

## DESIGN PARA ADAPTABILIDADE E DESMONTAGEM (DfAD): UMA REVISÃO DOS CRITÉRIOS PARA TORNAR AS EDIFICAÇÕES CIRCULARES

**Mayara Regina Munaro**

Universidade Federal do Paraná-UFPR/PR  
munaro.mayara@gmail.com

**Sergio Fernando Tavares**

Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC/SC  
sergioftavares@gmail.com

### RESUMO

*O Design para Adaptabilidade e Desmontagem (DfAD) é um método eficaz para reduzir a geração de resíduos de construção e demolição (RCD), cargas de aterros sanitários, geração de gases de efeito estufa, preservar recursos naturais e aumentar a consciência ambiental na indústria da construção. No entanto, é uma estratégia pouco explorada devido à falta de cultura e de diretrizes padronizadas para orientar a desconstrução de edifícios. Este estudo visa compreender como o DfAD pode apoiar a transição do setor para a circularidade. Por meio de uma revisão integrativa da literatura, este estudo analisou as publicações acadêmicas atuais e levantou 69 critérios do DfAD para orientar a desconstrução dos edifícios. Os critérios enfatizaram a necessidade de padronização, modularização e pré-fabricação de materiais e componentes de construção. O estudo destacou a necessidade de ampliar o conhecimento e a capacitação da equipe de projeto, estabelecer políticas públicas e incentivos fiscais e desenvolver ferramentas, métodos e indicadores circulares para viabilizar a implementação de estratégias de desconstrução de edificações.*

**Palavras-chave:** Economia circular. Construção civil. Desconstrução. DfAD. Fim de vida.

## DESIGN FOR ADAPTABILITY AND DISASSEMBLY (DfAD): A REVIEW OF THE CRITERIA TO MAKE CIRCULAR BUILDINGS

### ABSTRACT

Design for Adaptability and Disassembly (DfAD) is an effective method to reduce construction and demolition waste (RCD) generation, landfill loads, greenhouse gas generation, conserve natural resources and increase environmental awareness in the construction industry. However, it is a little explored strategy due to the lack of culture and standardized guidelines to guide the deconstruction of buildings. This study aims to understand how DfAD can support the sector's transition to circularity. Through an integrative literature review, this study analysed current academic publications and raised 69 DfAD criteria to guide the deconstruction of buildings. The criteria emphasized the need for standardization, modularization and prefabrication of building materials and components. The study highlighted the need to expand the knowledge and training of the project team,

establish public policies and tax incentives and develop tools, methods, and circular indicators to enable the implementation of strategies for deconstructing buildings.

**Keywords:** Circular economy. Construction sector. Deconstruction. DfAD. End-of-life.

Recebido em: 13/10/2022.

Aceito em: 19/12/2022.

## INTRODUÇÃO

O setor da construção é o maior consumidor de matérias-primas do mundo, responsável por usar um terço da energia global e gerar 39% das emissões de dióxido de carbono e 35% dos resíduos de aterros no mundo (AJAYI *et al.*, 2015; IEA, 2015). Embora mais de 90% do conteúdo de um edifício possa ser reutilizado, apenas 20-30% desses recursos são reciclados ou reutilizados no final da vida útil de um edifício (EMF, 2014). Esse cenário pressiona o setor a realizar mudanças na forma como planeja e constrói o ambiente construído para atender às questões mercadológicas, ambientais e sociais e garantir a resiliência do setor, visando uma produção e consumo mais sustentáveis.

A economia circular (EC) oferece uma oportunidade de reduzir o uso de materiais primários e seus impactos ambientais associados, por meio de diferentes estratégias que substituem o fim de vida (FDV), como redução, reutilização e reciclagem de materiais na produção/processos de distribuição e consumo (KIRCHHERR *et al.*, 2017). A desconstrução é um cenário de FDV que favorece a recuperação de componentes da construção para realocação, reutilização, reciclagem ou remanufatura da construção (KIBERT, 2003). Nesse sentido, para fechar os ciclos de vida dos materiais, o conceito de Design para desconstrução (*Design for Deconstruction*), também conhecido como Design para desmontagem, ambos conhecidos pela sigla DfD, surgiu no setor da construção na década de 1990 por meio de metodologias de ecodesign da indústria manufatureira (MACOZOMA, 2002; KIBERT, 2003).

O DfD pode ser associado ao Design para Adaptabilidade (DfA). Um edifício adaptável pode ser modificado pelos usuários para atender às suas constantes necessidades (ANASTASIADES *et al.*, 2020). A incorporação dos princípios de Design para Adaptabilidade e Desmontagem (DfAD) na fase de planejamento e projeto aumentará a probabilidade de que as atividades durante os estágios de uso, manutenção e fim de vida sejam direcionadas de forma mais eficiente, garantindo o uso eficaz dos recursos e a implementação de princípios da EC em edifícios e obras de engenharia civil (ISSO, 2020; MUNARO; TAVARES; BRAGANÇA,

2020; 2022). A desmontagem é uma estratégia eficaz para reduzir a geração de resíduos de construção e demolição (RCD) e as emissões de gases de efeito estufa (GEE), diminuir as cargas dos aterros sanitários, preservar os recursos naturais e aumentar a consciência ambiental do setor. No entanto, menos de 1% dos edifícios existentes são totalmente desmontáveis (DORSTHORST; KOWALCZYK, 2002).

A possibilidade de recuperação de materiais de construção depende de como um edifício foi projetado e construído, e as técnicas de desconstrução ainda não são comuns na indústria construtiva. Embora muitos pesquisadores tenham desenvolvido diretrizes para permitir e facilitar a desconstrução de edifícios no final de seu ciclo de vida, as informações são fragmentadas e não há consenso sobre um protocolo de projeto de edificação reversível.

É com essa premissa que este estudo busca explorar o estado da arte do DfAD e discutir os critérios críticos necessários para reconhecer a desconstrução como uma estratégia que deve fazer parte da etapa de projeto e planejamento das edificações. Este artigo procura responder à seguinte questão: como o Design para Adaptabilidade e Desmontagem pode apoiar a transição para a integração da economia circular no setor da construção civil? Para responder essa questão, foram analisadas as publicações atuais da literatura acadêmica e identificados os principais critérios relacionados à esta estratégia para facilitar a desconstrução das edificações, tornando-a parte da etapa de projeto e planejamento das edificações.

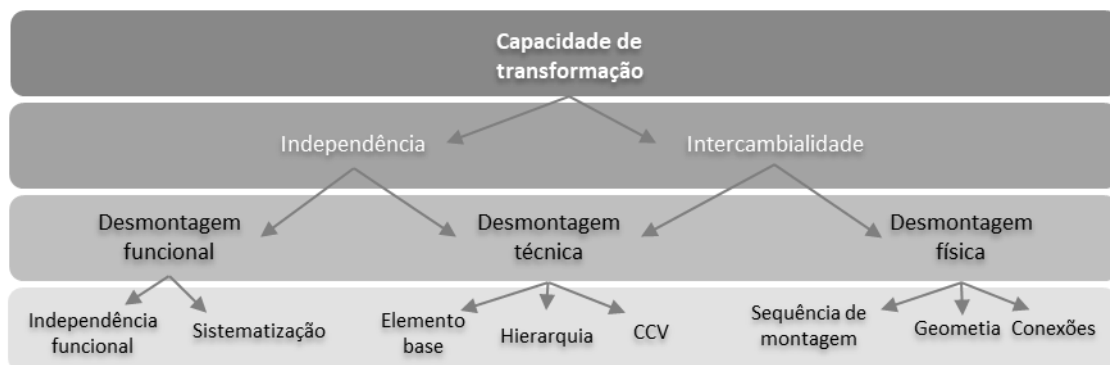
## **DESENVOLVIMENTO**

### **ASPECTOS DE REVERSIBILIDADE DAS EDIFICAÇÕES**

Os estudos têm demonstrado estratégias diferentes para orientar o estabelecimento de princípios de desconstrução no FDV das edificações, e ainda não existem diretrizes padrão reconhecidas globalmente. Thormark (2001) desenvolveu dezoito estratégias de projeto baseadas na escolha de materiais, projeto de construção e escolha de juntas e conexões. Segundo Kibert (2003), o DfD deve considerar 27 princípios de projeto baseados em três níveis: sistemas, produto e materiais. Nordby *et al.* (2007) desenvolveram um sistema baseado em 31 estratégias para a recuperação de materiais. Sassi (2008) estabeleceu critérios para o ciclo fechado dos materiais de construção. Crowther (2016) listou 27 princípios de design para desmontagem. Akinade *et al.* (2017) identificaram 38 fatores críticos para o DfD,

agrupados em legislação e política rigorosas; processo de design de desconstrução e competências; projeto para recuperação de materiais; projeto para reaproveitamento de materiais; e design para construir flexibilidade. Uma metodologia de avaliação da circularidade da construção baseada no DfAD também foi proposta por Geraedts (2016). Durmisevic (2019) definiu oito critérios de reversibilidade técnica das edificações, de acordo com a independência funcional, técnica e física do edifício/estrutura, como mostra a Figura 1.

Figura 1: Protocolo para aspectos técnicos de reversibilidade das edificações.



**Fonte:** os autores (adaptado de DURMISEVIC, 2019).

Os aspectos de projeto que influenciam a tomada de decisão durante o projeto de estruturas reversíveis consideram:

1. Independência funcional: subdividir o edifício em sistemas e subsistemas independentes com diferentes desempenhos e ciclos de vida;
2. Sistematização e agrupamento: agrupamento de componentes e elementos em um módulo independente com base na funcionalidade, processo de montagem / desmontagem e coordenação do ciclo de vida de uso do elemento;
3. Relações hierárquicas: minimização do número de relações que representam dependências funcionais e técnicas entre elementos construtivos;
4. Elemento base: proporcionar independência de elementos dentro de conjuntos, definindo elementos base que integram os elementos circundantes do agrupamento;
5. Coordenação do ciclo de vida (CCV): integração dos materiais quanto ao seu ciclo de vida. Elementos que têm um ciclo de vida curto, devem ser montados por último e desmontados primeiro;
6. Sequência de montagem: representam a complexidade da estrutura e as dependências entre os elementos construtivos. A montagem sequencial cria dependências entre os

elementos montados; a sequência paralela pode acelerar um processo de construção/desmontagem;

7. Geometria: projetar a geometria da aresta do produto/componente que permita a recuperação de elementos sem danificar a si mesmo ou a outros elementos;

8. Conexões: utilizar conexões que permitam a separação e recuperação dos elementos.

## MÉTODO DA PESQUISA

A estratégia de pesquisa consistiu em uma revisão integrativa da literatura com métodos explícitos de revisão sistemática para proteger os dados contra vieses e melhorar a acurácia e replicabilidade dos resultados (TRANFIELD; DENYER; SMART; 2003). A revisão seguiu uma sucessão de seis etapas com base em estudos de métodos de pesquisa (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003; TORRACO, 2005; WHITTEMORE, 2005).

O primeiro passo foi a identificação do problema. Esta revisão visou identificar os principais critérios que suportam o DfAD e a transição rumo a edificações mais circulares (Figura 2). A segunda etapa determinou o protocolo desenvolvido na revisão, com base em termos de busca relacionadas aos métodos de ecodesign de FDV. As fontes de informação foram as bases de dados acadêmicas Web of Science, Scopus e EBSCO. Os critérios de inclusão foram artigos, revisões e artigos de anais de eventos, sem recorte temporal e área de pesquisa definida e idioma inglês. Ao focar na revisão (terceira etapa) as fontes relevantes identificadas foram reduzidas de 2.540 para 250 artigos (Figura 2). Os artigos foram selecionados por meio de uma leitura inicial do título, seguida de uma compreensão do resumo e palavras-chave e, por fim, da leitura crítica de todo o artigo.

Figura 2: Sumário da revisão integrativa de literatura.

1 Problema de pesquisa		Base de dados (Nº artigos)		
Quais os critérios de DfAD podem apoiar a transição rumo a uma economia circular no setor da construção civil?				
2 Protocolo de pesquisa		Web of science	Scopus	EBSCO
Termos de busca				
1	("circul* buil*" AND "circula* econom*") OR ("circul* construct*" AND "circula* econom*")	41	60	12
2	((("design* for adaptab*") AND (buil* OR construct*)) OR ("adaptabl* buil*" OR ("design* adaptab*" AND buil*)) OR ("design* adaptab*" AND construct*))	68	123	27
3	((("design* for deconst*") AND (buil* OR construct*)) OR ("deconstr* buil*" OR ("design* deconst*" AND buil*)) OR ("design* deconst*" AND construct*))	47	72	27
4	((("design* for disassemb*") AND (buil* OR construct*)) OR ("disassemb* buil*" OR ("design* disassemb*" AND buil*)) OR ("design* disassemb*" AND construct*))	72	103	31
5	((("design* for modula*") AND (buil* OR construct*)) OR ("modular* buil*" AND "circular* econom*") OR ("design* modula*" AND buil*)) OR ("design* modula*" AND construct*))	156	267	190
6	((("design* for transforma*") AND (buil* OR construct*)) OR ("design* transforma*" AND (buil* OR construct* OR "circular* econom*")))	37	50	49
7	((("design* out waste*") AND (buil* OR construct*)) OR ("design* out construct* waste*" OR ("design* waste*" AND (buil* OR construct*)))	45	62	27

8	((("design* for change*") AND (buil* OR construct*)) OR ((("design* for change*") AND ("circular* econom*"))	23	40	197
9	((("build* deconst*" OR "build* disassemb*" OR "build* demount*") OR (build* AND deconst* AND "circular* econom*"))	77	82	23
10	((("flexib* build*") AND ("sustainab*" OR "circular* econom*")) OR ("flexib* build*" AND deconst*))	19	33	6
11	((("revers* build* design*") OR ((("revers* build*") AND (sustainab* OR "circular* econom*")) OR (revers* AND build* AND "circular* econom*"))	31	42	12
12	((("demount* build*") OR ("demount* construct*") OR (demount* AND build* AND "circular* econom*"))	19	28	8
13	((("transform* construct*" OR "transform* build*") AND ("circular* econom*")) OR (transform* AND build* AND "circular* econom*"))	93	94	51
14	((("build* reus*" AND sustainab*) OR ("build* reus*" AND "circular* econom*"))	21	24	8
15	((("regenerat* build*" OR "regenerat* construct*") AND ("circular* econom*" OR sustainab*)) OR ("build* for regenerat*"))	12	18	13
<b>Total de artigos</b>		<b>2540</b>		
<b>3 Identificação de estudos pré-selecionados</b>				
Publicações duplicadas: exclusão de 879 artigos		1661 artigos		
Análise do título / resumo / palavras-chave: exclusão de 1307 artigos		354 artigos		
Análise de texto completo: exclusão de 104 artigos		250 artigos		
<b>Amostra final da análise de conteúdo</b>		<b>250 artigos</b>		

Fonte: os autores, 2022.

A quarta etapa foi a análise de conteúdo dos dados para obter uma descrição condensada e ampla do assunto e o resultado foi categorizado para descrever o problema (ELO, KYNGÄS, 2008). Sequencialmente, os dados foram analisados e discutidos (quinta etapa) por meio de análise bibliométrica e categorizada dos critérios. Na sexta etapa, resultados, os principais critérios relacionados ao DfAD foram apresentados a partir dos estudos de revisão.

## RESULTADOS E ANÁLISE

A análise dos resultados foi dividida em duas seções: i) análise bibliométrica; e ii) análise dos critérios de desconstrução das edificações.

### ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

A Tabela 1 apresenta as principais informações sobre os artigos selecionados na revisão. Os 250 artigos selecionados foram publicados entre 1996 e maio de 2021, sendo 161 artigos acadêmicos (64% da revisão) publicados em 77 periódicos diferentes e 89 artigos de anais de eventos (36%) publicados em 55 revistas de anais, enfatizando a ampliação e descentralização do assunto. A maioria das revistas científicas tem como foco de interesse as questões ambientais e a EC. Os três periódicos mais representativos foram Sustainability, Resources, Conservation & Recycling (RCR) e Journal of Cleaner Production. Quanto ao periódico de anais de evento, o destaque foi a IOP Conference Series: Earth and Environmental Science com 29 publicações (33%), principalmente por causa das publicações dos estudos da conferência do projeto Building as Material Banks (BAMB), BAMB-CIRCPATH: Um caminho para um Futuro Circular. Os artigos selecionados possuíam 1171 palavras-chave, sendo a

expressão mais recorrente “economia circular”. Os estudos foram desenvolvidos por 550 autores diferentes e 35 artigos foram de única autoria, obtendo uma taxa média de citação de 19,58 por artigo. A taxa de colaboração entre os autores foi de 0,45.

Tabela 1. Principais informações da revisão de literatura.

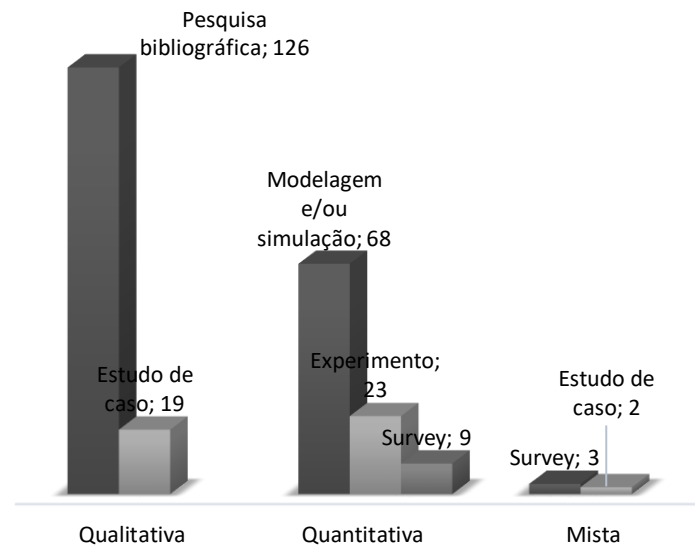
Principais informações	Número
Número total de publicações	250
Nº total de artigos científicos	161
Nº total de anais de eventos	89
Nº de revistas de publicações	77
Nº de revistas de congressos	55
Total de palavras-chaves	1171
Palavra-chave mais citada	Economia circular
Período das publicações	1996-2021
Média de citações por artigo	19,58
Número total de autores	550
Número de artigos de autoria única	35
Nº de documentos por autor	0,45

Fonte: os autores, 2022.

A Figura 3 mostra a abordagem metodológica de pesquisa adotada pelos estudos selecionados. As publicações foram classificadas de acordo com a abordagem da pesquisa, objetivo da pesquisa, procedimento adotado e coleta de dados (MALHOTRA, 2012). Dos 250 artigos selecionados, 58% apresentaram abordagem qualitativa, 40% abordagem quantitativa e 2% abordagem mista. Os estudos qualitativos apresentaram objetivos de pesquisa descritiva e exploratória, com predomínio do procedimento de pesquisa bibliográfica (87%), seguido de estudos de caso (23%). Os estudos com abordagens quantitativas apresentaram objetivos de pesquisa descritivos e causais, e os procedimentos mais adotados foram modelagem e/ou simulação (68%), experimentos (23%) e levantamentos (9%). Os estudos com abordagens mistas de pesquisa apresentaram objetivos exploratórios entre os procedimentos de pesquisa *survey* e estudo de caso.

A predominância de estudos qualitativos descritivos mostra a tendência do setor em descrever e correlacionar aspectos das práticas de desconstrução em edificações, em consonância com estudos exploratórios, que visam proporcionar maior familiaridade com o problema e torná-lo mais explícito para a comunidade de interesse. Por outro lado, estudos com abordagens quantitativas visam validar modelos analíticos para desmontagem e reaproveitamento de materiais de construção, e os experimentos buscam observar o comportamento de estruturas e componentes projetados para desmontagem de edifícios.

Figura 3. Procedimentos metodológicos adotados nas pesquisas (número de artigos = 250).

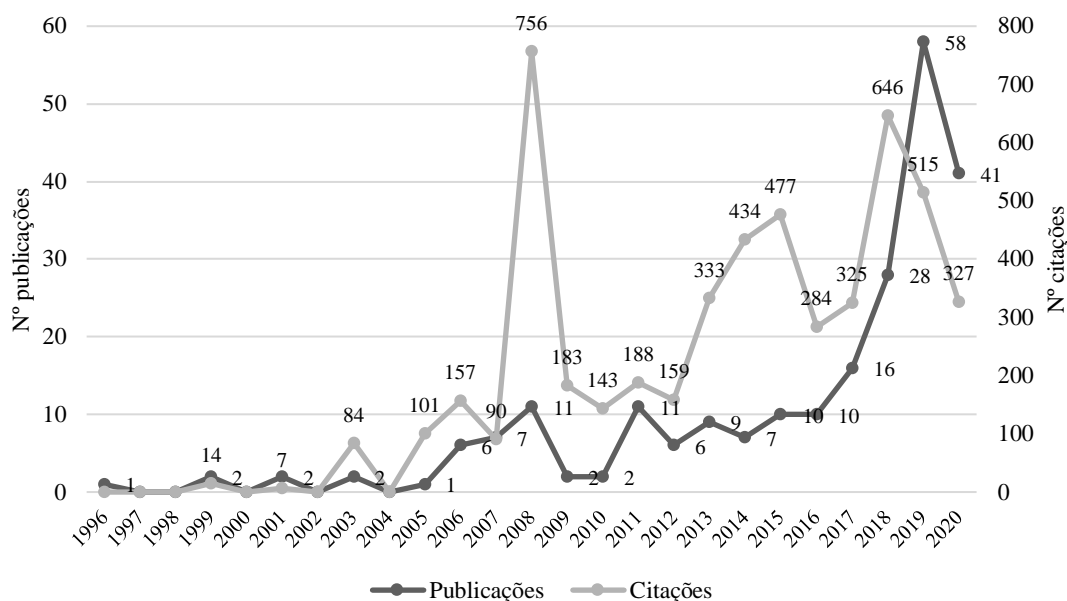


Fonte: os autores, 2022.

A Figura 4 mostra a evolução do número de publicações e citações. O conceito DfD surgiu na década de 90 (KIBERT, 2003) e a primeira publicação apresentou dois estudos de caso de edifícios desmontáveis para usos múltiplos (WESTBURY, 1996). A partir de 2010, o aumento de publicações manteve-se constante ao longo dos anos, ponto que corrobora os desdobramentos da EC vinculados à instituição da primeira lei circular na China (TÜRKELI *et al.*, 2018). Em 2019, houve aumento no número de estudos devido à publicação dos trabalhos de anais do evento final do BAMB-CIRCPATH. Os últimos quatro anos correspondem por 57% das pesquisas, indicando o interesse na adoção de práticas de desconstrução no setor. As citações mostraram uma tendência crescente ao longo dos anos, com pico em 2008 devido ao artigo de Osmani *et al.* (2008), que é o mais citado na revisão e investiga o papel dos arquitetos na minimização da geração de resíduos de construção na fase de projeto. Em 2018, o número de citações também aumentou devido ao artigo de Akanbi *et al.* (2018) que apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta baseada em *Building Information Modeling* (BIM) para avaliar o desempenho de recuperação de componentes na fase final de vida da edificação.

Figura 4. Total de publicações e citações por ano.



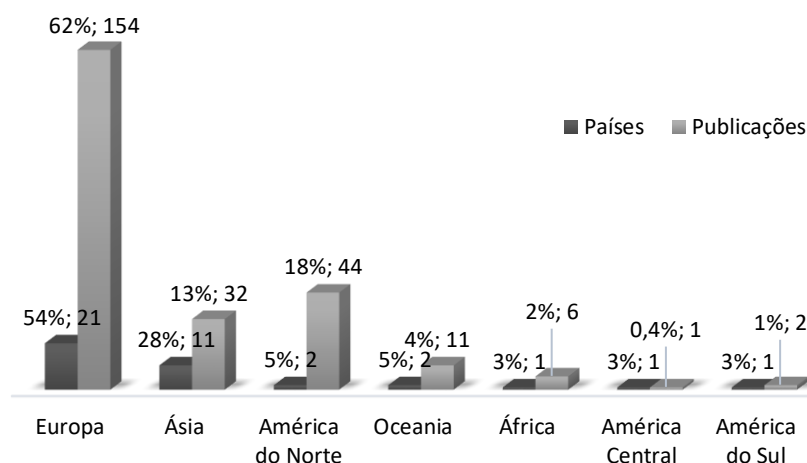


\*Os artigos publicados em 2021 não estão representados. \*\*O total de citações foi obtido em setembro de 2021.

Fonte: os autores, 2022.

A Figura 5 apresenta a distribuição geográfica das publicações, de acordo com o país do primeiro autor. A Europa corresponde por 54% das pesquisas, abrangendo 21 países, seguida pela Ásia (28% e 11 países). Esses continentes corresponderam por 74% dos estudos da revisão. Do total de 39 países, o Reino Unido é o país líder em volume das publicações (40 artigos), seguido pelos Estados Unidos da América (29 artigos) e Alemanha (21 artigos). A predominância dos estudos ingleses está relacionada à adoção de políticas públicas e suporte regulatório no país (AJAYI; OYEDELE, 2017), e à criação de diversidade no portfólio de coautorias (TÜRKELI *et al.*, 2018). Países significativos em termos de área geográfica e economia, como Brasil, Índia e Rússia, ainda não possuem relevância no assunto. Nota-se que a China tem grande representatividade acadêmica em pesquisas relacionadas à EC no nível meso/macro (por exemplo, parques eco industriais, economia de baixo carbono) (TÜRKELI *et al.*, 2018) e menos publicações focadas em edifícios desmontáveis.

Figura 5. Distribuição geográfica das publicações (número de artigos = 250).



Fonte: os autores, 2022.

## ANÁLISE DOS CRITÉRIOS DE DESCONSTRUÇÃO DAS EDIFICAÇÕES

A análise dos estudos evidenciou a falta de um conjunto de diretrizes sobre DfAD. Considerando os 8 aspectos projetuais para a reversibilidade técnica de uma edificação (DURMISEVIC, 2019), o Quadro 1 apresenta 69 critérios obtidos dos artigos de revisão de acordo com cada aspecto projetual. Os critérios “Tipo de material” e “Comunicação, documentação e coordenação BIM (*Building Information Modeling*)” foram adicionados para trazer mais detalhes ao protocolo. O objetivo do Quadro 1 é fornecer um protocolo claro para orientar o processo de desconstrução, a ser aplicado na construção de novos edifícios, considerando a etapa de projeto como elemento fundamental da programação e planejamento do edifício.

Quadro 1: Principais critérios para o protocolo de desconstrução DfAD

Critérios	
<b>1</b>	<b>Independência funcional</b>
1.1	Usar um sistema de construção aberto para gestão flexível do espaço
1.2	Minimizar o número e os tipos de componentes e conectores
1.3	Padronizar a forma e o layout do edifício
1.4	Estabelecer zonas livres de fixação para comprimentos máximos de material para reutilização
1.5	Favorecer o uso de ferramentas e equipamentos simples
1.6	Usar componentes de construção intercambiáveis
1.7	Otimizar o uso do espaço interno e o layout do sistema de fluxos de recursos
1.8	Estabelecer volumes específicos para cada sistema
1.9	Preparar um plano de desconstrução/demolição
1.10	Projetar as fundações para serem retráteis do solo
<b>2</b>	<b>Sistematização e agrupamento</b>
2.1	Projetar componentes pré-montados
2.2	Projetar componentes dimensionados para se adequar ao manuseio em todas as etapas
2.3	Favorecer a construção modular e usar uma grade estrutural padrão
2.4	Usar componentes pré-fabricados e produção em massa sempre que possível
2.5	Especificar o uso de técnicas de enquadramento, particionamento de <i>drywall</i> e sistema de junção

2.6	Usar materiais e componentes leves com conexões secas
2.7	Fornecer peças de reposição e espaço para armazenamento deles
<b>3</b>	<b>Elemento base</b>
3.1	Priorizar a regularidade nos padrões de construção
3.2	Apontar para componentes de pequena escala e facilitar o manuseio e transporte
3.3	Facilitar a autoconstrução e a reutilização local
<b>4</b>	<b>Hierarquia</b>
4.1	Minimizar o número de diferentes tipos de componentes
4.2	Reduzir as interações entre sistemas e intrassistemas
<b>5</b>	<b>Coordenação do ciclo de vida</b>
5.1	Projetar as camadas da construção como sistemas estruturalmente independentes
5.2	Identificar a vida útil dos diferentes elementos do projeto
5.3	Separar a estrutura dos elementos de revestimento e preenchimento de um edifício
5.4	Definir a hierarquia de desmontagem de acordo com a expectativa de vida funcional e técnica dos componentes
5.5	Fornecer acesso a todas as partes do edifício e a todos os seus componentes
5.6	Aumentar a adjacência física do ponto de acesso
<b>6</b>	<b>Sequência de montagem</b>
6.1	Permitir desmontagem paralela em vez de sequencial
6.2	Montar de forma sistemática para facilitar manutenção e a possibilidade de substituições
6.3	Usar tecnologias de montagem/desmontagem compatíveis com ferramentas e equipamentos comuns
6.4	Identificar um ponto de desmontagem permanente
6.5	Facilitar a remoção de peças que contêm materiais perigosos
6.6	Fornecer informações suficientes sobre o processo de montagem/desmontagem
6.7	Fornecer tolerâncias adequadas para montagem e desmontagem
6.8	Considerar a logística de desconstrução, fornecer peças de reposição e instalações de armazenamento
6.9	Usar materiais e componentes de sacrifício onde o desgaste é inevitável com desmontagem facilitada
<b>7</b>	<b>Geometria da interface</b>
7.1	Criar sistemas estruturais regulares e padronizados
7.2	Projetar a geometria para ser simples
<b>8</b>	<b>Tipo de conexões</b>
8.1	Projetar juntas e conexões que sejam acessíveis, duráveis e removidas
8.2	Minimizar o número de conectores e diferentes tipos de conectores
8.3	Simplificar e padronize as conexões
8.4	Usar conexões mecânicas e secas
8.5	Evitar juntas e parafusos que desfavoreçam a reutilização
8.6	Evitar adesivos, resinas e revestimentos que comprometam a possibilidade de reutilização
8.7	Evitar acabamentos secundários que cobrem as conexões
8.8	Fornecer especificações para conexões, estrutura e instalações
<b>9</b>	<b>Tipo do material</b>
9.1	Usar materiais naturais e/ou com rótulo ecológico
9.2	Usar e especificar materiais reciclados, recicláveis e reutilizáveis
9.3	Evitar materiais de construção tóxicos e perigosos
9.4	Evitar o uso de adesivos, resinas e revestimentos que comprometam o potencial de reutilização
9.5	Evitar materiais compósitos ou inseparáveis
9.6	Minimizar a variação e o número de materiais, peças, componentes e equipamentos
9.7	Fornecer identificação padrão e permanente de tipos de materiais
9.8	Evitar acabamentos secundários aos materiais
9.9	Aplicar métodos mecânicos de proteção da água em vez de selantes e adesivos químicos
9.10	Usar materiais resistentes que cumprem a mesma função com menos espaço/peso
9.11	Usar materiais sem embalagem ou fornecidos com embalagem otimizada
<b>10</b>	<b>Comunicação, documentação e coordenação BIM</b>
10.1	Documentos de projeto legíveis e de fácil leitura/interpretação
10.2	Documentos de projeto com condições do local incorporadas e informações topográficas
10.3	Desenhar documentos sem erros e adequadamente coordenados/integrados
10.4	Especificar o objetivo do projeto e a implementação adequada do procedimento de avaliação de construção sustentável
10.5	Garantir o congelamento do projeto no final do processo de projeto

10.6	Fornecer desenhos atualizados
10.7	Fornecer um inventário completo de todos os materiais e componentes usados na construção
10.8	Usar o BIM para simular o processo e a sequência de desmontagem do edifício e estimar a propriedade de fim de vida dos materiais
10.9	Registrar os dados de geração, quantidades e características dos resíduos por meio do BIM
10.10	Fornecer disseminação de conhecimento e treinamento para projetistas e construtores dos benefícios ambientais, sociais e econômicos do DfAD
10.11	Apoiar a pesquisa, o uso e fornecer a quantificação dos benefícios econômicos da capacidade de recuperação no ciclo de vida dos edifícios

**Fonte:** os autores.

Até o momento a ISO 20887 é a única norma que trata do reaproveitamento de elementos construtivos em novas construções e utiliza os termos DfD e DfA (ISSO, 2020; MUNARO; TAVARES; BRAGANÇA, 2022). Observa-se que os critérios para um DfAD estão atrelados a um maior nível de industrialização do setor, mas os fabricantes de materiais e componentes de construção precisam dar suporte a essa mudança, principalmente considerando a padronização e compatibilidade de conexão entre esses elementos.

É importante ressaltar que de nada adianta projetar edifícios circulares se ainda não houver uma direção específica para o reaproveitamento dos materiais recuperados. Desafios relacionados a garantias percebidas, desempenho, qualidade, estética e durabilidade de materiais secundários precisam ser superados pelas equipes de projeto e clientes finais. Desafios técnicos, incluindo a falta de rotas de recuperação e armazenamento adequado, dificultam as estratégias de recuperação de materiais (MUNARO; TAVARES; BRAGANÇA, 2020).

Assim que esses critérios do DfAD começarem a ser implementados no setor, uma mudança sistêmica na forma como os edifícios são projetados, construídos e consumidos será gradualmente consolidada. Por um lado, será possível otimizar a capacidade de cada edifício para acolher eficazmente as exigências e necessidades dos seus utilizadores, aumentando a sua utilidade, prolongando a sua vida útil e maximizando assim o seu valor ao longo do tempo. Por outro lado, é possível otimizar a gestão eficiente dos recursos de todos os fluxos de materiais relacionados com a construção, evitando o esgotamento dos recursos naturais e a produção de resíduos, minimizando assim o impacto ambiental dos edifícios.

Um edifício planejado para desmontagem deve ser visto como um banco de materiais, com armazenamento temporário documentado e um determinado valor financeiro. Atualmente, tanto a documentação quanto o rastreamento dos materiais recuperados carecem de suporte técnico e físico. O uso de passaporte de materiais e BIM na gestão de dados de materiais são ferramentas promissoras que necessitam de uma rede digital robusta

e integrada para acesso e disponibilização de informações. Além disso, a armazenagem física dos materiais secundários precisa ser definida e orçada na fase de projeto, bem como a determinação dos stakeholders responsáveis pela destinação de cada tipo de material recuperado.

Os estudos destacam que a falta de políticas públicas e recompensas financeiras tem um grande impacto nas práticas de redução de resíduos na fase de projeto. Isso sugere que o aumento das medidas fiscais e a introdução de sistemas de recompensa para projetos reversíveis teriam maior engajamento das partes interessadas nas práticas de minimização de resíduos. Além disso, a implementação dos requisitos do DfAD na construção de certificações ambientais pode ser uma alternativa para a conscientização do setor.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este estudo teve como objetivo analisar como os critérios do Design para Adaptabilidade e Desmontagem ajudam a implementar princípios circulares no setor de construção civil. Padronização, modularização e pré-fabricação de componentes e materiais foram consideradas critérios fundamentais para a transição circular do ambiente construído. Isso ocorre principalmente porque a produção fora do local reduz a geração de resíduos de construção e exige um projeto e um processo de construção colaborativos.

As principais barreiras para a implementação do DfAD foram a falta de conhecimento e treinamento da equipe de projeto sobre os benefícios ambientais e como projetar um edifício para desconstrução, a falta de legislação e incentivos fiscais, e a falta de ferramentas, métodos e indicadores circulares. Os esquemas de certificação de edifícios podem fornecer orientação ao projetista em termos de uma série de critérios a serem atendidos e referências a materiais e métodos construtivos, no entanto, os princípios do DfAD precisam ser melhor incorporados nas certificações com atenção redobrada aos pesos estabelecidos para que alguns critérios não distorçam o resultado da certificação do projeto.

Além de uma maior conscientização do DfAD, condições de mercado como demanda do consumidor e atratividade econômica são necessárias para uma transição para a circularidade. A implantação de mercados com sistemas de controle de estoque, rastreamento de produtos, protocolos de monitoramento e publicação de informações sobre materiais secundários que estão ou estarão disponíveis é fundamental para transformar edifícios em banco de materiais.

A principal contribuição deste estudo foi o estabelecimento de critérios do DfAD para orientar a tomada de decisão na etapa de projeto. Edifícios circulares exigem a adaptação dos processos construtivos às propriedades mecânicas e geométricas dos materiais disponíveis e o uso de materiais mais simples para facilitar a reutilização ou reciclagem. A pré-fabricação associada ao DfAD reduz a complexidade dos edifícios, ampliando a capacidade de adaptabilidade, durabilidade, transportabilidade, montagem e desmontagem. Como pesquisa futura, espera-se fazer um levantamento com diferentes *stakeholders* do setor da construção civil para definir pesos para os critérios do DfAD estabelecidos neste estudo, bem como apontar as principais barreiras relacionadas à implementação de projetos de construção circular.

## REFERÊNCIAS

AJAYI, Saheed O. *et al.* Waste effectiveness of the construction industry: Understanding the impediments and requisites for improvements. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 102, p. 101-112, 2015.

AJAYI, Saheed O.; OYEDELE, Lukumon O. Policy imperatives for diverting construction waste from landfill: Experts' recommendations for UK policy expansion. **Journal of cleaner production**, v. 147, p. 57-65, 2017. [doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.075](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.075)

AKANBI, Lukman A. *et al.* Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 129, p. 175-186, 2018. [doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.026](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.026)

AKINADE, Olugbenga *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. [doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.017](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.017)

ANASTASIADES, K. *et al.* Translating the circular economy to bridge construction: Lessons learnt from a critical literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 117, p. 109522, 2020.

DORSTHORST, B.J.H., KOWALCZYK, T. Design for recycling. In: PROCEEDINGS OF THE CIB TASK GROUP 39 – Design for Deconstruction and Materials Reuse. **Anais...** Germany: CIB Publication, 2002. p. 70–80.

DURMISEVIC, Elma. **Circular economy in construction design strategies for reversible buildings**. BAMB, 2019.

ELO, Satu; KYNGÄS, Helvi. The qualitative content analysis process. **Journal of advanced nursing**, v. 62, n. 1, p. 107-115, 2008.

GERAEDTS, Rob. FLEX 4.0, a practical instrument to assess the adaptive capacity of buildings. **Energy Procedia**, v. 96, p. 568-579, 2016. [doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.102](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.102)

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global status report on road safety 2015**. World Health Organization, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 20887 Sustainability in buildings and civil engineering works** — Design for disassembly and adaptability, 2020.

KIBERT, Charles J. Deconstruction: the start of a sustainable materials strategy for the built environment. **Industry and environment**, v. 26, n. 2, p. 84-88, 2003.

KIRCHHERR, Julian; REIKE, Denise; HEKKERT, Marko. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, conservation and recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017.

MACOZOMA, Dennis S. Understanding the concept of flexibility in design for deconstruction. In: PROCEEDINGS OF THE CIB TASK GROUP 39 – Design for Deconstruction and Materials Reuse. **Anais...** Germany: CIB Publication, v. 272, 2002.

MALHOTRA, Naresh K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2001.

MUNARO, Mayara Regina; TAVARES, Sérgio Fernando; BRAGANÇA, Luís. Towards circular and more sustainable buildings: A systematic literature review on the circular economy in the built environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, p. 121134, 2020.

MUNARO, Mayara Regina; TAVARES, Sergio Fernando; BRAGANÇA, Luís. The ecodesign methodologies to achieve buildings' deconstruction: A review and framework. **Sustainable Production and Consumption**, 2022.

NORDBY, Anne Sigrid; BERGE, B.; HESTNES, A. G. Salvageability of building materials. In: PROCEEDINGS FOR THE SB07 CONFERENCE, 2007. **Anais...** IOS Press, 2007. p. 593-599.

OSMANI, Mohamed; GLASS, Jacqueline; PRICE, Andrew DF. Architects' perspectives on construction waste reduction by design. **Waste management**, v. 28, n. 7, p. 1147-1158, 2008. [doi.org/10.1016/j.wasman.2007.05.011](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.05.011)

THORMARK, Catarina. **Recycling potential and design for disassembly in buildings**. Lund, Sweden: Department of Construction and Architecture, Lund University, 2001.

TORRACO, Richard J. Writing integrative literature reviews: Guidelines and examples. **Human resource development review**, v. 4, n. 3, p. 356-367, 2005.

TRANFIELD, David; DENYER, David; SMART, Palminder. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207-222, 2003.

TÜRKELI, Serdar et al. Circular economy scientific knowledge in the European Union and China: A bibliometric, network and survey analysis (2006–2016). **Journal of cleaner production**, v. 197, p. 1244-1261, 2018. doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.118

WESTBURY, P. S. Demountable buildings-a new design strategy? In: WIT Transactions on The Built Environment, v. 24. **Anais...** SEVILLE, SPAIN: WIT Press, 1996. p. 419–432.

WHITTEMORE, Robin; KNAFL, Kathleen. The integrative review: updated methodology. **Journal of advanced nursing**, v. 52, n. 5, p. 546-553, 2005.

WORLD ECONOMIC FORUM (EMF). **Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains**. Geneva, 2014.