de edifícios existentes, estruturas resistentes a terremotos e desastres naturais (JAHANGIRI; ASADI-GANGRAJ; NEMATI, 2022), variações nas técnicas de execução e demolição e legislações e do país (VILLORIA SÁEZ; OSMANI, 2019). Comumente sua disposição se dá em aterros, onde esses materiais ocupam significativas áreas (AKHTAR; SARMAH, 2018; KIM, 2017; SANTOS; TUBINO, 2021) causando um problema especialmente em países de extensão territorial reduzida (SANTOS; TUBINO, 2021), além do potencial de contaminação do solo, do ar e da água (JAHANGIRI; ASADI-GANGRAJ; NEMATI, 2022; LU; TAM, 2013).

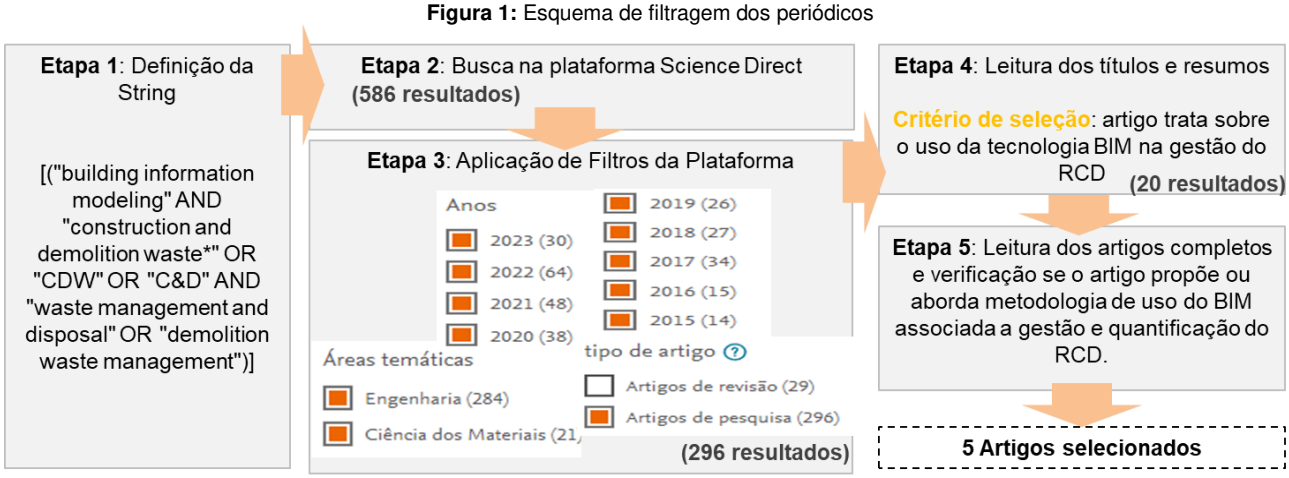
Nesse sentido, é inevitável a necessidade de uma mudança na forma de como a economia do setor da construção civil costuma atuar, de forma linear, onde os recursos são extraídos de reservas naturais, transformados em produtos e descartados (SHARMA; KALBAR; SALMAN, 2022), para a economia circular, com o reaproveitamento dos resíduos do RCD, onde além de otimizar e conservar os recursos naturais *(GUERRA et al.*, 2021; OLULEYE et al., 2022; WOUTERSZOON JANSEN *et al.*, 2020) há um ganho econômico, com a valoração dos resíduos (DOUSSOULIN; BITTENCOURT, 2022; SHARMA; KALBAR; SALMAN, 2022).

Recentemente vem sendo utilizado a Modelagem de Informação da Construção, também denominada como tecnologia BIM (no inglês, *Building Information Modeling*), como ferramenta para a gestão do RCD (CHENG; MA, 2013; LI et al., 2020). Seu uso permite uma maior visibilidade das informações sobre os possíveis materiais e sistemas construtivos adotados (LI *et al.*, 2020; WON; CHENG, 2017), e dos possíveis resíduos gerados (quantidade), viabilizando o planejamento dos fluxos de reciclagem e reutilização do RCD (AKBARIEH *et al.*, 2020; HONIC *et al.*, 2023). Neste contexto, considerando que a gestão do RCD é um dos desafios do setor da construção civil e dos gestores públicos, este estudo objetiva identificar metodologias de como a tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) vem sendo utilizada para estimar a quantidade potencial de RCD gerado em função da edificação auxiliando na gestão dos resíduos.

2 MÉTODO

O presente estudo empregou a revisão sistemática da literatura como método da pesquisa, conforme as etapas da Figura 1. Na Etapa 1 estabeleceu-se a *string* de busca: [("building information modeling" AND “construction and demolition waste" OR “CDW" OR "C&D" AND “waste management and disposal" OR "demolition waste management")], onde OR: busca todos os documentos que contenham qualquer termo, e AND: busca apenas documentos que com todos os termos.

Figura 1: Esquema de filtragem dos periódicos



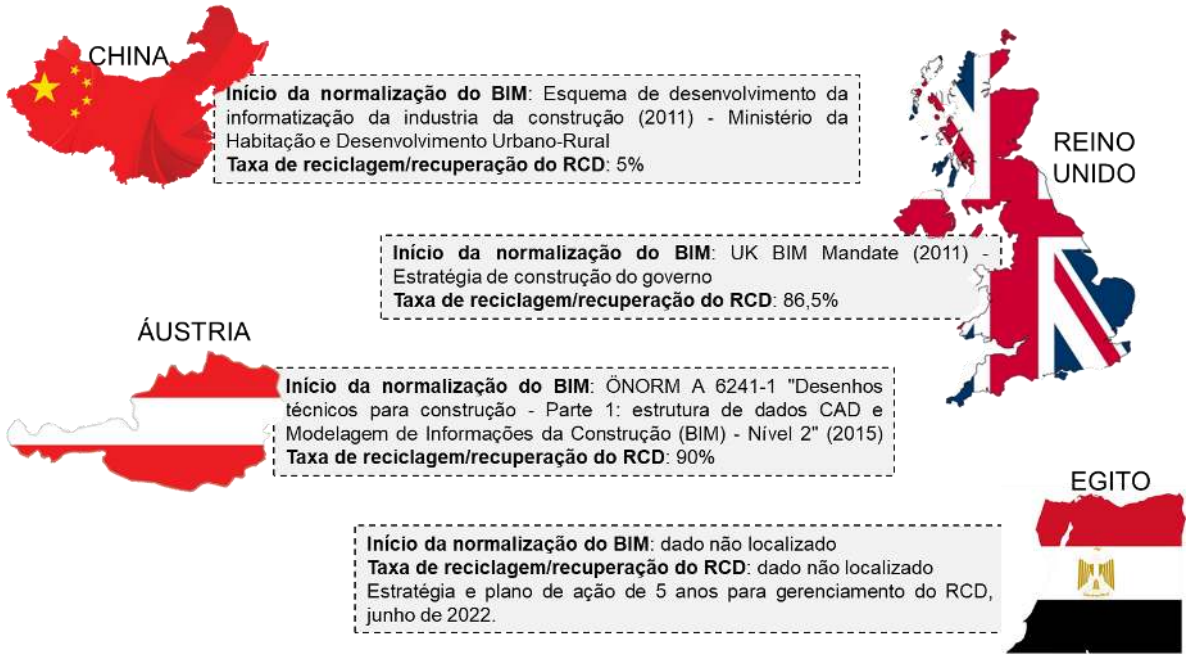
Fonte: Autores, 2023.

Na Etapa 2, definiu-se que a pesquisa seria feita na base de dados a plataforma *Science Direct,* onde após a busca, foram obtidos um total de 586 artigos. Levando em consideração esse número, na Etapa 3, aplicou-se alguns filtros automáticos da base de dados para auxiliar a análise: tipo de publicação “artigos de pesquisa”, período de publicação “2015 a 2023” e áreas temáticas “engenharia e ciência dos materiais”, onde restaram 296 artigos. Na sequência (Etapa 4), fez-se a leitura dos títulos, palavras-chaves e resumos para verificar a relação com o objetivo desse trabalho e destes somente 20 artigos estavam relacionados ao uso da tecnologia BIM ou a gestão do RCD, nos quais realizou-se leitura completa (Etapa 5), sendo selecionados 5 artigos para análise crítica que apresentaram em seu escopo metodologias associadas o uso da tecnologia BIM na gestão ou quantificação do RCD.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dos artigos selecionados dois são da China, um país com baixa taxa de reciclagem do RCD menos de 5% (HUANG et al., 2018) um do Egito, e os demais do Reino Unido e Áustria, com taxas de recuperação do RCD superiores a 85% (EUROPEAN COMMISSION, 2015), a Figura 2 traz um panorama em relação à implementação do BIM e a reciclagem do RCD nos países das publicações, observa-se que nos países desenvolvidos as taxas são elevadas.

Figura 2: Cronologia sobre uso do BIM e gestão de RCD no Brasil



Fonte: Autores, 2023.

No Quadro 1, resumidamente é apresentado o escopo, a metodologia utilizada para estimar a geração do RCD e as principais limitações/dificuldades de uso. Observa-se que três artigos estão associados à desconstrução de edificações, e outros dois com ferramentas que podem ser utilizadas ainda em fase de projeto. Para a fase de projeto Atta, Bakhoum e Marzouk (2021) trazem uma ferramenta denominada Material Passport (MP), que fornece informações sobre como lidar com materiais de construção na fase de construção e como aproveitá-los em seu estágio de fim de vida por meio de diferentes oportunidades de recuperação, baseada em três indicadores: ambiental, recuperação e desconstrubilidade das edificações. Bilal *et al.* (2016), com o suporte de uma Big data associada a tecnologia BIM, permitem uma capacidade de armazenamento de dados quanto aos resíduos de construção e demolição, aliado a uma proposta de ferramenta de simulação dos autores, tal tecnologia pode permitir análises complexas, de grande quantidade de dados.

Voltado para edificações já existentes, Xiao *et al.* (2023) combinaram a tecnologia digital e o modelo de avaliação de estruturas de edifícios para quantificar a desconstrução, garantindo que componentes estruturais permaneçam o mais intactos possível após serem desconstruídos, a fim de ter a oportunidade de serem reutilizados em um nível superior, evitando a geração de resíduos sólidos. Através do processo de otimização e desconstrução, o grau de utilização de recursos para a reutilização aumenta em 5,37% após a pré-avaliação da

desconstrutibilidade, o que contribui efetivamente para a desconstrução da estrutura do edifício e utilização de recursos (XIAO et al., 2023).

Quadro 1: Artigos selecionados

Artigo	Escopo	Metodologia	Limitações/Dificuldades
A1	Eficiência e informatização da demolição e gerenciamento do RCD, para edificações sem informações de projeto	1. Uso da Tecnologia de imagem-to-BIM, com drones autônomos para obtenção de nuvem de pontos externa da edificação, e câmera para obtenção de imagens internas sendo combinadas em software específico; 2. Modelagem em BIM, a partir das imagens e nuvens de pontos; 3. Simulação de desconstrução em software de análise estrutural.	- Obtenção de imagens internas depende de operador; - Necessidade de identificação manual dos materiais; - Clima e a luminosidade afetam a qualidade das imagens.
A2	Estimativa de estoque de RCD para cidades	1. Escaneamento a laser para obtenção da nuvem de pontos de edificações existentes; 2. Uma edificação padrão é modelada em BIM; 3. Utiliza-se o GIS para dados de volumes e áreas das edificações na cidade; 4. Com as informações modeladas em BIM pode-se estimar o quantitativo de RCD para um conjunto de edificações do mesmo padrão.	- Dificuldades na identificação dos tipos de materiais, acabam sendo estimados; - Aplicação de forma confiável apenas ao arquétipo modelado em BIM.
A3	Ferramenta de Material Passport (MP) com informações de como lidar com materiais de construção na fase de construção e como aproveitá-los em seu estágio de fim de vida	1. Os autores criaram scores de desconstrutibilidade, recuperação e ambientais para os materiais aplicados na modelagem da edificação; 2. Através de uma ferramenta para software BIM a avaliaram na fase de projeto o potencial de diferentes materiais aplicados;	- Dificuldades na obtenção de dados para criar indicadores da desconstrutibilidade e recuperação, e o indicador ambiental.
A4	Arquitetura de estrutura baseada em Big Data para analisar os resíduos de construção e demolição, contribuindo para o desenvolvimento de ferramentas de simulação	1. A tecnologia de Big data auxilia na análise devido à complexidade computacional relacionada, projetadas para armazenar análises de dados em escala; 2. A arquitetura proposta baseia-se no ciclo de vida de análise de resíduos; 3. A pesquisa faz parte do desenvolvimento de uma ferramenta de simulação de resíduos de construção baseada em BIM.	- Necessidade de mais estudos para validar a arquitetura de Big Data dos autores usando a ferramenta de simulação de resíduos baseada em BIM pretendida.
A5	Modelo de avaliação para quantificar a desconstrução	1. O estudo combina a tecnologia digital e o modelo de avaliação de estruturas de edifícios para quantificar a desconstrução para garantir que os componentes estruturais permaneçam o mais intactos possível após serem desconstruídos, a fim de ter a oportunidade de serem reutilizados em um nível superior, evitando a geração de resíduos sólidos.	- Dificuldade na coleta e análise da desconstrutibilidade de estruturas de edifícios, todos os elementos influenciadores definidos na equação de avaliação consideram principalmente muitos objetivos variáveis.

Fonte: Autores, 2023.

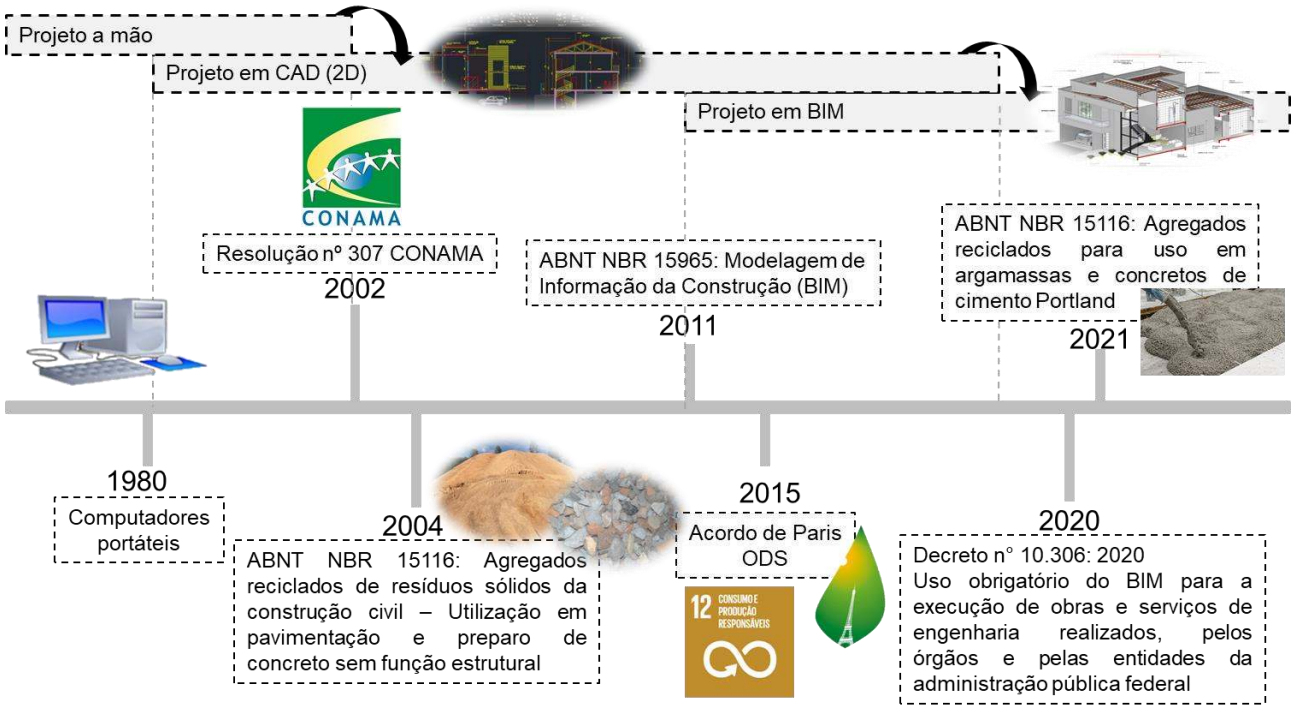
Verifica-se resultados positivos e vantajosos na implantação do BIM como ferramenta para auxiliar a redução de RCD, Hu *et al.* (2022) a partir de um estudo de levantamento de imagens de edificações existentes para modelagem em BIM, apontam que a precisão do método para estimar a geração de RCD e projetar a

desconstrução, pode chegar a precisão de 97,93%, sendo as vantagens a possibilidade de análise através de simulação do plano de desconstrução mais adequado na qual são determinadas as sequências e cronogramas de destruição dos elementos e os conflitos do processo, pode-se realizar uma estimativa econômica de disposição de resíduos e experiência no mercado local. Já a estrutura proposta por Honic et al. (2023), pode auxiliar as cidades quanto a destinação dos materiais ao final da vida útil (RCD) e na implementação de estratégias de economia circular, possibilitando melhoria nas taxas de reciclagem e reutilização do RCD.

De um modo geral, foram encontrados poucos artigos na literatura que envolvam a gestão do RCD com a tecnologia BIM, tal fato deve estar associado a alguns fatores como a regulamentação da gestão de resíduos sólidos, também ao fato de que a difusão de utilização do BIM ser progressiva na última década, sendo fortemente determinada pela adoção de politicas públicas que busquem melhoria na eficiência das construções, possibilitadas na tecnologia BIM (CHAREF; ALAKA; EMMITT, 2018; CHENG; MA, 2013; LIU *et al*., 2017).

Conforme Sampaio (2023), a adoção do BIM nos países é influenciada por ações governamentais, sendo variados os anos de implementação, nos países escandinavos por volta de 2007, Reino Unido em 2016 passou a ter exigência de projetos em BIM nas contratações públicas, Itália, França Alemanha e Espanha por volta de 2015 - 2017 (SAMPAIO, 2022). No Brasil, a exigência do uso do BIM em obras públicas é recente, o decreto Nº 10.306, de abril de 2020 sobre a utilização do BIM ainda está em transição, sendo dividido em 3 fases: a primeira (a partir de 2021) voltada apenas em projetos, já a segunda fase que engloba a gestão e controle entrará em rigor apenas em 2024, e por fim em 2028 será acrescentado também o gerenciamento pós-obra. Sendo assim ainda há um período de transição e adaptação na implantação da tecnologia. A Figura 3 aborda uma representação da cronologia (a exemplo do Brasil) que pode estar associada ao pequeno número de estudos encontrados nesta pesquisa.

Figura 3: Cronologia sobre uso do BIM e gestão de RCD no Brasil



Fonte: Autores, 2023.

Verificou-se alguns potenciais do BIM na gestão do RCD, porém existem barreiras na implementação do BIM especialmente em países em desenvolvimento (AZIMINEZHAD; TAHERKHANI, 2023), as ferramentas BIM exigem investimento em tecnologia e treinamento, o que requer uma reestruturação de processos e adaptação na indústria da AEC (engenharia e arquitetura da construção), que ainda compreende uma transição dos projetos tradicionais em 2D executados em ferramentas CAD (desenho auxiliado por computador) (SAMPAIO, 2022). Metodologias que utilizam o BIM na gestão do RCD, podem ser limitadas devido a fase de transição do BIM na indústria da AEC, e a preocupação com a gestão do RCD, que depende de políticas públicas, possivelmente no futuro com o avanço da modelagem em BIM e a maior preocupação com a sustentabilidade na construção civil, a gestão do RCD seja efetivamente buscada através da tecnologia de informação e desenvolvida com menores limitações.

4 TENDÊNCIAS E PERSPECTIVAS

Pode-se verificar que ainda, apesar dos poucos estudos associando a tecnologia BIM à gestão do RCD, dentre os potenciais encontrados na literatura destacam-se as seguintes potencialidades de uso do BIM:

- Na desconstrução de edificações existentes, permitindo o planejamento do processo e também a quantificação automatizada e precisa do RCD;
- Combinado com a ferramentas GIS, pode ser utilizado em uma forma macro nas cidades, quantificando estoques de RCD, com base em edificações de um mesmo padrão existente, auxiliando na gestão e implementação da economia circular;
- Em fase de projetos a gestão do RCD depende dos materiais e métodos construtivos empregados nas edificações, ferramentas de passaporte de materiais e análises em big data, tem capacidade de permitir a avaliação dos impactos em relação à recuperação e reciclabilidade do RCD.

Deste as limitações, tem-se:

- Para edificações existentes encontram-se dificuldades em determinar os tipos e composições dos materiais;
- Já nas fases de projeto a dificuldade está na análise dos impactos de cada material, seu ciclo de vida, a geração de indicadores confiáveis e validação das ferramentas.

Estudos futuros:
Este tema pode ser abordado e encontrado em diferentes temas e formas de pesquisas, onde palavras como desconstrução, *facility management*, *retrofit*, manutenção, podem ser usadas na *string* em futuros trabalhos que abordem o tema podendo assim, abranger mais resultados de pesquisas.

REFERÊNCIAS BIBILIOGRÁFICAS

ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE**, v. 1, p. 52, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2004.

_____, **NBR 15116: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2021.

AKBARIEH, A. et al. BIM-based end-of-lifecycle decision making and digital deconstruction: Literature review. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 7, 2020.

AKHTAR, A.; SARMAH, A. K. Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 262–281, jun. 2018.

AZIMINEZHAD, M.; TAHERKHANI, R. BIM for deconstruction: A review and bibliometric analysis. **Journal of Building Engineering**, v. 73, p. 106683, 15 ago. 2023.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 307.** Brasília, 2002.

_____.. **Resolução CONAMA nº 448.** Brasília. 2012.

_____.. **Decreto Nº 10306.** Brasília. 2020.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Literature review: Reuse of construction and demolition waste in the construction industry. **Ceramica**, v. 61, n. 358, p. 178–189, 2015.

CHAREF, R.; ALAKA, H.; EMMITT, S. Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views. **Journal of Building Engineering**, v. 19, p. 242–257, 1 set. 2018.

CHENG, J. C. P.; MA, L. Y. H. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. **Waste Management**, v. 33, n. 6, p. 1539–1551, 1 jun. 2013.

DOUSSOULIN, J. P.; BITTENCOURT, M. How effective is the construction sector in promoting the circular economy in Brazil and France? : A waste input-output analysis. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 60, p. 47–58, mar. 2022.

EUROPEAN COMMISSION. **Construction and Demolition Waste management in United Kingdom**. 2015.

EUROPEAN COMMISSION. **Construction and Demolition Waste management in Austria**. 2015.

FARINHA, C.; BRITO, J. DE; VEIGA, M. DO. Mortars and sustainability. **Eco-Efficient Rendering Mortars**, p. 1–6, 2021.

GBCA, G. B. C. A. **Why is this challenge important ?** Circular Economy. 2021.

GUERRA, B. C. et al. Circular economy applications in the construction industry: A global scan of trends and

opportunities. **Journal of Cleaner Production**, v. 324, p. 129125, 15 nov. 2021.

HONIC, M. et al. Framework for the assessment of the existing building stock through BIM and GIS. **Developments in the Built Environment**, v. 13, p. 100110, 1 mar. 2023.

HUANG, B. et al. Construction and Demolition Waste Management in China through the 3R Principle. v. 129, p. 36–44, 2018.

JAHANGIRI, A.; ASADI-GANGRAJ, E.; NEMATI, A. Designing a reverse logistics network to manage construction and demolition wastes: A robust bi-level approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 380, p. 134809, 20 dez. 2022.

KIM, Y. Quality properties of self-consolidating concrete mixed with waste concrete powder. **Construction and Building Materials**, v. 135, p. 177–185, mar. 2017.

LI, C. Z. et al. Research trend of the application of information technologies in construction and demolition waste management. **Journal of Cleaner Production**, v. 263, p. 121458, 1 ago. 2020.

LIU, B. et al. Review and Prospect of BIM Policy in China. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 245, n. 2, 2017.

LU, W.; TAM, V. W. Construction waste management policies and their effectiveness in Hong Kong: A longitudinal review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 23, p. 214–223, jul. 2013.

MATIAS, A. N. **Resíduos De Construção E Demolição À Luz Da Política Nacional De Resíduos Sólidos**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Foz do Iguaçu, 2020.

OLULEYE, B. I. et al. Circular economy research on building construction and demolition waste: A review of current trends and future research directions. **Journal of Cleaner Production**, v. 357, p. 131927, jul. 2022.

SAMPAIO, A. Z. Project management in office: BIM implementation. **Procedia Computer Science**, v. 196, p. 840–847, 1 jan. 2022.

SANTOS, R. P.; TUBINO, R. Potential evaluation of the use of construction and demolition waste (CDW) in the recovery of degraded soils by mining in Brazil. **Resources, Conservation & Recycling Advances**, v. 12, p. 200060, dez. 2021.

SHARMA, N.; KALBAR, P. P.; SALMAN, M. Global review of circular economy and life cycle thinking in building Demolition Waste Management: A way ahead for India. **Building and Environment**, v. 222, p. 109413, ago. 2022.

VILLORIA SÁEZ, P.; OSMANI, M. A diagnosis of construction and demolition waste generation and recovery practice in the European Union. **Journal of Cleaner Production**, v. 241, p. 118400, 20 dez. 2019.

WON, J.; CHENG, J. C. P. Identifying potential opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization. **Automation in Construction**, v. 79, p. 3–18, 1 jul. 2017.

WOUTERSZOON JANSEN, B. et al. A circular economy life cycle costing model (CE-LCC) for building components. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 161, p. 104857, 1 out. 2020.

XIAO, J. et al. Deconstruction evaluation method of building structures based on digital technology. **Journal of Building Engineering**, v. 66, p. 105901, 1 maio 2023.