

Análise do projeto para desmontagem e desconstrução como ferramenta da economia circular da construção civil

Analysis of design for disassembly and deconstruction as a circular economy tool in civil construction

Jordana de Oliveira 

Marco Aurelio Stumpf Gonzalez 

Andrea Parisi Kern 

Resumo

A busca pela sustentabilidade na construção civil incentiva estratégias de projetos, sendo uma das principais a economia circular. Dentro da economia circular se observam algumas ferramentas, sendo o foco deste artigo avaliar como o projeto para desmontagem e o projeto para desconstrução podem apoiar a economia circular na construção civil. Para alcançar tal objetivo, foi utilizada uma metodologia quantitativa e qualitativa, por meio de uma revisão sistemática de literatura. Do ponto de vista quantitativo, foram verificados os países, periódicos e ano de publicação dos trabalhos. Referente à análise qualitativa, foi realizada uma análise de conteúdo dos artigos publicados entre 2019 e 2023, nos quais se analisou que os projetos para desmontagem e desconstrução são duas das principais ferramentas da economia circular para promover a reutilização direta dos componentes da construção, evitando o despejo de resíduos, e preservando o carbono incorporado aos produtos. Ainda, como contribuição do artigo para o avanço científico na área, foi elaborada uma matriz SWOT para avaliação das principais forças, fraquezas, oportunidades e ameaças ao processo, visando popularizar o projeto para a desmontagem e desconstrução como ferramenta para atingir uma construção circular.

Palavras-chave: Construção circular. Reutilização de materiais de construção. Matriz SWOT. Sustentabilidade.

Abstract

The search for sustainability in construction encourages project strategies, one of the main ones being the circular economy. Within the circular economy, some methodologies can be observed, with the focus of this article being to evaluate how the project for disassembly and the project for deconstruction can support the circular economy in construction. To achieve this objective, a quantitative and qualitative methodology was used, through a systematic literature review. From a quantitative point of view, the countries, journals and year of publication of the works were verified. Regarding qualitative analysis, a content analysis was carried out on articles published between 2019 and 2023, in which it was analyzed that the project for disassembly and deconstruction are two of the main tools of the circular economy to provide the direct reuse of construction components, avoiding dumping waste, and preserving the carbon incorporated into products. Furthermore, as a contribution of the article to scientific advancement in the area, a SWOT matrix was created to evaluate the main strengths, weaknesses, opportunities, and threats to the process, aiming to popularize the project for disassembly and deconstruction as a tool to achieve circular construction.

^{1,2}Jordana de Oliveira
¹Universidade do Vale do Rio dos Sinos
²Universidade Feevale
Novo Hamburgo - RS - Brasil

³Marco Aurelio Stumpf Gonzalez
³Universidade do Vale do Rio dos Sinos
São Leopoldo - RS - Brasil

⁴Andrea Parisi Kern
⁴Universidade do Vale do Rio dos Sinos
São Leopoldo - RS - Brasil

Recebido em 06/06/23
Aceito em 11/03/24

Keywords: Circular Construction. Construction Materials Reuse. SWOT Matrix. Sustainability.

Introdução

Devido ao alto consumo de materiais e produção de resíduos, além da escassez de recursos que prejudica o crescimento econômico, a indústria de construção tem a necessidade de transformar o modelo linear de aquisição (pegar, fazer, descartar/desperdiçar). Com isso, há um movimento internacional em direção a pensar a construção num modelo de Economia Circular (EC) (Bourke; Kyle, 2019), com o objetivo de sustentar o valor dos produtos, estendendo sua vida útil (Joensuu *et al.*, 2022). A EC se caracteriza pelo uso dos materiais a partir dos 3Rs: reduzir, reutilizar e reciclar (Minunno *et al.*, 2020). Assim, se atinge o maior potencial de utilização dos materiais, sem desperdiçar sua energia incorporada, reduzindo o consumo de recursos naturais e o volume de materiais descartados (Akanbi *et al.*, 2019).

A atenção recente à economia circular pode ter como uma das razões que a reutilização de componentes não foi um objetivo por um longo período. Para mudar essa visão, as pesquisas sobre como reutilizar materiais de construção ao final do ciclo de vida se tornam mais relevantes (Anastasiades *et al.*, 2021). Assim, a economia circular passou também a permear políticas públicas que visam uma maior sustentabilidade, sendo os países pioneiros nas iniciativas a Alemanha, Japão, China e países da União Europeia (Geissdoerfer *et al.*, 2017).

No entanto, a percepção sobre a destinação final dos elementos da edificação é negligenciada por profissionais nessa fase, mesmo que a demolição seja responsável por até 50% dos resíduos gerados pela indústria da construção civil (Akinade *et al.*, 2017). Para minimização desses impactos, uma alternativa é o desmantelamento seletivo das edificações, que permite a reutilização dos componentes de uma construção sem que passe por um coprocessamento, o que impacta num menor consumo de energia para sua reutilização (O'Grady *et al.*, 2021).

Charef (2022) destaca que, ao se pensar na fase de fim de vida junto à fase de projeto, surgiram as abordagens “projeto para” ou “*design for*” sendo as principais: “projeto para desconstrução”, “projeto para desmontagem” e “projeto para adaptabilidade” ou “projeto para flexibilidade”. Para Guerra e Leite (2021), o projeto para desmontagem (em inglês, *Design for Disassembly – DfD*) se apresenta na literatura como uma das principais estratégias da economia circular no setor da construção.

A metodologia para se caracteriza pelo projeto que facilita a separação de múltiplos materiais por meio do emprego de conexões mecânicas secas, ao invés de químicas (Arrigoni *et al.*, 2018). Com isso, “[...] a introdução de aspectos de design para desmontagem pode ser usada para reduzir e/ou evitar desperdícios e aumentar a eficiência de recursos, incentivando considerações alternativas na fase de definição do projeto [...]” (ISO, 2020, p. 1). Por essa razão, o projeto para desmontagem pode promover a reutilização direta de componentes da construção (Minunno *et al.*, 2020), sendo este, dentro da economia circular, uma abordagem para economia de recursos (Bourke; Kyle, 2019).

Em complemento a esse conceito, o projeto para desconstrução também é relevante. Como diferença entre eles, a desconstrução está relacionada a remoção de elementos estruturais para uma reconstrução, parcial ou total de um edifício, enquanto a desmontagem se refere a desconexão de componentes individuais a qualquer ponto do ciclo de vida, para uma reutilização (O'Grady *et al.*, 2021).

Apesar desses argumentos, em pesquisa realizada na base de dados Scopus, utilizando como termos de busca (“DfD” OR “*design for disassembly*” OR “*design for dismantling*” OR “*design for deconstruction*” OR “*design for demolition*” OR “*design for adaptability*” OR “*design for assembly*”) AND (“*buildings*” OR “*construction*”), até o ano de 2023, não foram identificados artigos que avaliassem de forma sistemática e estratégica os benefícios da adoção do projeto para desmontagem e desconstrução visando uma construção circular, bem como os riscos inerentes a sua adoção. Diante desse cenário, o presente artigo tem o objetivo de avaliar os potenciais para aplicação do “projeto para” sendo dado ênfase ao projeto para desmontagem e o projeto para desconstrução, como ferramenta da economia circular aplicada à construção civil.

Para isso, foi utilizada uma metodologia com abordagem qualitativa e quantitativa, por meio de uma revisão sistemática de literatura. A análise quantitativa avaliou o cenário mundial das publicações sobre o tema, quanto ao país de origem, periódico e ano de publicação. Os resultados da análise quantitativa foram obtidos por meio de uma análise de conteúdo de 66 artigos publicados entre os anos de 2019 e 2023, sendo apresentados por meio de uma matriz SWOT, elencando as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças ao processo. Com isso, se espera que o trabalho contribua para o avanço da aplicação do projeto para desmontagem e desconstrução, visando uma construção mais circular, e por consequência, mais sustentável, ao fornecer uma ferramenta de avaliação estratégica do processo.

Método

A metodologia utilizada no artigo foi a revisão sistemática de literatura (RSL). Para apresentação da metodologia e dos resultados, foi utilizado como referência o checklist PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Prisma, 2024). Essa metodologia, utilizada também por Rankohi *et al.* (2022), em sua revisão sobre o projeto para manufatura e montagem, apresenta os itens que devem ser descritos na apresentação de revisões sistemáticas. De acordo com Ossio, Salinas e Hernández (2023, p. 5), a RSL apresenta uma “metodologia auditável robusta, amplamente aceita e confiável para fornecer uma visão geral de evidências anteriores sobre um tópico específico de interesse”. Com isso, nos próximos tópicos, a metodologia é dividida entre escopo, busca de evidências e estrutura de análise.

Escopo

O objetivo geral dessa pesquisa é avaliar os potenciais de utilização dos projetos para desmontagem e desconstrução como ferramentas de suporte a uma construção mais circular. A partir de pesquisas prévias sobre o tema, foram elaboradas duas questões qualitativas e três questões quantitativas que guiaram a busca de referências e a discussão dos resultados do artigo, a fim de apresentar o panorama geral das pesquisas sobre os projetos para desmontagem e desconstrução a nível mundial. O Quadro 1 apresenta as questões de pesquisa.

Cabe destacar que, no momento da realização da pesquisa, não foram identificadas outras revisões sistemáticas que abrangessem esse tópico de pesquisa, como também, que utilizassem a técnica da matriz SWOT para avaliação dos resultados, sendo uma contribuição relevante para as pesquisas na área. Assim, se justificam as questões de pesquisas abrangentes, de forma a apresentar um cenário amplo e robusto de como o projeto para desmontagem e desconstrução pode ser trabalhado na engenharia, para promover uma construção mais circular. A partir disso, a próxima etapa apresenta o processo de busca de evidências.

Busca de evidências

O processo de pesquisa teve início na seleção dos critérios de elegibilidade dos artigos. Foram elencados critérios de inclusão (CI) e exclusão (CE) dos trabalhos, conforme apresentado no Quadro 2.

A partir dessa definição, foi selecionada a base científica utilizada na busca. Considerando a abrangência e a relevância para as publicações científicas da área de engenharia, foi selecionada a base Scopus. Abrishami e Martín-Durán (2021) utilizaram a base Scopus na sua pesquisa sobre a Modelagem da Informação da Construção (em inglês *Building Information Modeling – BIM*) e o projeto para manufatura e montagem, assim como Formentini, Boix Rodríguez e Favi (2022), Formentini e Ramanujan (2023) e Ossio, Salinas e Hernández (2023), que utilizaram a mesma base em suas pesquisas. Em duas das pesquisas citadas outras bases também foram acrescentadas, porém, como a Scopus reúne publicações de diversas editoras relevantes para a engenharia, os autores optaram apenas por sua utilização para evitar a repetição de artigos na seleção.

Quadro 1 - Questões de pesquisa

Tipo	Questão
Quantitativa	Qual o número de artigos publicados por ano?
	Quais são os países que mais publicam sobre o tema?
	Quais são os principais periódicos de publicação do tema?
Qualitativa	Quais as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças a serem trabalhadas para implantação do projeto para desmontagem e desconstrução em projetos de engenharia?
	Como essas técnicas podem apoiar a circularidade dos elementos da construção?

Quadro 2- Critérios de elegibilidade para análise quantitativa

Critério	Descrição
CI1	Artigos publicados em periódicos científicos
CI2	Pesquisas que abordam a desmontagem ou desconstrução de edifícios
CI3	Artigos que tratam da reutilização de materiais de construção
CE1	Pesquisas com foco em outras indústrias, além da construção civil
CE2	Estudos em edifícios industriais e/ou agrícolas
CE3	Artigos que abordam obras de infraestrutura

Na sequência, foram definidas as *Strings* de busca, que consideram as questões de pesquisa para obter um maior número de artigos relevantes sobre o tema. Para a pesquisa, foram utilizadas as seguintes combinações, em inglês: (“*DfD*” OR “*design for disassembly*” OR “*design for dismantling*” OR “*design for deconstruction*” OR “*design for demolition*” OR “*design for adaptability*” OR “*design for assembly*”) AND (“*buildings*” OR “*construction*”). Os termos foram pesquisados nos campos de título, resumo e palavras-chave.

A partir da busca de artigos na base de dados, se obteve um número de 355 trabalhos, tendo como data de corte o mês de abril de 2023. Limitando a pesquisa a artigos publicados em periódicos científicos, restaram 190 trabalhos, dos quais foram lidos os títulos, resumos e artigo completo, quando necessário, para verificar se atendiam aos demais critérios elegibilidade. De acordo com Sampaio e Mancini (2007), esta seleção deve atender rigorosamente os critérios propostos, sendo necessário avaliar o artigo inteiro quando os itens iniciais não forem esclarecedores, para que nenhum material relevante seja excluído.

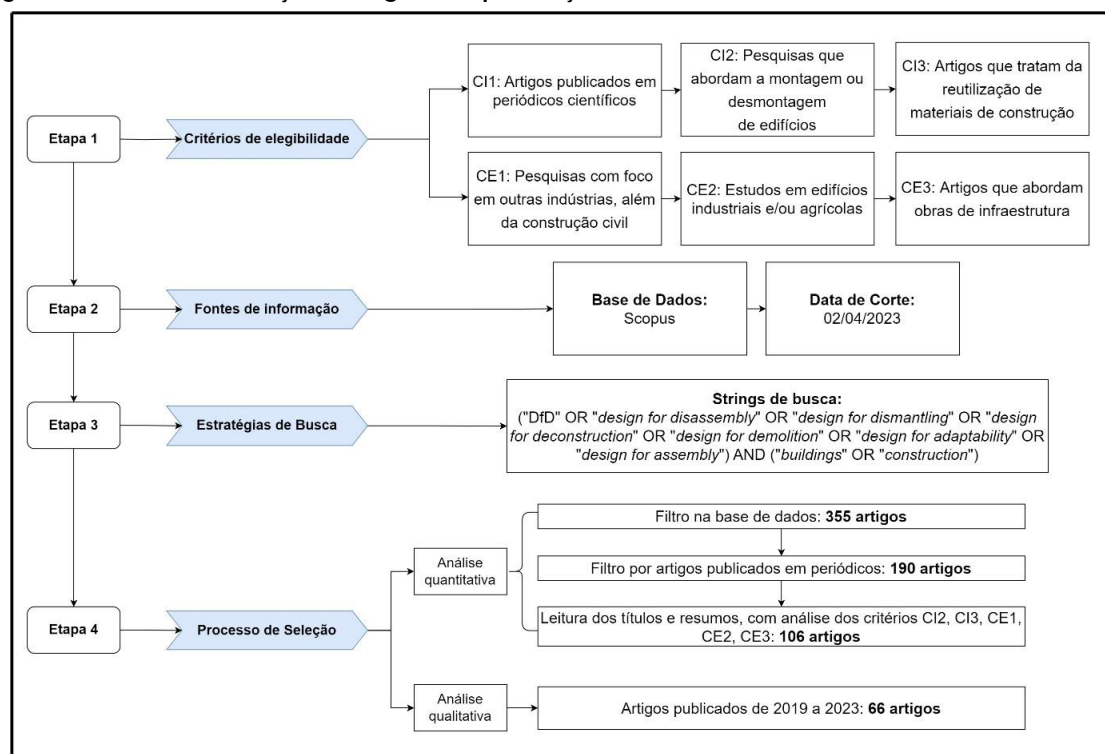
Com isso, restou um total de 106 artigos, que foram utilizados para análise quantitativa, sendo a relação destes apresentada no Apêndice A. Para a análise qualitativa, visando responder às questões de pesquisa, foi realizado um recorte dos artigos publicados nos últimos cinco anos (de 2019 a 2023), período com o número mais considerável de publicações, totalizando 66 artigos. Além disso, para se realizar uma análise a partir da matriz SWOT é necessário avaliar o cenário atual, por essa razão, foram considerados os artigos mais recentes. Com base no que foi descrito, a Figura 1 apresenta o processo de triagem das publicações.

Concluídas as etapas de seleção dos artigos, passou-se à análise.

Estrutura de análise

A estrutura de análise dos artigos dividiu-se entre as questões qualitativas e quantitativas. Inicialmente, os 106 trabalhos selecionados passaram pela análise estatística, na qual foram classificados de acordo com o ano de publicação, país de origem e periódico de publicação. Essa classificação bibliométrica também foi utilizada por Rankohi *et al.* (2022) e, segundo Cidón, Figueiró e Schreiber (2021), a síntese é importante para padronização dos dados de forma a extrair evidências e estabelecer relacionamentos.

Figura 1 - Processo de seleção e triagem das publicações



Os resultados da primeira questão qualitativa foram avaliados a partir de uma matriz SWOT (*strengths* (S), *weaknesses* (W), *opportunities* (O) e *threats* (T)), ou em português, matriz de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças (FOFA), utilizada como ferramenta de gestão e planejamento estratégico. Com a sua análise podem se combinar as forças e oportunidades para promover benefícios ao processo, da mesma forma que avaliar os pontos fracos e ameaças para mitigar os seus riscos. Cada um dos argumentos abordados foi classificado como técnico ou organizacional, a fim de facilitar análise dos atores envolvidos nos seus respectivos processos. Cruz Rios, Grau e Bilec (2021) utilizaram estrutura de análise semelhante, categorizando os tópicos abordados em sua pesquisa, visando investigar as barreiras e facilitadores da economia circular nos Estados Unidos. A matriz está apresentada na seção de análise qualitativa dos resultados, sendo cada um dos tópicos divididos em subitens, para discussão mais aprofundada. A elaboração da matriz SWOT foi realizada pelos autores, com base nos resultados dos artigos pesquisados. De acordo com o que foi apresentado na metodologia, o próximo capítulo apresenta os resultados e discussões.

Resultados e discussões

A discussão dos resultados foi dividida nos próximos tópicos.

Análise quantitativa dos artigos selecionados

A análise iniciou pelo número de publicações por ano. Para isso, após a seleção dos artigos que seriam utilizados para a análise quantitativa, foi realizada a classificação das pesquisas de acordo com o ano de publicação, sendo os resultados apresentados na Figura 2.

Verifica-se, a partir da Figura 2, que as primeiras pesquisas sobre critérios de projeto para desmontagem e desconstrução foram publicadas nos anos de 1990. Observa-se que as pesquisas sobre o tema se mantiveram ao longo dos anos, mas com incremento considerável a partir do ano de 2017, sendo em 2021 publicado o maior número de artigos.

Isso pode estar relacionado às políticas de incentivo à economia circular na construção, como o projeto BAMB (*Buildings as Material Banks*), iniciado em 2015 como uma iniciativa de países Europeus, promovendo a otimização do valor dos materiais componentes da construção (Racine *et al.*, 2021; Bamb, 2020). Ainda, se destacam como incentivadores ao desenvolvimento de estudos na área o Plano de Ação para Economia Circular, lançado em 2020 pela Comissão Europeia (2020), e a ISO 20887 (2020), que apresenta os princípios, requisitos e orientações para aplicação do projeto para desmontagem e adaptabilidade.

Analisando a segunda questão quantitativa, referente aos países de origem das pesquisas, a Figura 3 apresenta os resultados obtidos.

Figura 2 - Número de artigos por ano de publicação

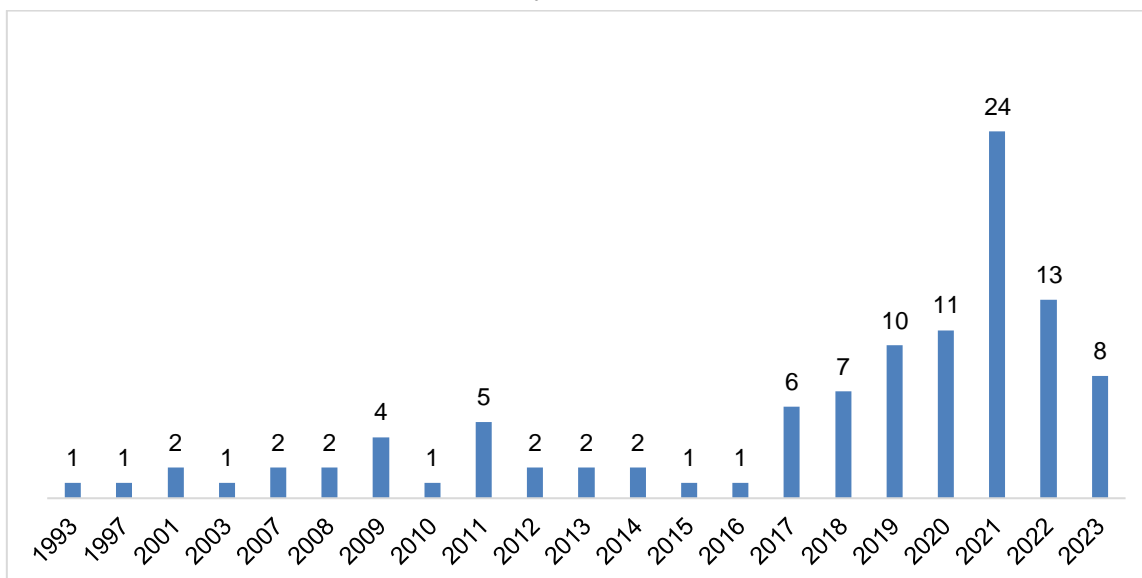
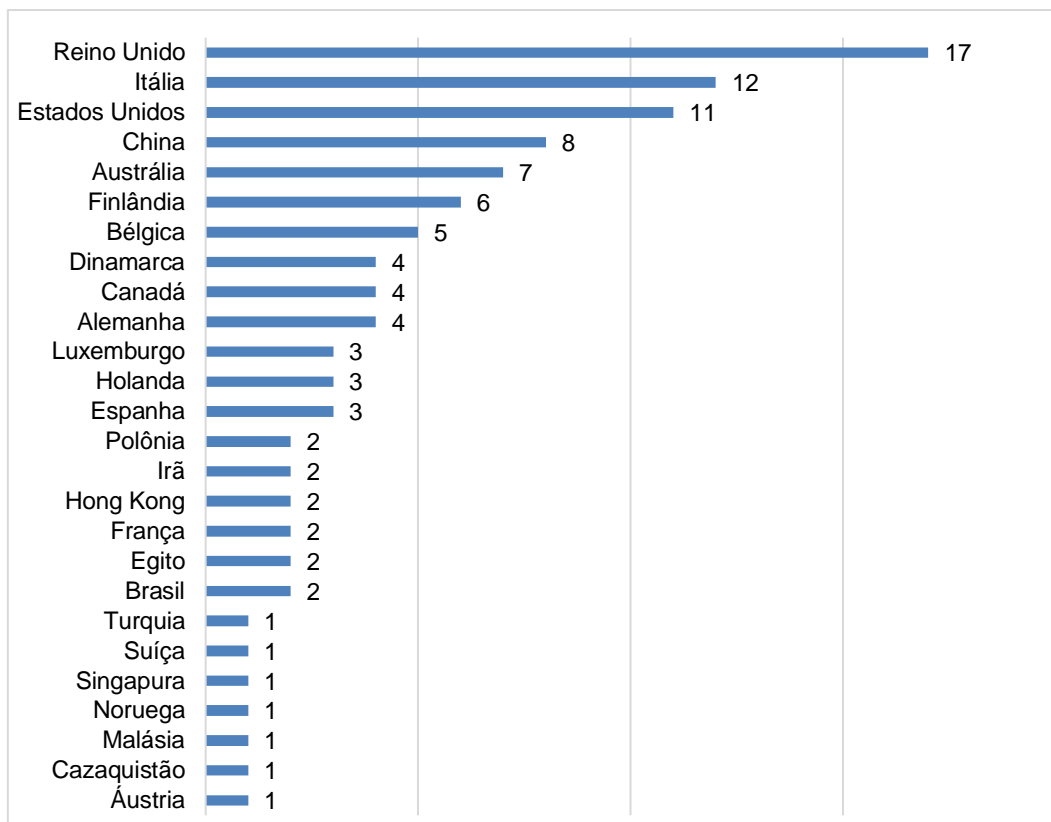


Figura 3 - Países de origem das pesquisas



Pode-se observar, a partir da Figura 3, que as pesquisas se concentram nos países Europeus, América do Norte, além de países como Austrália e Brasil, com 7 e 2 publicações, respectivamente. O país com maior número de publicações sobre o tema foi o Reino Unido, com 17 artigos, seguido por Itália com 12, Estados Unidos com 11, e China com 8. Apesar desses países de destaque, é relevante o resultado de publicações de 26 diferentes nacionalidades, demonstrando a relevância do tema em todo o mundo.

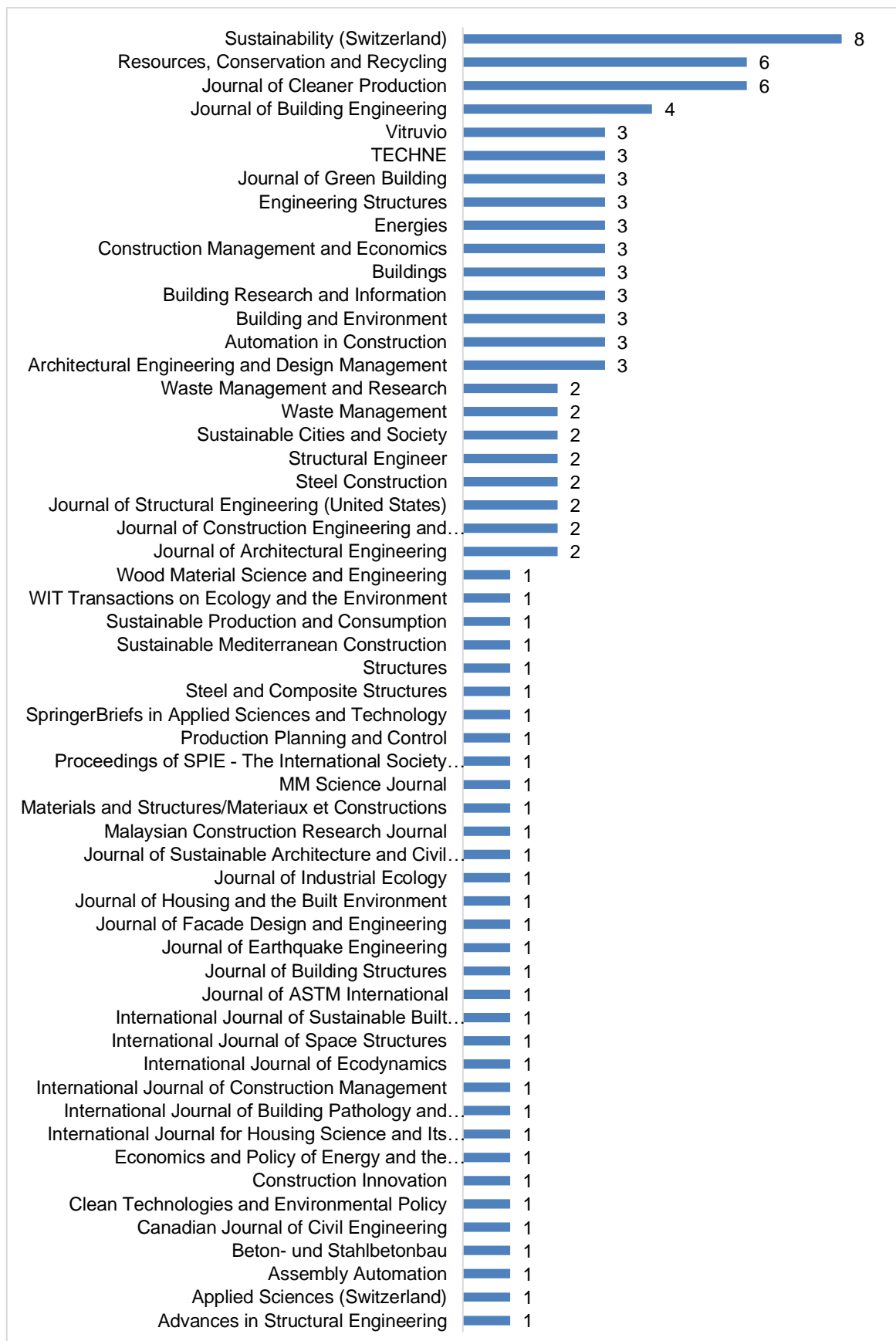
Da mesma forma que destacado na primeira questão quantitativa, se verifica que a Europa é referência nas pesquisas, em função das políticas públicas de incentivo a construções mais sustentáveis e à economia circular no setor. Além dos países europeus, outras grandes potências econômicas, como China e Estados Unidos se destacam. Observa-se que o Reino Unido, além de ter o maior número de publicações, também tem os trabalhos com maior número de citações, 499 no total, sendo a principal referência nas pesquisas sobre o projeto para desmontagem e desconstrução. Na sequência, a Itália se destaca pelas citações, tendo o artigo mais citado, de autoria de Blengini (2009), com 328 citações.

Quanto a este artigo (Blengini, 2009), a autora apresenta um estudo de caso de uma Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), da demolição e reciclagem de um edifício em Turim, Itália. Cabe destacar que, apesar da pesquisa ter sido publicada em 2009, há questões apontadas que ainda são temas de estudos atualmente, como a capacidade de resíduos reciclados suprirem a demanda por materiais de construção, o custo-benefício da reciclagem de resíduos de construção e a avaliação do impacto ambiental dos edifícios, considerando todo o seu ciclo de vida, do berço ao túmulo. Como resultados da pesquisa, a reciclagem se apresentou viável e rentável do ponto de vista ambiental. Quanto à questão econômica, se apresentou, como contrapartida ao investimento realizado, a redução de custos com aterros para os resíduos.

Em relação às pesquisas realizadas no Brasil, o artigo de Machado, De Souza e Veríssimo (2018) realizou uma análise de características do edifício que mais influenciam no processo de desconstrução, e sistematizou questões que devem ser avaliadas em um estudo de viabilidade. Entre as principais questões a serem avaliadas, para os autores, estão as possibilidades reaproveitamento, os danos aos componentes, e como se dará a separação deles.

A partir da análise da origem e período de publicação dos artigos, se identificou os periódicos de publicação das pesquisas, de acordo com o apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Número de publicações por periódico



Nessa questão, se verificou novamente a diversidade de periódicos em que os estudos foram publicados, sendo 56 revistas diferentes. Entre os que mais publicam sobre o tema estão Sustainability (Switzerland) com 8 artigos, Resources, Conservation and Recycling e Journal of Cleaner Production, com 6 artigos cada, além do Journal of Building Engineering, com 4. Se destaca que o fator de impacto das revistas com maior número de publicações é relativamente alto (3.9 para Sustainability (Switzerland), 13.2 para Resources, Conservation and Recycling e 11.1 para Journal of Cleaner Production), portanto, o tema se demonstra relevante do ponto de vista científico.

Apresentados os resultados quantitativos, as questões qualitativas avaliam, na sequência, como o projeto para desmontagem pode apoiar a economia circular, e as suas forças, fraquezas, oportunidades e ameaças a serem trabalhadas para implantação em projetos de engenharia.

Análise das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças a serem trabalhadas para implantação do projeto para desmontagem e desconstrução

Para responder a primeira questão qualitativa, e melhor avaliar as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças ao processo de implementação dos projetos para desmontagem e desconstrução na construção civil, foi elaborada uma matriz SWOT, avaliando os principais pontos identificados na literatura. A matriz está descrita nos Quadros 3, 4, 5 e 6.

Quadro 3 - Matriz SWOT: Forças (Strengths)

Forças (Strengths)		
Descrição	Classificação	Referência
(ST1) Economia de recursos materiais virgens e de emissões de CO ₂ devido à produção de materiais	Técnico	Bitar, Bergmans e Ritzen (2022) Bourke e Kyle (2019) Broniewicz e Dec (2022) Eberhardt, Birgisdóttir e Birkved (2019) Hradil, Fülöp e Ungureanu (2019) Kim e Kim (2023) Rasmussen, Birkved e Birgisdóttir (2020)
(ST2) Redução de impactos ambientais ao longo do ciclo de vida	Técnico	Keena <i>et al.</i> (2022) Rasmussen, Birkved e Birgisdóttir (2020)
(ST3) Redução da destinação de resíduos para aterro	Técnico	Akinade <i>et al.</i> (2020) Eberhardt, Birgisdóttir e Birkved (2019)
(ST4) Promoção da circularidade da construção por meio da reutilização, remanufatura ou reciclagem do produto	Técnico	Abrishami e Martín-Durán (2021) Cai e Waldmann (2019)
(ST5) Reutilização de componentes com alta qualidade e valor agregado	Técnico	Rossi e Barsanti (2021)
(ST6) Acessibilidade aos componentes no caso de manutenções de rotina, sem impacto nos seus adjacentes	Técnico	Rossi e Barsanti (2021) Vandervaeren <i>et al.</i> (2022)
(ST7) Possibilita a desconstrução como uma alternativa sustentável à demolição	Técnico	Bertino <i>et al.</i> (2021)
(ST8) Reutilização adaptativa de edifícios, reduzindo impactos ambientais da demolição completa	Técnico	Ankaraligil e Dişli (2021) Besana e Tirelli (2022)
(ST9) Preservação e recuperação de prédios históricos	Técnico	Bertino <i>et al.</i> (2021) Errante e De Capua (2021)
(ST10) Oportunidade de empregos e desenvolvimento de pequenos negócios	Organizacional	Bertino <i>et al.</i> (2021)

Quadro 4 - Matriz SWOT: Oportunidades (*Opportunities*) (Continua...)

Oportunidades (<i>Opportunities</i>)		
Descrição	Classificação	Referência
(OP1) Desenvolvimento de ferramentas de avaliação técnico-econômicas da desmontagem, desconstrução e reutilização de componentes	Técnico	Akanbi <i>et al.</i> (2019) Basta; Serror e Marzouk (2020) Cottafava e Ritzen (2021) Gillott <i>et al.</i> (2023) Hartwell, MacMillan e Overend (2021) Hradil, Fülöp e Ungureanu (2019) Joensuu <i>et al.</i> (2022) KIm e kim (2023) Mahmoudi Motahar, Hosseini Nourzad e Rahimi (2023) O'Grady <i>et al.</i> (2021) Xiao <i>et al.</i> (2022) Zoghi <i>et al.</i> (2022)
(OP2) Estudos experimentais sobre a resistência de conexões para desconstrução de estruturas de concreto, madeira e aço	Técnico	Cai <i>et al.</i> (2019) Ding <i>et al.</i> (2020a, 2020b) Lam <i>et al.</i> (2021) Odenbreit <i>et al.</i> (2023) Wang, Webster e Hajjar (2020) Yan <i>et al.</i> (2022)
(OP3) Estudos experimentais para comprovar o desempenho de materiais reutilizados	Técnico	Hartwell, MacMillan e Overend (2021)
(OP4) Pesquisa e desenvolvimento tecnológico de soluções que podem ser patenteadas para a indústria	Técnico	Derikvand e Fink (2022) Incelli e Cardellicchio (2021) Odenbreit <i>et al.</i> (2023) Rossi e Barsanti (2021)
(OP5) Aplicar a avaliação de ciclo de vida para tomada de decisão nos projetos	Técnico	Cai e Waldmann (2019) Eberhardt, Birgisdóttir e Birkved (2019) O'Grady <i>et al.</i> (2021) Rasmussen, Birkved e Birgisdóttir (2020) Xia, Ding e Xiao (2020)
(OP6) Gerenciamento das informações da construção e dos materiais utilizados por meio do BIM	Técnico	Abrishami e Martín-Durán (2021) Akinade <i>et al.</i> (2020) Anastasiades <i>et al.</i> (2021) Cai e Waldmann (2019) Kim e Kim (2023) Jayasinghe e Waldmann (2020) Mattaraia, Fabricio e Codinhoto (2021) Torgautov <i>et al.</i> (2021)
(OP7) Industrialização ou pré-fabricação de componentes de construção	Técnico	Azizibabani, Daneshjoo e Saharkhizan (2020) Cai <i>et al.</i> (2019) Torgautov <i>et al.</i> (2021) Xiong <i>et al.</i> (2021)
(OP8) <i>Design thinking</i> e projetos modulares	Técnico	Dahy (2019)
(OP9) Utilizar princípios do projeto para manufatura e montagem na redução de custos	Técnico	Abrishami e Martín-Durán (2021) Azizibabani, Daneshjoo e Saharkhizan (2020) Tik <i>et al.</i> (2019) Vaz-Serra, Wasim e Egglestone (2021)
(OP10) Aplicação dos princípios <i>Lean Construction</i>	Técnico	Torgautov <i>et al.</i> (2021)

Quadro 4 - Matriz SWOT: Oportunidades (*Opportunities*) (continuação)

Oportunidades (<i>Opportunities</i>)		
Descrição	Classificação	Referência
(OP11) Uso de meios de construção robotizados, para melhorar a eficiência de montagem e desmontagem	Técnico	Kuzmenko <i>et al.</i> (2021)
(OP12) Padronização de projetos e seleção de materiais adequados à reutilização	Técnico	Bertino <i>et al.</i> (2021) Hartwell, Macmillan e Overend (2021)
(OP13) Uso de materiais locais, reciclados ou de base biológica na construção	Técnico	Keena <i>et al.</i> (2022) Marino, Lembo e Di Lucchio (2021) Menegatti <i>et al.</i> (2022) Xiao <i>et al.</i> (2021)
(OP14) Padronização de processos de desconstrução	Técnico	Bourke e Kyle (2019)
(OP15) Usos de tecnologias para mapeamento, classificação e gerenciamento, criando um banco único para comercialização de materiais recuperados	Técnico	Akinade <i>et al.</i> (2020) Cai e Waldmann (2019) Cottafava e Ritzen (2021) Jayasinghe e Waldmann (2020)
(OP16) Passaporte de materiais e declarações ambientais de produto	Técnico	Anastasiades <i>et al.</i> (2021) Besana e Tirelli (2022) Bourke e Kyle (2019) Cottafava e Ritzen (2021)
(OP17) Aplicação em projetos de abrigo temporário	Técnico	Fisk e Faulkner (2019)
(OP18) Valorização de uma cadeia de suprimentos de materiais reutilizados	Organizacional	Hartwell, MacMillan e Overend (2021) O'Grady <i>et al.</i> (2021) Viscuso (2021)
(OP19) Atribuir pontos ao projeto para desmontagem nas metodologias de avaliação e certificação ambiental	Organizacional	Akinade <i>et al.</i> (2020) Guerra e Leite (2021)
(OP20) Políticas públicas e incentivos governamentais ao projeto para desmontagem e desconstrução	Organizacional	Akinade <i>et al.</i> (2020) Bertino <i>et al.</i> (2021) Roberts <i>et al.</i> (2023) Tarpio, Huuhka e Vestergaard (2022)
(OP21) Legislação para padronização de componentes, conexões, testes e garantia dos produtos reutilizados	Organizacional	Anastasiades <i>et al.</i> (2021) Hartwell, MacMillan e Overend (2021) Torgautov <i>et al.</i> (2021)
(OP22) ISO 20887/2020	Organizacional	Anastasiades <i>et al.</i> (2021)

Quadro 5 - Matriz SWOT: Fraquezas (*Weaknesses*)

Fraquezas (<i>Weaknesses</i>)		
Descrição	Classificação	Referência
(WK1) Aumento de custo inicial do projeto	Técnico	Brigante, Ross e Bladow (2023)
(WK2) Aumento dos impactos ambientais iniciais para possibilitar a desmontagem ou desconstrução	Técnico	Menegatti <i>et al.</i> (2022) Xiao <i>et al.</i> (2021)
(WK3) Imprecisão nas estimativas de desempenho residual e impacto ambiental futuro dos materiais, devido ao longo ciclo de vida das edificações	Técnico	Akinade <i>et al.</i> (2020) Bourke e Kyle (2019) Cottafava e Ritzen (2021) Eberhardt, Birgisdóttir e Birkved (2019) Eberhardt <i>et al.</i> (2020) Rasmussen, Birkved e Birgisdóttir (2020)
(WK4) Custos operacionais para manutenção, desconstrução, logística e realocação dos componentes	Técnico	Akinade <i>et al.</i> (2020) Bourke e Kyle (2019) Guerra e Leite (2021) Kim e Kim (2023) Viscuso (2021)
(WK5) Baixa capacidade de abastecimento de mercado	Organizacional	Viscuso (2021)

Quadro 6 - Matriz SWOT: Ameaças (*Threats*)

Ameaças (<i>Threats</i>)		
Descrição	Classificação	Referência
(TH1) Estoque de edifícios construídos com materiais virgens, sem princípios circulares, e ausência de informações dessas construções	Técnico	Akinade <i>et al.</i> (2020) Cai e Waldmann (2019) Cottafava e Ritzen (2021)
(TH2) Construções personalizadas e não replicáveis, estruturas monolíticas (principalmente de concreto)	Técnico	Anastasiades <i>et al.</i> (2023) Guerra e Leite (2021) Zoghi <i>et al.</i> (2022)
(TH3) Baixo nível de detalhamento (LOD), dos projetos desenvolvidos em BIM	Técnico	Jayasinghe e Waldmann (2020)
(TH4) Falta de suporte tecnológico para compatibilizar o projeto para desmontagem e desconstrução com o BIM	Técnico	Akinade <i>et al.</i> (2020) Basta, Serror e Marzouk (2020)
(TH5) Falta de critérios para alocação de impactos e créditos de reutilização ao longo de vários ciclos de vida	Técnico	Cottafava e Ritzen (2021) Eberhardt, Birgisdóttir e Birkved (2019) Roberts <i>et al.</i> (2023)
(TH6) Alterações nos requisitos de desempenho e mudanças climáticas	Técnico	Bourke e Kyle (2019)
(TH7) Dificuldade em desenvolver um caso de negócios para o projeto para desmontagem	Técnico	Akinade <i>et al.</i> (2020)
(TH8) Riscos de prejuízos financeiros e de cronograma em função das operações adicionais necessárias para a desconstrução	Técnico	Anastasiades <i>et al.</i> (2023)
(TH9) Ausência de legislação com critérios específicos para projetos para desmontagem, desconstrução e os materiais recuperados	Organizacional	Akinade <i>et al.</i> (2020) Broniewicz e Dec (2022) Cottafava e Ritzen (2021) Cruz Rios, Grau e Bilec (2021) Duncheva e Bradley (2019) Guerra e Leite (2021) Piccardo e Hughes (2022) Viscuso (2021)
(TH10) Aversão do mercado ao risco operacional de utilizar materiais recuperados, restringindo a sua comercialização	Organizacional	Akinade <i>et al.</i> (2020) Anastasiades <i>et al.</i> (2023) Hartwell, MacMillan e Overend (2021)
(TH11) Cultura de protecionismos entre fornecedores e empreiteiros	Organizacional	Anastasiades <i>et al.</i> (2023)
(TH12) Alterações no valor econômico e custo dos materiais no futuro	Organizacional	Eberhardt <i>et al.</i> (2020)
(TH13) Falta de capacidade técnica das equipes de demolição para remover os componentes com manutenção do valor de mercado e investimento nessa formação	Organizacional	O'Grady <i>et al.</i> (2021) Pittri <i>et al.</i> (2023)
(TH14) Baixa aderência entre os profissionais da construção	Organizacional	Guerra e Leite (2021)

A apresentação e discussão de cada um dos tópicos da matriz está descrita nas subseções a seguir.

Forças

A partir do Quadro 3 se observa que os principais benefícios estão na minimização dos impactos ambientais (ST2), sobretudo do ponto de vista da economia na extração de novos recursos e de emissões de CO₂, devido à produção de materiais (ST1), comprovada por resultados de sete diferentes referências avaliadas. A redução de indicadores como o potencial de aquecimento global, chegou a 47% no estudo de Rasmussen, Birkved e Birgisdóttir (2020), na fase de reforma, e apresentou uma redução de 17% no carbono incorporado ao projeto, em relação a um projeto referência que não utilizava os princípios de desmontagem. Essa economia de recursos, além de ser comprovada por resultados, é utilizada em grande parte dos trabalhos como justificativa para que sejam desenvolvidos.

O terceiro ponto abordado foi redução da destinação de resíduos a aterros (ST3), que é um dos grandes pontos fortes de adoção dessas metodologias de projeto, tanto do ponto de vista ambiental, quanto financeiro, devido aos custos empregados pelas empresas para destinação adequada dos resíduos de construção e demolição. Relacionando as técnicas de projeto à economia circular, os projetos para desmontagem e desconstrução oportunizam, por meio de suas técnicas de construção, a reutilização, remanufatura ou reciclagem (ST4), aumentando a durabilidade desses produtos na cadeia produtiva, em diversos ciclos de vida. Para tal, é relevante avaliar que os produtos devem manter sua qualidade e valor agregado (ST5). Rossi e Barsanti (2021) sugerem como alternativa para isso o planejamento de estruturas resilientes, que sejam adaptáveis às demandas futuras dos edifícios, não se tornando obsoletas com facilidade.

Outro ponto forte se apresenta na possibilidade de desconstrução do edifício (ST7), caracterizada por um desmantelamento seletivo dos componentes construtivos, que apresenta impactos ambientais positivos em relação a uma demolição, que é um processo destrutivo, mas que pode ser mais rápido e barato (Bertino *et al.* 2021). Ainda durante o ciclo operacional da edificação, um fator impactado pela adoção do DfD é a manutenibilidade das edificações (ST6), conforme destacado por Vandervaeren *et al.* (2022) e Rossi e Barsanti (2021).

A partir do momento em que os componentes são desmontados com maior facilidade, as manutenções também se tornam mais fáceis e tem menor custo, uma vez que não há perda de elementos adjacentes àquele que precisa ser substituído ou consertado. Essa análise impacta tanto em resultados de ACV, quanto de custo de ciclo de vida das edificações, apresentando resultados mais positivos. Pesquisas como a de Vandervaeren *et al.* (2022) utilizam a modelagem por meios de ferramentas BIM e análises estatísticas, para melhorar a previsibilidade do comportamento da estrutura desmontável ao longo do tempo, combatendo o ponto fraco da incerteza de desempenho (WK3) apontada por autores como Akinade *et al.* (2020), Bourke e Kyle (2019), entre outros, descritos no Quadro 5.

Outras duas forças levantadas são a reutilização adaptativa de edifícios (ST8) e preservação de prédios históricos (ST9). Com isso, se pode poupar a demolição e dispensar a necessidade de uma nova construção, promovendo a redução de impactos ambientais e financeiros desses processos (Ankaraligil; Dişli, 2021; Besana; Tirelli, 2022). Neste quesito, é relevante destacar o conceito de adaptabilidade da construção, que de acordo com a ISO 20887, se refere a “[...] capacidade de ser alterado ou modificado para se adequar a um propósito específico [...]” (ISO, 2020, p. 2).

Portanto, em comparação com o projeto para desmontagem, este se adequa melhor a estratégias de curto prazo, em que se melhora a versatilidade do projeto, reduzindo impactos por meio do reaproveitamento do edifício como um todo (reutilização adaptativa), podendo ser ele novo ou um estoque existente. Para alcançar esse objetivo, podem ser utilizadas técnicas como plantas abertas, grandes alturas de piso a piso e projetos mais simplificados (Rockow; Ross; Becker, 2021). Quanto aos prédios históricos, cabe ainda ressaltar o benefício social de se preservar as características arquitetônicas da época em que foi construído, incorporando soluções tecnológicas que possam otimizar o seu desempenho operacional para a demanda atual.

Observa-se, no Quadro 3, que nove dos dez pontos fortes são classificados como técnicos, contendo principalmente argumentos que envolvem benefícios ambientais, sendo essa a principal motivação para as pesquisas e aplicações dos projetos para desmontagem e desconstrução. Em contraponto, se verifica no Quadro 5 que muitas das fraquezas estão relacionadas a questões econômicas, o que pode justificar ameaças que serão aprofundadas mais adiante. Todavia, o único ponto forte classificado como organizacional é a possibilidade de empregos que podem ser gerados para atender à necessidade de desconstrução (ST10), bem como, o desenvolvimento de pequenos negócios que poderão trabalhar ativamente nos processos de desmontagem e na logística da reutilização desses componentes, incentivando a economia local (Bertino *et al.*, 2021).

Oportunidades

Quanto às oportunidades indicadas na literatura, se pode observar que muitos estudos focaram no desenvolvimento de ferramentas de avaliação técnico-econômicas da desmontagem, desconstrução e reutilização de materiais (OP1). Do ponto de vista técnico, os estudos demonstram as vantagens de economia de recursos, já elencadas nos pontos fortes. Referente à avaliação econômica, ocorre por meio de ferramentas que comparam diferentes opções de materiais e técnicas de desconstrução, por exemplo, comparando os resultados em termos de custos de materiais e operacionais, possibilitando ao projetista uma tomada de decisão mais assertiva. Com isso, a principal oportunidade dessas pesquisas é comprovar, por meio de estudos de caso hipotéticos ou reais, os benefícios ambientais e econômicos dos projetos para desmontagem e desconstrução.

Entre os estudos que apresentaram essas técnicas, Mahmoudi Motahar, Hosseini Nourzad e Rahimi (2023), desenvolveram um método de avaliação da desconstrutibilidade, que leva em conta o processo de seleção de materiais e o seu impacto (carbono incorporado), junto ao planejamento sequencial da desmontagem, avaliando tempo e custo para diferentes técnicas de desconstrução. Outro exemplo é uma ferramenta de visualização da desmontagem e desconstrução do edifício, que funciona como uma autoria pré-desconstrutiva, para auxiliar no mapeamento de potenciais mercados pós-desconstrução e na fiscalização por parte de órgãos reguladores, sobre a conformidade dos projetos quanto aos requisitos de sustentabilidade e circularidade, de Akanbi *et al.* (2019).

A auditoria pré-desconstrutiva se caracteriza por uma simulação virtual de um plano de desconstrução, visualizada por meio de um plug-in ao software Revit. Com isso, se dividem os materiais de acordo com seus destinos previstos (reciclagem, reutilização, recuperação de energia ou aterro sanitário), para que sejam avaliados individualmente. Essa funcionalidade pode proporcionar não apenas uma melhor avaliação para o projetista no momento de definir os materiais e processos construtivos que serão aplicados em seus projetos, mas também uma possibilidade de analisar os mercados potenciais para a utilização desses componentes ao final do ciclo de vida do edifício, por meio de um banco de dados robusto (Akanbi *et al.*, 2019).

Em complemento a isso, saber comunicar esses resultados auxilia na argumentação com as partes interessadas para aceitar a utilização de materiais recuperados ou prever as técnicas de desmontagem no projeto, que por vezes podem acarretar questões estéticas, causando desconforto ao usuário. Dessa forma, quanto mais estudos de caso avaliando essas alternativas forem realizados, considerando as variáveis ambientais, de tempo e custo, mais otimizados serão os processos de desconstrução, sendo uma oportunidade para maximizar seus ganhos e valorizar essa cadeia de suprimentos (OP18) (Hartwell; Macmillan; Overend, 2021).

Do ponto de vista de desempenho operacional dos produtos reutilizados e das conexões para desmontagem (OP2 e OP3), estudos como o de Xiong *et al.* (2021) apresentam alternativas de projeto que permitem as conexões reversíveis atenderem ao desempenho mecânico esperado, por meio de técnicas de pré-fabricação. Essas oportunidades auxiliam a contrapor as ameaças da aversão do mercado aos materiais reutilizados e conexões reversíveis (TH10), apoiando também a valorização da cadeia de suprimento (OP18), ao garantir a segurança da sua utilização.

Ainda alinhadas a essas questões, as pesquisas que focam no desenvolvimento tecnológico de soluções que podem ser patenteadas para a indústria (OP4), auxiliam a fazer a transição dos conceitos da academia para aplicação em grande escala. Como exemplo dessas pesquisas, pode ser citado um conector adaptado à desconstrução para uma estrutura de piso misto madeira-concreto, desenvolvido e testado por Derikvand e Fink (2022), e um sistema estrutural de aço, semelhante a um lego, desmontável e reutilizável, além de adaptado à padronização e produção em série, proposto por Odenbreit *et al.* (2023).

Algumas ferramentas de apoio são citadas pelos autores como potencializadores do uso do projeto para desmontagem e desconstrução, a primeira delas é a avaliação de ciclo de vida (OP5). Como os ganhos ambientais são fortemente dependentes da escolha de materiais que serão utilizados no projeto e sua necessidade de manutenção, a durabilidade considerada para a estrutura, e o número de ciclos de reutilização estimados, uma avaliação clara e criteriosa deve ser realizada sobre o projeto, sendo a ACV uma ferramenta regulamentada a nível mundial. Todavia, para múltiplos ciclos de vida a ferramenta ainda é limitada, ao passo que se deve analisar o tempo estimado de cada ciclo, a necessidade de reparações para prolongamento da sua vida útil, e como e quando os impactos e créditos da reutilização serão alocados (Eberhardt; Birgisdóttir; Birkved, 2019). Esta que é, em oposição, uma ameaça ao processo, descrita em TH5.

Em relação ao tópico OP6, os softwares BIM são utilizados em diversos trabalhos como principal ferramenta de gerenciamento desses ativos. Ainda assim, existem barreiras observadas na sua utilização, como o baixo nível de detalhamento dos projetos (TH3), e a ausência de suporte tecnológico para compatibilização dessas informações (TH4), sendo essas duas das ameaças elencadas no Quadro 6.

Entre os estudos que avaliam ferramentas com o suporte do BIM está o estudo brasileiro de Mattaraia, Fabricio e Codinhoto (2021), que propuseram uma estrutura de classificação de materiais quanto a desmontagem utilizando um modelo BIM 3D. O BIM, neste projeto, se apresenta como uma oportunidade de potencializar a adoção do projeto para desmontagem, por ser uma ferramenta facilitadora da tomada de decisão, possibilitando a avaliação comparativa de diferentes sistemas construtivos ainda na fase inicial do projeto, de forma clara e objetiva. Ainda, com o uso de ferramentas BIM, outras simulações de custo e consumo de energia durante a operação do edifício podem ser realizadas, a fim de considerar a sustentabilidade da solução de maneira mais global, não apenas focada na reutilização dos componentes.

Na sequência, um grupo de trabalhos avaliados trata da otimização dos processos de construção por meio de técnicas mais racionalizadas e econômicas, como a industrialização e a pré-fabricação (OP7), Design thinking e projetos modulares (OP8), projeto para manufatura e montagem (OP9) e os princípios do Lean Construction (OP10), apresentando oportunidades para maximizar os ganhos da desconstrução. Essas ferramentas proporcionam ganhos econômicos pela redução da mão-de-obra e operações realizadas in loco, com isso, se reduzem desperdícios de materiais e de tempo em serviços que não agregam valor ao produto, há maior previsibilidade de estoques e são produzidos resultados de maior qualidade e padronização.

Do ponto de vista da desmontagem, pela padronização exigida por essas técnicas, se torna mais fácil realocar um componente em uma nova construção, além disso, as matérias-primas também são pré-selecionadas pela indústria com mais qualidade (OP12), garantindo maior durabilidade do componente. Para além das questões de processo, o uso de tecnologias pode alavancar ainda mais a eficiência da construção, por meio de sistemas robotizados (Kuzmenko *et al.*, 2021). Com isso, alinhar esses princípios com o projeto para desmontagem pode combinar os benefícios ambientais e econômicos (Azizibani; Daneshjoo; Saharkhizan, 2020).

Visando os processos de final da vida útil, a padronização das etapas de desconstrução (OP14) também é um fator chave para aumentar a eficiência do trabalho, minimizando impactos de custo e prazo. Para além, outra oportunidade alinhada a esses fatores é a identificação dos mercados que podem consumir os produtos reutilizados. Akinade *et al.* (2020) e Cai e Waldmann (2019), reforçam a importância da utilização de bancos de materiais (OP15), que forneçam as informações dos componentes ao longo de seu ciclo de vida, aliado a isso, Akinade *et al.* (2020) propõem um serviço único de comercialização desses produtos.

Para gerenciamento dessas informações, tecnologias podem ser utilizadas, sendo uma proposta o uso de blockchain para armazenamento de dados dos componentes materiais (Cottafava; Ritzen, 2021). A tecnologia é uma cadeia de registros digitais que armazena informações de transações com segurança criptografada de forma automática, sem intermediários, como agências governamentais (Çetin; De Wolf; Bocken, 2021).

Nesse contexto, também estão inseridas as declarações ambientais de produto e os passaportes de materiais. O primeiro, é um documento fornecido pelos fabricantes com informações ambientais sobre a procedência e fabricação do material, enquanto o passaporte de materiais é um documento digital que serve para rastrear e informar todos os componentes contidos em uma edificação, por meio do qual pode se avaliar aqueles que estão em condições de recuperação e reutilização (Racine *et al.*, 2021). Cabe destacar que todas essas ferramentas de gestão de informações sobre os edifícios e materiais podem ser gerenciadas por meio do BIM, conforme descreve OP6, além de intensificar a força ST4, de promoção da circularidade, uma vez que todos esses projetos permeiam ações que visam um ambiente construído mais circular.

Sob a perspectiva organizacional, a regulamentação é vista por alguns autores como uma ameaça ao projeto para desmontagem e desconstrução (TH9, Quadro 6), principalmente por impor requisitos de desempenho que dificultam a reinserção de materiais reutilizados na cadeia produtiva. Por outros, é vista como uma oportunidade para alavancar a sua utilização (OP21), desde que defina padrões e critérios de aceitação condizentes com a realidade dos materiais recuperados. Em conjunto a essas iniciativas, devem ser propostas políticas públicas de incentivo aos projetos para desmontagem, e a reutilização de componentes em construções novas (OP20).

Todavia, a abrangência dessas políticas depende do local em que se está avaliando. Trabalhos realizados na Europa já tratam de ações mais específicas, como a determinação de um percentual de materiais reutilizados em uma nova construção, ou da obrigatoriedade de desconstrução seletiva para prédios de determinado porte, conforme citado por Bertino *et al.* (2021). Porém, em países como os Estados Unidos e outros da América, como o caso do Brasil, que ainda não possuem políticas de incentivo à economia circular, este seria o primeiro passo. Quanto às regulamentações, um exemplo de sucesso é a ISO 20887, que define princípios, requisitos e orientação para essas metodologias, incentivando a sua utilização a nível mundial.

Por fim, ações mais específicas são elencadas nos estudos analisados, como a utilização do projeto para desmontagem em abrigos temporários (OP17) (Fisk; Faulkner, 2019), e a atribuição de pontos ao projeto para

desmontagem nas metodologias de avaliação e certificação ambiental (OP19). Estas devem ser avaliadas para situações específicas do contexto em que estão inseridas, tanto do ponto de vista da necessidade de construções temporárias, avaliando seus impactos financeiros e ambientais, quanto das regulamentações de cada local para certificações ambientais.

Fraquezas

Assim como se observou nas demais análises, a maior parte dos pontos fracos se classificam como técnicos, a partir das abordagens da literatura. Todavia, ao contrário dos pontos fortes, que se concentravam nas questões ambientais, os pontos fracos estão mais voltados às questões econômicas. O primeiro deles é o aumento do custo inicial do projeto para prever uma desmontagem ou desconstrução futura (WK1), devido aos materiais adicionais necessários, ou a substituição de materiais já mais tradicionais no mercado por outros que irão exigir maior grau de industrialização. Além disso, os custos operacionais para manutenção, desconstrução, logística e realocação dos componentes (WK4) são os mais impactantes sob a perspectiva de aumentar a sua aplicação na indústria da construção, comparando com o baixo custo de uma demolição e construção com materiais virgens.

Dessa forma, o prolongamento da vida útil de determinados componentes pode acarretar custos adicionais que superariam os benefícios da reutilização, sendo necessário avaliar os benefícios e encargos desse processo (Bourke; Kyle, 2019). Nesses custos, podem ser incluídas ações para permitir a reutilização de materiais ou a contratação de consultorias externas, com profissionais especialistas nos processos de demolição e reutilização, caso a equipe interna não atenda a essa demanda (Guerra; Leite, 2021). Assim, o projeto para desmontagem não atenderia a premissa de aliar benefícios financeiros aos ganhos ambientais, conforme a premissa da economia circular. Todavia, se for possível recuperar materiais em qualidade e quantidade suficientes para reinserção no mercado, esses custos podem ser equilibrados (Broniewicz; Dec, 2022).

Alinhada a essa última afirmação, a única questão organizacional é a de baixa capacidade de abastecimento de mercado (WK5), em função da pequena quantidade de materiais que são recuperados atualmente, em comparação a demanda de materiais para a construção civil. Entretanto, várias das oportunidades abordadas na seção anterior podem amenizar esse ponto fraco, potencializando os mercados de produtos reutilizados.

Quanto ao ponto fraco WK2, a possibilidade de aumentar o impacto inicial para possibilitar a desmontagem foi observada no estudo de Menegatti *et al.* (2022). Neste artigo, as vigas projetadas com material reciclado e para a desmontagem obtiveram resultados muito mais negativos na ACV, em comparação à viga comum analisada, em função da maior quantidade de aço pós-tensionado adicionada na viga projetada para desmontagem. Dessa forma, uma avaliação mais criteriosa deve ser realizada na seleção dos materiais utilizados, pois devido às incertezas inerentes ao final do ciclo de vida, é importante reduzir os impactos iniciais.

Por fim, o último ponto fraco retoma a questão da imprecisão nas estimativas de desempenho residual e impacto ambiental futuro dos materiais, devido ao longo ciclo de vida das edificações, que foi abordado por seis diferentes trabalhos. Isso se deve ao fato da possibilidade de degradação a qual o material está exposto ao longo da operação do edifício, fazendo com que, se não receber a manutenção adequada, não esteja apto à reutilização ao final do ciclo de vida projetado. Bourke e Kyle (2019) salientam a importância de considerar que todas as variáveis projetadas nas análises de ciclo de vida dos produtos podem sofrer alterações, seja devido às mudanças de requisitos de projeto ao longo do tempo, para atender a novas demandas funcionais, seja pelos impactos ambientais sofridos pelos componentes durante a sua utilização.

Ameaças

Observa-se, no Quadro 6, que muitas ameaças são apontadas quanto às dificuldades inerentes ao setor da construção civil, pela cultura da construção linear ou pelas incertezas quanto aos riscos e possibilidades de reutilização futura dos componentes. Entre as ameaças que o setor da construção apresenta, está um estoque de edifícios que não aplicam os conceitos de desmontagem (TH1), e com isso, ao tentar se realizar uma desconstrução racionalizada, há muitos custos que acabam tornando o processo inviável. Além disso, esse mesmo estoque de edifícios foi construído com materiais virgens (com altos indicadores de impacto ambiental) e não possui uma gestão adequada dos componentes ao longo do ciclo de vida, carecendo de informações para uma reutilização futura.

Quanto às técnicas construtivas observadas nesse estoque existente, se destacam estruturas personalizadas e monolíticas (TH2) (Guerra; Leite, 2021), compostas principalmente de concreto. Apesar da relevância do uso do concreto e da sua importância para o desenvolvimento da construção civil, diversas pesquisas apontam que

a utilização dessas estruturas dificulta o processo de desmontagem, devido às ligações químicas e irreversíveis, como Zoghi *et al.* (2022); Broniewicz; Broniewicz (2020) e Mattaraia, Fabricio e Codinhoto (2021). Em contrapartida, diversas soluções em estruturas de aço (Broniewicz; Broniewicz, 2020; Basta; Serror; Marzouk, 2020; Hradil; Fülöp; Ungureanu, 2019) e madeira (Marino; Lembo; Di Lucchio, 2021; Derikvand; Fink, 2022; Duncheva; Bradley, 2019) são propostas. Com isso, se identifica como uma barreira aos projetos para desmontagem e desconstrução a carência de soluções para desmontagem de estruturas de concreto.

Como já foi citado anteriormente, alterações de desempenho são um risco para a reutilização de materiais, todavia, uma ameaça potencializadora podem ser as alterações de requisitos normativos devido à diversos fatores, como as mudanças climáticas (Bourke; Kyle, 2019). Bem como, não há certeza sobre o valor de mercado (TH12) que esse produto terá em função dessas questões de desempenho. Ainda, são sinalizados como ameaças os riscos de prejuízos financeiros e de cronograma em função das operações adicionais necessárias para a desconstrução (TH8), e por consequência, dificuldade em desenvolver um caso de negócios para o projeto para desmontagem, que possa auxiliar a viabilizar a sua implementação.

Guerra e Leite (2021) apontam como entrave a resistência dos profissionais em utilizar materiais recuperados (TH14), já que os profissionais entrevistados em sua pesquisa não compram materiais recuperados para seus projetos, apenas reutilizam alguns materiais próprios para economia de recursos. Ainda da perspectiva organizacional, são elencadas a falta de capacidade técnica das equipes de demolição para remover os componentes com manutenção do valor de mercado e o investimento nessa formação (TH13), e a cultura de protecionismos entre fornecedores e empreiteiros (TH11). Enquanto a primeira pode ser contida por meio de treinamento e desenvolvimento de especialistas na área, a segunda pode ser mitigada por meio de estudos que comprovem a viabilidade financeira do processo como um todo.

Como o projeto para desmontagem e desconstrução pode apoiar uma construção mais circular

O projeto para desmontagem e o projeto para desconstrução se apresentam na literatura como duas das principais estratégias da economia circular no setor da construção (Guerra; Leite, 2021). Seja para uma reutilização à curto prazo, ou para a desconstrução e recolocação de toda a estrutura, dentro da economia circular, estas são abordagens para economia de recursos (Bourke; Kyle, 2019).

Comparando o sistema orientado para desmontagem com o tradicional, a vantagem se dá nos ciclos de vida de reutilização dos materiais, sendo que, quanto mais ciclos são propostos, maior é o benefício ambiental, em função do prolongamento da vida útil do componente (Eberhardt; Birgisdóttir; Birkved, 2019). Assim, são atendidos os princípios de otimização do ciclo de vida dos produtos e de loop, característicos da economia circular (Bourke; Kyle, 2019).

Apesar disso, a utilização dos conceitos de projeto para desmontagem deve ir além dos objetivos de reutilização dos materiais, devendo visar uma cadeia de abastecimento que valorize matérias-primas locais, por meio de tecnologias de produção e adaptabilidade dos projetos, atingindo o desenvolvimento sustentável por meio de edifícios mais resilientes (Marino; Lembo; Di Lucchio, 2021). Portanto, o objetivo é a reutilização de componentes com alta qualidade, não apenas reduzindo o impacto ambiental, mas visando reter o valor do produto ao final do ciclo de vida (Rossi; Barsanti, 2021), atendendo às premissas econômicas e ambientais da economia circular.

Conclusões

O objetivo do presente artigo foi avaliar os potenciais para aplicação do “*design for*” abordando com ênfase o projeto para desmontagem e o projeto para desconstrução, como ferramentas da economia circular aplicada à construção civil. Quanto às questões quantitativas, o ano com o maior número de publicações sobre o tema foi 2021. Sobre a origem das publicações, grande parte das pesquisas é desenvolvida a Europa, sendo Reino Unido o país com mais artigos. *Journal of Cleaner Production*, *Resources, Conservation and Recycling* e *Sustainability* (Switzerland) foram os periódicos com mais publicações.

Referente à avaliação dos potenciais e alternativas para a adoção dos projetos para desmontagem e desconstrução, a análise da matriz SWOT serviu de base para uma avaliação estratégica para incentivo à adoção dessas técnicas. A maioria dos fatores elencados se classificou como técnicos, tendo ainda poucas iniciativas organizacionais de incentivo a essas práticas.

Entre as principais forças elencadas para o processo, estão a redução da extração de materiais virgens, e a economia de recursos para uma nova construção, sendo esses diretamente relacionados à economia circular.

Observam-se dificuldades na previsão dos impactos a longo prazo, seja pela incerteza do impacto de cada material em um cenário futuro, ou pela alteração na composição dos materiais durante a sua operação. Diante desses fatores, avaliar o ciclo de vida dos componentes da construção e comprovar as vantagens do projeto para desmontagem e desconstrução se torna mais difícil.

Para conter esses pontos fracos, diversas pesquisas propõem ferramentas de avaliação técnico-econômicas da desmontagem, desconstrução e reutilização de componentes, que auxiliam a escolher os materiais e processos de construção e desconstrução mais adequados para se atingir melhores resultados ambientais e econômicos. Estes estudos, em conjunto com pesquisas de desenvolvimento de produtos e soluções que podem ser aplicadas na indústria, podem garantir a transição dos conceitos da academia para o mercado da construção.

Avaliando os pontos fracos, algumas questões técnicas são elencadas, como a falta de padronização dos projetos, que ao serem personalizados, dificultam a replicabilidade e reutilização dos componentes. Com isso, o incentivo à padronização de projetos por meio da pré-fabricação ou técnicas de projeto para montagem e manufatura são alternativas consideradas.

Quanto às questões de regulamentação, alguns autores apontam que as normas atuais são uma ameaça, pois os critérios não estão de acordo com os materiais reutilizados, enquanto outros veem a formulação de normas específicas como uma oportunidade para incentivar o uso do projeto para desmontagem e desconstrução. Entretanto, esses documentos devem ser acompanhados de políticas públicas que incentivem os princípios da economia circular como uma ferramenta para se atingir maior sustentabilidade na construção, como já é realidade na Europa, mas ainda não é aplicado em países como o Brasil.

Com base nessa análise, foram respondidas as perguntas de pesquisa, avaliando que os projetos para desmontagem e desconstrução tem o potencial de promover a reutilização direta dos componentes da construção, a partir de soluções de projeto que planejem todos o ciclo de vida da edificação, apoiando, dessa forma, a circularidade dos produtos. Todavia, seu processo deve ser avaliado de maneira abrangente, promovendo a construção de edifícios mais resilientes e fomentando uma cadeia de suprimentos estruturada desses materiais.

Referente às suas forças e fraquezas a serem trabalhadas para implantação em projetos de engenharia, para a indústria da construção aplicar esses conceitos é necessário promover a padronização e industrialização dos componentes, para que então possam ter garantia de qualidade e reutilização. Em complemento, é necessário viabilizar os mercados de componentes reutilizados, que também podem ser obrigatórios para novos empreendimentos, tendo em vista os ganhos ambientais resultantes dessas práticas.

Para pesquisa futuras, se verifica que a questão econômica é apontada por muitos autores como uma barreira para implementação do projeto para desmontagem, principalmente para os custos que envolvem uma desconstrução. Logo, devem ser estudadas alternativas que otimizem os custos inerentes à desconstrução e logística envolvida na reutilização.

Por fim, a principal limitação imposta a pesquisa é que a elaboração da matriz SWOT considerou a análise dos autores sobre os artigos avaliados na revisão sistemática de literatura. Para validação dos resultados, seria relevante validar os tópicos abordados por meio de entrevistas ou grupos focais com diferentes partes interessadas no processo, a fim de identificar se essas conclusões condizem com a realidade local.

Referências

- ABRISHAMI, S.; MARTÍN-DURÁN, R. BIM and DFMA: a paradigm of new opportunities. *Sustainability*, v. 13, n. 17, set. 2021.
- AKANBI, L. A. *et al.* Disassembly and deconstruction analytics system (D-DAS) for construction in a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, v. 223, p. 386–396, 2019.
- AKINADE, O. *et al.* Design for deconstruction using a circular economy approach: barriers and strategies for improvement. *Production Planning and Control*, v. 31, n. 10, p. 829–840, 2020.
- AKINADE, O. O. *et al.* Design for Deconstruction (DfD): critical success factors for diverting end-of-life waste from landfills. *Waste Management*, v. 60, p. 3–13, 2017.
- ANASTASIADIS, K. *et al.* Stakeholder perceptions on implementing design for disassembly and standardisation for heterogeneous construction components. *Waste Management and Research*, v. 41, n. 8, p. 1372–1381, ago. 2023.

- ANASTASIADIS, K. *et al.* Standardisation: an essential enabler for the circular reuse of construction components? A trajectory for a cleaner European construction industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 298, 2021.
- ANKARALIGIL, B.; DIŞLI, G. Sustainable and traditional technologies in kutahya historic houses and their contribution to circularity: The case of lajos kossuth house. **Vitruvio**, v. 6, n. 1, p. 92–109, 2021.
- ARRIGONI, A. *et al.* Life cycle environmental benefits of a forward-thinking design phase for buildings: the case study of a temporary pavilion built for an international exhibition. **Journal of Cleaner Production**, v. 187, p. 974–983, 2018.
- AZIZIBABANI, M.; DANESHJOO, K.; SAHARKHIZAN, S. Investigating the impact of the prefabrication concept on the design and selection of building components, case study: peripheral walls in mass housing projects. **Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering**, v. 27, n. 2, p. 40–52, 12 nov. 2020.
- BASTA, A.; SERROR, M. H.; MARZOUK, M. A BIM-based framework for quantitative assessment of steel structure deconstructability. **Automation in Construction**, v. 111, 2020.
- BERTINO, G. *et al.* Fundamentals of building deconstruction as a circular economy strategy for the reuse of construction materials. **Applied Sciences**, v. 11, n. 3, p. 1–31, fev. 2021.
- BESANA, D.; TIRELLI, D. Reuse and Retrofitting Strategies for a Net Zero Carbon Building in Milan: an analytic evaluation. **Sustainability**, v. 14, n. 23, 2022.
- BITAR, A. L. B.; BERGMANS, I.; RITZEN, M. Circular, biomimicry-based, and energy-efficient façade development for renovating terraced dwellings in the Netherlands. **Journal of Facade Design and Engineering**, v. 10, n. 1, p. 75–104, 2022.
- BLENGINI, G. A. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: a case study in Turin, Italy. **Building and Environment**, v. 44, n. 2, p. 319–330, 2009.
- BOURKE, K.; KYLE, B. Service life planning and durability in the context of circular economy assessments: initial aspects for review. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 46, n. 11, p. 1074–1079, 2019.
- BRIGANTE, J.; ROSS, B. E.; BLADOW, M. Costs of implementing design for adaptability strategies in wood-framed multifamily housing. **Journal of Architectural Engineering**, v. 29, n. 1, 2023.
- BRONIEWICZ, E.; DEC, K. environmental impact of demolishing a steel structure design for disassembly. **Energies**, v. 15, n. 19, 1 out. 2022.
- BRONIEWICZ, F.; BRONIEWICZ, M. Sustainability of steel office buildings. **Energies**, v. 13, n. 14, jul. 2020.
- BUILDINGS AS MATERIAL BANKS. **About Bamb**. 2020. Disponível em: <https://www.bamb2020.eu/about-bamb/>. Acesso em: 23 maio 2024.
- CAI, G. *et al.* A Demountable connection for low-rise precast concrete structures with DfD for construction sustainability-A preliminary test under cyclic loads. **Sustainability**, v. 11, n. 13, 2019.
- CAI, G.; WALDMANN, D. A material and component bank to facilitate material recycling and component reuse for a sustainable construction: concept and preliminary study. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 21, n. 10, p. 2015–2032, dez. 2019.
- ÇETIN, S.; DE WOLF, C.; BOCKEN, N. Circular digital built environment: an emerging framework. **Sustainability**, v. 13, n. 11, 1 jun. 2021.
- CHAREF, R. The use of Building Information Modelling in the circular economy context: Several models and a new dimension of BIM (8D). **Cleaner Engineering and Technology**, v. 7, abr. 2022.
- CIDÓN, C. F.; FIGUEIRÓ, P. S.; SCHREIBER, D. Benefits of organic agriculture under the perspective of the bioeconomy: a systematic review. **Sustainability**, v. 13, n. 12, 2 jun. 2021.
- COMISSÃO EUROPEIA. **Comunicação da comissão ao parlamento europeu, ao conselho, ao comité econômico e social europeu e ao comité das regiões: um novo plano de ação para a economia circular**. Bruxelas: Comissão Europeia, 2020. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/DOC/?uri=CELEX:52020DC0098&from=EN>. Acesso em: 21 maio 2024.

- COTTAFAVA, D.; RITZEN, M. Circularity indicator for residential buildings: addressing the gap between embodied impacts and design aspects. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 164, n. August 2020, 105120, 2021.
- CRUZ RIOS, F.; GRAU, D.; BILEC, M. Barriers and enablers to circular building design in the US: an empirical study. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 147, n. 10, 2021.
- DAHY, H. “Materials as a design tool” design philosophy applied in three innovative research pavilions out of sustainable building materials with controlled end-of-life scenarios. **Buildings**, v. 9, n. 3, 2019.
- DERIKVAND, M.; FINK, G. Bending properties of deconstructable cross-laminated timber-concrete composite floor elements. **Wood Material Science and Engineering**, v. 17, n. 4, p. 253–260, 2022.
- DING, T. *et al.* Experimental study of the seismic performance of concrete beam-column frame joints with DfD connections. **Journal of Structural Engineering**, v. 146, n. 4, abr. 2020a.
- DING, T. *et al.* Seismic behavior of concrete shear walls with bolted end-plate DfD connections. **Journal of Engineering Structures**, v. 214, p. 1-19, 1 jul. 2020b.
- DUNCHEVA, T.; BRADLEY, F. F. Multifaceted productivity comparison of off-site timber manufacturing strategies in mainland Europe and the United Kingdom. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 145, n. 8, 2019.
- EBERHARDT, L. C. M. *et al.* Development of a life cycle assessment allocation approach for circular economy in the built environment. **Sustainability**, v. 12, n. 22, p. 1–16, 2020.
- EBERHARDT, L. C. M.; BIRGISDÓTTIR, H.; BIRKVED, M. Life cycle assessment of a Danish office building designed for disassembly. **Building Research and Information**, v. 47, n. 6, p. 666–680, 2019.
- ERRANTE, L.; DE CAPUA, A. Design for disassembly and the rehabilitation of public housing stock: a case study. **Techne**, v. 22, p. 181–191, 2021.
- FISK, P.; FAULKNER, B. M. Green building/infrastructure system with manufacturing/ distribution strategy. **Sustainable Mediterranean Construction**, v. 2019, n. 9, p. 40–43, 2019.
- FORMENTINI, G.; BOIX RODRÍGUEZ, N.; FAVI, C. Design for manufacturing and assembly methods in the product development process of mechanical products: a systematic literature review. **International Journal of Advanced Manufacturing**, v. 120, p. 4307-4334, jun. 2022.
- FORMENTINI, G.; RAMANUJAN, D. Examining the role and future potential of design for disassembly methods to support circular product design. In: DESIGN SOCIETY, número do evento, Cambridge, 2023. **Proceedings [...]** Cambridge University Press, 2023.
- GEISSDOERFER, M. *et al.* The circular economy: a new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 757–768, 2017.
- GILLOTT, C. *et al.* Developing regenerate: a circular economy engagement tool for the assessment of new and existing buildings. **Journal of Industrial Ecology**, v. 27, n. 2, p. 423–435, abr. 2023.
- GUERRA, B. C.; LEITE, F. Circular economy in the construction industry: an overview of United States stakeholders’ awareness, major challenges, and enablers. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 170, p. 105617, jul. 2021.
- HARTWELL, R.; MACMILLAN, S.; OVEREND, M. Circular economy of façades: Real-world challenges and opportunities. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 175, dez. 2021.
- HRADIL, P.; FÜLÖP, L.; UNGUREANU, V. Reusability of components from single-storey steel-framed buildings. **Steel Construction**, v. 12, n. 2, p. 91–97, 2019.
- INCELLI, F.; CARDELLICCHIO, L. Designing a steel connection with a high degree of disassembly: a practice-based experience. **Techne**, v. 22, p. 104–113, 2021.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 20887**: sustainability in buildings and civil engineering works: design for disassembly and adaptability: principles, requirements and guidance. Genebra, 2020.
- JAYASINGHE, L. B.; WALDMANN, D. Development of a BIM-based web tool as a material and component bank for a sustainable construction industry. **Sustainability**, v. 12, n. 5, p. 1–15, 2020.

- JOENSUU, T. *et al.* developing buildings' life cycle assessment in circular economy-comparing methods for assessing carbon footprint of reusable components. **Sustainable Cities and Society**, v. 77, p. 103499, 2022.
- KEENA, N. *et al.* A Life-cycle approach to investigate the potential of novel biobased construction materials toward a circular built environment. **Energies**, v. 15, n. 19, out. 2022.
- KIM, S.; KIM, S. A. A design support tool based on building information modeling for design for deconstruction: a graph-based deconstructability assessment approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 383, p. 135343, 2023.
- KUZMENKO, K. *et al.* Assessing environmental impact of digital fabrication and reuse of constructive systems. **Structures**, v. 31, p. 1300–1310, 2021.
- LAM, D. *et al.* New composite flooring system for the circular economy. **Steel and Composite Structures**, v. 40, n. 5, p. 649–661, 2021.
- MACHADO, R. C.; DE SOUZA, H. A.; VERÍSSIMO, G. S. Analysis of guidelines and identification of characteristics influencing the deconstruction potential of buildings. **Sustainability**, v. 10, n. 8, 2018.
- MAHMOUDI MOTAHAR, M.; HOSSEINI NOURZAD, S. H.; RAHIMI, F. Integrating complete disassembly planning with deconstructability assessment to facilitate designing deconstructable buildings. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 20, n. 1, p. 150-167, 2023.
- MARINO, F. P. R.; LEMBO, F.; DI LUCCHIO, C. The circular design for a school in conditioned quercus cerris hardwood glulam. **Vitruvio**, v. 6, n. 1, p. 72–91, 2021.
- MATTARAIA, L.; FABRICIO, M. M.; CODINHOTO, R. Structure for the classification of disassembly applied to BIM models. **Architectural Engineering and Design Management**, v.19, n.1, p. 56-73, 2021.
- MENEGATTI, L. C. *et al.* Environmental Performance of Deconstructable Concrete Beams Made with Recycled Aggregates. **Sustainability**, v. 14, n. 18, set. 2022.
- MINUNNO, R. *et al.* Exploring environmental benefits of reuse and recycle practices: a circular economy case study of a modular building. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 160, n. January, p. 104855, 2020.
- O'GRADY, T. *et al.* Design for disassembly, deconstruction and resilience: a circular economy index for the built environment. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 175, p. 105847, 2021.
- ODENBREIT, C. *et al.* A Lego-like steel-framed system for standardization and serial production. **Steel Construction**, v. 16, n. 1, p. 56–64, fev. 2023.
- OSSIO, F.; SALINAS, C.; HERNÁNDEZ, H. Circular economy in the built environment: a systematic literature review and definition of the circular construction concept. **Journal of Cleaner Production**, v.14, ago. 2023.
- PICCARDO, C.; HUGHES, M. Design strategies to increase the reuse of wood materials in buildings: lessons from architectural practice. **Journal of Cleaner Production**, v. 368, p.133083, 2022.
- PITTRI, H. *et al.* Design for deconstruction (DfD) implementation among design professionals: empirical evidence from Ghana. **International Journal of Construction Management**, v. 1, n. 1, p. 1-11, 2023.
- PRISMA. **Transparent reporting of systematic reviews and meta-analyses**. Disponível em: <http://prisma-statement.org/?AspxAutoDetectCookieSupport=1>. Acesso em: 13 fev. 2024.
- RACINE, I. *et al.* **Circular economy global sector best practices series**: background materials for circular economy sectoral roadmaps. Ottawa: Smart Prosperity Institute, 2021.
- RANKOHI, S. *et al.* **Design-for-Manufacturing-and-Assembly (DfMA) for the construction industry**: a review. Modular and Offsite Construction, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.29173/mocs255>. Acesso em: 13 fev. 2024.
- RASMUSSEN, F. N.; BIRKVED, M.; BIRGISDÓTTIR, H. Low-carbon design strategies for new residential buildings—lessons from architectural practice. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 16, n. 5, p. 374–390, 2020.
- ROBERTS, M. *et al.* Understanding the global warming potential of circular design strategies: Life cycle assessment of a design-for-disassembly building. **Sustainable Production and Consumption**, v. 37, p. 331–343, 2023.

- ROCKOW, Z. R.; ROSS, B. E.; BECKER, A. K. Comparison of building adaptation projects and design for adaptability strategies. **Journal of Architectural Engineering**, v. 27, n. 3, 2021.
- ROSSI, A.; BARSANTI, S. G. Resilient connections. **Vitruvio**, v. 6, n. 1, p. 24–37, 2021.
- SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 83–89, 2007.
- TARPIO, J.; HUUHKA, S.; VESTERGAARD, I. Barriers to implementing adaptable housing: architects' perceptions in Finland and Denmark. **Journal of Housing and the Built Environment**, v. 37, n. 4, p. 1859–1881, dez. 2022.
- TIK, L. B. *et al.* Design for manufacturing and assembly (DfMA) for Malaysia construction industry. **Malaysian Construction Research Journal**, v. 7, n. Special is, p. 190–193, 2019.
- TORGAUTOV, B. *et al.* Circular economy: challenges and opportunities in the construction sector of Kazakhstan. **Buildings**, v. 11, n. 11, nov. 2021.
- VANDERVAEREN, C. *et al.* More than the sum of its parts: considering interdependencies in the life cycle material flow and environmental assessment of demountable buildings. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 177, p. 106001, 2022.
- VAZ-SERRA, P.; WASIM, M.; EGGLESTONE, S. Design for manufacture and assembly: A case study for a prefabricated bathroom wet wall panel. **Journal of Building Engineering**, v. 44, 2021.
- VISCUSO, S. Coding the circularity: design for the disassembly and reuse of building components. **Techne**, v. 22, p. 271–278, 2021.
- WANG, L.; WEBSTER, M. D.; HAJJAR, J. F. Design for deconstruction using sustainable composite beams with precast concrete planks and clamping connectors. **Journal of Structural Engineering**, v. 146, n. 8, 2020.
- XIA, B.; DING, T.; XIAO, J. Life cycle assessment of concrete structures with reuse and recycling strategies: a novel framework and case study. **Waste Management**, v. 105, p. 268–278, 2020.
- XIAO, J. *et al.* Effect of recycled aggregate concrete on the seismic behavior of DfD beam-column joints under cyclic loading. **Advances in Structural Engineering**, v. 24, n. 8, p. 1709–1723, jun. 2021.
- XIAO, J. *et al.* Theoretical framework and fundamental method for deconstruction engineering. **Jianzhu Jieyou Xuebao/Journal of Building Structures**, v. 43, n. 2, p. 197–206, 2022.
- XIONG, F. *et al.* Seismic performance of a bolt-assembled precast panel building with DfD: a quasi-static test and discussion on existing design codes. **Journal of Earthquake Engineering**, v. 26, n. 7, p. 3821–3839, 2021.
- YAN, Z. *et al.* Performance of reversible timber connections in Australian light timber framed panelised construction. **Journal of Building Engineering**, v. 61, p. 105244, 2022.
- ZOGHI, M. *et al.* Material selection in design for deconstruction using Kano model, fuzzy-AHP and TOPSIS methodology. **Waste Management and Research**, v. 40, n. 4, p. 410–419, abr. 2022.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Jordana de Oliveira

Conceitualização, Curadoria de dados, Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Administração Do projeto, Validação de dados e experimentos, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito original, redação - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica | Universidade do Vale do Rio dos Sinos | Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental | Universidade Feevale | ERS-239, 2755 | Novo Hamburgo - RS - Brasil | CEP 93525-075 | Tel.: (51) 99835-8559 | E-mail: eng.jordanaoliveira@gmail.com

Marco Aurelio Stumpf Gonzalez

Conceitualização, Investigação, Metodologia, Administração de Projeto, Supervisão, Escrita - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica | Universidade do Vale do Rio dos Sinos | Av. Unisinos, 950 | São Leopoldo - RS - Brasil | CEP 93022-000 | Tel.: (51) 3591-1122 | Ramal 1663 | E-mail: mgonzalez@unisinos.br

Andrea Parisi Kern

Conceitualização, Investigação, Metodologia, Escrita - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica | Universidade do Vale do Rio dos Sinos | E-mail: apkern@unisinos.br

Editor: **Ariovaldo Demos Granja**

Editoras de seção: **Ercília Hitomi Hirota e Juliana Parise Baldauf**

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.