

**POTENCIAL DE DESMONTE EM SISTEMAS CONSTRUTIVOS INOVADORES NO BRASIL:
UMA ANÁLISE DOS DATECS SOB A PERSPECTIVA DA ECONOMIA CIRCULAR*****DISASSEMBLY POTENTIAL IN INNOVATIVE CONSTRUCTION SYSTEMS IN BRAZIL: AN
ANALYSIS OF DATEC DOCUMENTS FROM A CIRCULAR ECONOMY PERSPECTIVE******POTENCIAL DE DESMONTAJE EN SISTEMAS CONSTRUCTIVOS INOVADORES EN
BRASIL: UN ANÁLISIS DE LOS DATEC DESDE LA PERSPECTIVA DE LA ECONOMÍA
CIRCULAR***Maria Adalberto Narciso¹, Pâmela Bruna Araújo de Melo², Leonardo Oliveira³, Adla Kellen Dionisio⁴

e768141

<https://doi.org/10.47820/recima21.v7i6.8141>

PUBLICADO: 06/2026

RESUMO

A construção civil brasileira enfrenta o desafio de gerir toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) gerados pelo setor. Diante desse cenário, a Economia Circular (EC) e o Projeto para Desmonte (DfD) emergem como estratégias essenciais para transformar edificações em "Bancos de Materiais", mantendo os recursos em ciclos fechados de alto valor. Este estudo realizou uma avaliação do potencial de desmonte de 14 sistemas construtivos inovadores regulamentados pelo PBQP-H por meio de Documentos de Avaliação Técnica (DATec). A metodologia envolveu análise documental e aplicação de uma lista de verificação composta por 16 critérios técnicos de desmontagem e circularidade divididos entre sistemas e materiais. Os resultados indicam que 92,8% dos sistemas possuem potencial teórico para desconstrução, mas enfrentam gargalos na padronização de conexões mecânicas e na rastreabilidade de dados. A maioria dos DATecs analisados não apresenta informações sobre a toxicidade dos materiais, o que impede a tomada de decisão segura no fim da vida útil e reforça a lógica linear de descarte. Conclui-se que a transição para a circularidade na construção brasileira depende da evolução dos marcos regulatórios para a inclusão de Passaportes de Materiais (BMP) e digitalização via BIM, ferramentas fundamentais para garantir o reuso efetivo de componentes e a redução dos danos ambientais causados pelo setor.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas construtivos inovadores. Desmonte. Economia circular. Rastreabilidade.

ABSTRACT

The Brazilian construction industry faces the challenge of managing tons of construction and demolition waste (CDW) generated by the sector. In this scenario, the Circular Economy (CE) and Design for Disassembly (DfD) emerge as essential strategies to transform buildings into "Material Banks," maintaining resources in high-value closed cycles. This study evaluated the dismantling potential of 14 innovative construction systems regulated by the PBQP-H (Brazilian Program for

¹ Engenheira civil pela UFRSA, Graduação em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia pela UFRSA. Atou em pesquisa sobre sistemas construtivos inovadores.

² Graduanda em Engenharia civil pela UFRSA, Graduação em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia pela UFRSA. Atou em pesquisa sobre sistemas construtivos inovadores.

³ Docente na UFRN. Possui doutorado em Engenharia civil pela Unicamp e mestrado e graduação em Engenharia civil pela UFRN. Atua em pesquisas sobre estruturas de concreto e análise estrutural.

⁴ Docente na UFRN. Possui doutorado em Engenharia civil pela Unicamp e mestrado e graduação em Engenharia civil pela UFRN. Atua em pesquisas sobre patologia das construções e sistemas construtivos inovadores.



Quality and Productivity in Housing) using Technical Assessment Documents (DATec). The methodology involved document analysis and the application of a checklist composed of 16 technical criteria for dismantling and circularity, divided between systems and materials. The results indicate that 92.8% of the systems have theoretical potential for deconstruction, but face bottlenecks in the standardization of mechanical connections and data traceability. Most of the analyzed DATecs do not present information on the toxicity of the materials, which prevents safe decision-making at the end of their useful life and reinforces the linear logic of disposal. It is concluded that the transition to circularity in Brazilian construction depends on the evolution of regulatory frameworks to include Material Passports (BMPs) and digitization via BIM, fundamental tools to guarantee the effective reuse of components and the reduction of environmental damage caused by the sector.

KEYWORDS: *Innovative construction systems. Disassembly. Circular economy. Traceability.*

RESUMEN

La construcción civil brasileña enfrenta el desafío de gestionar el elevado volumen de residuos de construcción y demolición (RCD) generados por el sector. En este contexto, la Economía Circular (EC) y el Diseño para el Desmontaje (Design for Disassembly – DfD) emergen como estrategias fundamentales para transformar las edificaciones en “Bancos de Materiales”, manteniendo los recursos en ciclos cerrados de alto valor. Este estudio evaluó el potencial de desmontaje de 14 sistemas constructivos innovadores regulados por el PBQP-H mediante Documentos de Evaluación Técnica (DATec). La metodología consistió en un análisis documental y en la aplicación de una lista de verificación compuesta por 16 criterios técnicos relacionados con desmontaje y circularidad, divididos entre sistemas constructivos y materiales/componentes. Los resultados indican que el 92,8 % de los sistemas presentan potencial teórico para la deconstrucción; sin embargo, persisten limitaciones relacionadas con la estandarización de conexiones mecánicas y la trazabilidad de la información. La mayoría de los DATec analizados no presenta datos suficientes sobre toxicidad, composición y posibilidades de reutilización de los materiales, lo que dificulta la toma de decisiones seguras al final de la vida útil de las edificaciones y refuerza la lógica lineal de descarte. Se concluye que la transición hacia la circularidad en la construcción brasileña depende de la evolución de los marcos regulatorios, incorporando pasaportes de materiales y herramientas digitales basadas en BIM, fundamentales para garantizar la reutilización efectiva de componentes y la reducción de los impactos ambientales del sector.

PALABRAS CLAVE: *Sistemas constructivos innovadores. Desmontaje. Economía circular. Trazabilidad.*

1. INTRODUÇÃO

A intensificação do processo de urbanização e a crescente demanda por habitação indicam que o consumo mundial de materiais poderá dobrar até 2050 (United Nations, 2019; Schandl *et al.*, 2016). Nesse cenário, a construção civil destaca-se como uma das atividades de maior impacto ambiental, sendo responsável por mais de 40% da extração de recursos naturais e por uma parcela significativa da geração de resíduos sólidos em escala global (Benachio; Freitas; Tavares, 2020; Pomponi, 2017). Adicionalmente, estima-se que o setor seja responsável por 40% a 50% de todo o resíduo sólido mundial (Zhuang; Shih; Wagiri, 2023; Nian *et al.*, 2022;



Dabaieh; Maguid; El-Maddy, 2022), sendo que mais de 90% desses resíduos originam-se de atividades de demolição (Benachio; Freitas; Tavares, 2020; Shojaei *et al.*, 2021) ao final da vida útil das edificações. No Brasil, a problemática se intensifica diante do elevado volume de resíduos de construção e demolição, que ultrapassa a geração de resíduos sólidos urbanos, além da persistência de destinações inadequadas para uma parcela relevante desses materiais (ABREMA, 2025). Diante desse contexto, a adoção de sistemas construtivos inovadores é uma alternativa estratégica para mitigar desperdícios e elevar o desempenho do ambiente construído.

Neste contexto, observa-se uma mudança necessária do modelo linear de "extrair-produzir-descartar" para a Economia Circular (EC) (Ellen MacArthur Foundation, 2020; Korhonen; Honkasalo; Seppälä, 2017), que visa manter materiais e componentes em ciclos fechados ao seu valor máximo (Cheshire, 2016; Desing *et al.*, 2020; Potting *et al.*, 2017). Um pilar central dessa transição é o Design for Disassembly (DfD), ou projeto para desmonte, que visa possibilitar a desmontagem planejada das construções, favorecendo a reutilização e a reciclagem de materiais, além da redução da geração de resíduos (Crowther, 2005; Guy; Shell, 2002).

Essa abordagem possibilita que as edificações funcionem como "Bancos de Materiais" (Material Banks), que são estoques temporários onde os recursos são armazenados para reuso futuro, em vez de serem destinados a aterros (Geldermans, 2016; BAMB, 2017; Rose; Stegemann, 2018; Heinrich; Lang, 2019). Estudos reforçam essa abordagem ao destacar o papel do DfD na transição para modelos construtivos circulares e de baixo carbono (Akinade *et al.*, 2015; Akanbi *et al.*, 2019; Hossain *et al.*, 2020; Guerra *et al.*, 2021). Pesquisas destacam que estratégias de circularidade e reuso podem reduzir significativamente as emissões de CO₂ e a extração de recursos virgens (Ranasinghe; Domingo; Kahandawa, 2024). Adicionalmente, estudos reforçam que a aplicação do DfD e a recuperação de componentes estruturais são fundamentais para viabilizar a circularidade real, especialmente em sistemas que utilizam aço e montagens pré-fabricadas (Akanbi *et al.*, 2018; Ranasinghe; Domingo; Kahandawa, 2024).

A adoção dos princípios da economia circular também pode contribuir para o aumento da produtividade no setor da construção civil. Segundo o World Economic Forum (2016), um aumento de 1% na produtividade global da construção poderia representar uma economia global de aproximadamente US\$ 100 bilhões por ano. Nesse contexto, estratégias voltadas à circularidade, ao reuso de componentes e à redução de desperdícios apresentam não apenas benefícios ambientais, mas também potencial para ganhos econômicos e maior produtividade do setor.



Entretanto, a implementação prática da circularidade enfrenta obstáculos, como a ausência de códigos e padrões específicos para materiais reusados e a falta de rastreabilidade de dados ao longo do ciclo de vida dos componentes (Ranasinghe; Domingo; Kahandawa, 2024). Nessa perspectiva, a ausência de informações, por exemplo, sobre as propriedades e o histórico dos materiais compromete a tomada de decisão com base nos princípios da economia circular. No Brasil, embora o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) regulamente inovações tecnológicas via Documento de Avaliação Técnica (DATec), esses registros ainda focam majoritariamente no desempenho térmico e estrutural (Brasil, 2022). Tais documentos falham ao não incorporar diretrizes claras para o desmonte e para a circularidade dos sistemas, tratando o fim de vida de forma secundária (Mattaraia; Martins; Fabricio, 2016).

Diante da escassez de estudos que articulem diretrizes técnicas nacionais com os avanços recentes da economia circular, este trabalho contribui ao analisar o potencial de desmonte de sistemas construtivos inovadores no contexto brasileiro. O objetivo deste estudo é avaliar a viabilidade técnica de desmontagem dos sistemas regulamentados pelo PBQP-H, com base em critérios de projeto para desmonte e análise de materiais. Com isso, a pesquisa evidencia lacunas nos Documentos de Avaliação Técnica (DATecs) e oferece subsídios para o aprimoramento de políticas públicas e práticas projetuais orientadas à circularidade na construção civil.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Economia circular e o setor da construção

A Economia Circular (EC) é definida como um sistema regenerativo no qual o consumo de recursos, a geração de resíduos e as emissões são minimizados por meio do fechamento ou estreitamento dos laços de materiais e energia (Geissdoerfer *et al.*, 2017; Ellen MacArthur Foundation, 2019).

Ao contrário do modelo linear de "extrair-produzir-descartar", a EC propõe que os materiais permaneçam em uso pelo maior tempo possível, mantendo seu valor máximo (Korhonen; Honkasalo; Seppälä, 2017; Benachio; Freitas; Tavares, 2020; Ellen MacArthur Foundation, 2020). Na construção civil, este conceito redefine a visão da edificação, que deixa de ser um produto final estático para tornar-se um "Banco de Materiais" (Material Bank). A edificação passa a ser um estoque temporário de recursos valiosos prontos para reinserção em novos ciclos (Geldermans, 2016; Heinrich; Lang, 2019; Hopkinson *et al.*, 2019). A transição para esse modelo é considerada fundamental para atingir metas climáticas globais, visto que a



construção consome anualmente mais de 3 bilhões de toneladas de matérias-primas (Guerra *et al.*, 2021; Ellen MacArthur Foundation, 2021).

2.2. Design para Desmonte (DfD) e estratégias de circularidade

O Design para Desmonte (*Design for Disassembly* (DfD)), ou projeto para desmonte, é o pilar operacional que viabiliza a circularidade. Este conceito permite a separação sistemática de componentes sem danos (Akinade *et al.*, 2015; Guerra *et al.*, 2021). A literatura destaca que a eficácia do desmonte é regida por princípios como a modularidade, a padronização e o uso de conexões mecânicas desmontáveis (como parafusos) em substituição a uniões fixas ou químicas, como adesivos e soldas (Crowther, 2005; Webster; Costello, 2005; Guy *et al.*, 2006; Ranasinghe; Domingo; Kahandawa, 2024). Estudos indicam que sistemas que utilizam estruturas de aço e montagens pré-fabricadas apresentam o maior potencial de reuso real (Akanbi *et al.*, 2018). Por outro lado, sistemas em concreto armado, devido à sua natureza monolítica, tendem a resultar na maioria das vezes em processos de reciclagem de baixo valor, sendo difíceis de desmontar sem danos (Hossain *et al.*, 2020; Akanbi *et al.*, 2018). O DfD não apenas facilita a recuperação de materiais, mas também prolonga a vida útil dos componentes ao simplificar processos de manutenção e atualização tecnológica (Adams *et al.*, 2017).

O Design para Desmonte (DfD) é essencial para aumentar a relação custo-benefício da recuperação e reutilização de materiais desde as fases iniciais do projeto (Tingley; Davison, 2011). A viabilidade econômica do DfD está associada à possibilidade de que o valor dos materiais recuperáveis supere os custos relacionados à desmontagem e ao descarte convencional (Billatos; Basaly, 1997; Akinade *et al.*, 2015). Ao tratar a edificação como um "Banco de Materiais" (Geldermans, 2016), os componentes deixam de ser entendidos como resíduos e passam a ser considerados como ativos que mantêm seu valor máximo de utilidade em ciclos sucessivos. Nesse contexto, a reutilização direta tende a apresentar mais vantagens em relação à reciclagem, pois requer um menor consumo de energia (Akanbi *et al.*, 2018; Oyedele *et al.*, 2014) e redução da utilização de recursos adicionais (Oyedele *et al.*, 2014), preservando a energia incorporada e o valor agregado do material.

No entanto, para viabilizar a circularidade, por meio do aumento da vida útil dos edifícios, o projeto deve levar em consideração a adaptabilidade e a flexibilidade, bem como a desconstrução ao final de sua vida útil (Cheshire, 2016). Apesar desses aspectos serem explorados na literatura (Pinder *et al.*, 2013), há uma carência de informação sobre como o design de edifícios, componentes e produtos podem afetar sua circularidade. No entanto, essa



situação tende a melhorar com a incorporação do conceito de Bancos de Materiais, que permite rastrear e valorizar componentes ao longo do ciclo de vida.

2.3. Sistemas inovadores e o contexto regulatório brasileiro

No Brasil, a inovação tecnológica na construção civil é regulamentada pelo Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), que utiliza o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SiNAT) para validar tecnologias sem normas técnicas nacionais consolidadas. O processo culmina na emissão do Documento de Avaliação Técnica (DATec), que atesta o desempenho do sistema em termos de segurança, habitabilidade e durabilidade (Amancio *et al.*, 2015). Contudo, a literatura aponta que os DATecs ainda apresentam uma lacuna crítica: focam predominantemente no desempenho térmico e estrutural, negligenciando diretrizes explícitas para o desmonte e para a gestão do fim de vida útil (Mattaraia; Martins; Fabricio, 2016; Brasil, 2022). Essa desarticulação regulatória impede que o potencial de circularidade de sistemas inovadores nacionais seja plenamente aproveitado, mantendo o setor atrelado a práticas de demolição destrutiva.

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como uma pesquisa documental com abordagem qualitativa e caráter descritivo-analítico. O objeto de estudo consiste nos Documentos de Avaliação Técnica (DATec), que regulamentam sistemas construtivos inovadores no Brasil no âmbito do PBQP-H.

3.1. Seleção da amostra e coleta de dados

A coleta de dados foi realizada por meio da análise dos DATecs disponíveis no banco de dados da pesquisa Sistema Construtivos Inovadores e seus Documentos de Avaliação Técnica, obtidos no portal oficial do PBQP-H. De um universo inicial de 44 documentos, foram selecionados 14 DATecs específicos para sistemas construtivos de edificações, abrangendo tecnologias em aço (*light steel framing*), madeira (*wood framing*) e concreto (pré-moldados e moldados *in loco*). A escolha destes documentos justifica-se pelo fato de serem os instrumentos oficiais que definem as diretrizes de projeto e execução dessas inovações no cenário nacional.

3.2. Instrumento de análise e categorização crítica

Para avaliar o potencial de desmonte, utilizou-se uma lista de verificação adaptada de Mattaraia, Martins e Fabricio (2016). Este instrumento é composto por 16 critérios (Quadro 1) fundamentados nos princípios do *Design for Disassembly* (DfD), divididos em duas categorias:

- a) Sistemas Construtivos (7 critérios): Inclui a análise de modularidade, pré-fabricação e o uso de conexões mecânicas.
- b) Materiais e Componentes (9 critérios): Avalia a padronização, durabilidade, toxicidade e o potencial de reuso dos insumos.

Os itens alinham-se diretamente aos pilares da Economia Circular, que prioriza a manutenção de materiais em ciclos fechados e a redução da extração de recursos virgens.

Quadro 1. Checklist para avaliação dos DATecs

Sistemas construtivos	Crítérios referidos
Projeto para desmonte	C1 - Projetar de maneira que facilite o desmonte C13 - Prever a sequência do desmonte
Sistema construtivo modular	C9 - Utilizar sistemas modulares
O sistema evita elementos de grandes dimensões	C11 - Evitar elementos de grandes dimensões, considerando a escala humana
Elementos pré-fabricados	C10 - Utilizar elementos pré-fabricados
Estrutura resistente a montagem e desmontagem	C21 - Utilizar conectores que resistam a montagem e desmontagem C32 - Utilizar materiais duráveis e resistentes
Materiais e componentes	Crítérios referidos
Materiais padronizados	C26- Padronizar os materiais
Disponibilidade de inventários ACV dos materiais utilizados	C27 - Considerar os diferentes ciclos de vida
Ausência de materiais tóxicos ou danosos	C28 - Evitar materiais tóxicos e danosos
Evita materiais compostos	C31 - Considerar materiais que facilitem a desmontagem
Materiais leves	C30 - Considerar as dimensões e pesos dos materiais para facilitar o desmonte e o transporte
Materiais duráveis	C32 - Utilizar materiais duráveis e resistentes
Priorizou materiais que possam ser reutilizados	C29 - Incentivar a reutilização de materiais de outras construções;
Os materiais utilizados poderão ser desmontados	C25 - Considerar a desmontagem dos materiais utilizados na edificação para aumentar as chances de reutilização
Ausência de Revestimentos e acabamentos químicos	C31 - Considerar materiais que facilitem a desmontagem

Fonte: Adaptado de Mattaraia; Martins; Fabricio (2016).



3.3. Procedimentos de análise

A avaliação consistiu na análise das diretrizes de montagem, conexões e especificações de materiais contidas nos documentos. Cada sistema foi classificado conforme o atendimento aos critérios em quatro categorias:

- i) atende: quando o critério é contemplado no documento;
- ii) não atende: o sistema apresenta características do modelo linear (extrair-produzir-descartar);
- iii) não se aplica: o critério é incompatível com a natureza técnica do sistema;
- iv) não verificado: nos casos de ausência de dados ou rastreabilidade de informações no documento oficial.
- v)

3.4. Articulação com a rastreabilidade de dados

Após a análise dos critérios, o potencial de desmontagem foi inferido a partir da proporção de critérios atendidos por cada sistema, permitindo uma análise comparativa entre as tecnologias avaliadas. Essa abordagem aproxima-se do conceito de Passaportes de Materiais (*Material Passports*), que são ferramentas digitais para armazenar dados sobre o produto, como especificação de componentes, possibilidade de separação e informações que subsidiem a reutilização. Essa abordagem permitiu analisar o potencial técnico de desmonte e a existência de suporte informacional para viabilizar a circularidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dos 44 documentos consultados no SiNAT, foram selecionados 14 DATecs válidos específicos para sistemas construtivos de edificações. A amostra revelou uma predominância de sistemas baseados em aço, madeira e concreto (pré-moldados ou moldados *in loco*). O Quadro 2, mostra o número e o nome dos documentos selecionados.

Quadro 2. Identificação dos DATecs selecionados

Nº	Identificação do produto
008-D	Sistema de vedação vertical com função estrutural constituído de painéis pré-moldados de blocos cerâmicos e nervuras de concreto armado – JET CASA.
012-E	Painéis pré-fabricados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos sem função estrutural – PRECON
014-C	Sistema construtivo a seco Saint-Gobain – Light Steel Frame
020-D	Sistema estruturado em peças leves de madeira maciça serrada – Tecverde (tipo light wood framing)
021-C	CASAS OLÉ – Painéis pré-moldados em alvenaria com blocos cerâmicos e concreto armado



Nº	Identificação do produto
023-C	Painéis estruturais pré-moldados ITC - Casa Express, mistos de concreto armado e lajotas cerâmicas – Tipo A
028-B	Sistema de vedação vertical constituído de painéis pré-moldados de blocos cerâmicos e nervuras de concreto armado – PREMIERE
031-B	Painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos sem função estrutural
032-A	Painéis estruturais pré-moldados de concreto armado – ALTIARE
035-B	Paredes moldadas no local de Concreto Reforçado com Fibra de Vidro – CRFV
036-A	Painéis de vedação sem função estrutural pré-fabricados em concreto
038-A	Sistema construtivo modular “Casas Fischer” - painéis pré-fabricados de chapas delgadas vinculadas por núcleo de isolante térmico rígido
42	Sistema construtivo estruturado em peças de madeira maciça serrada com fechamentos em chapas (<i>light wood framing</i>) - MBTM
43	Painéis estruturais pré-moldados mistos de concreto armado e lajotas cerâmicas ITC - Casa Express

Fonte: Autores.

4.1. Sistemas construtivos

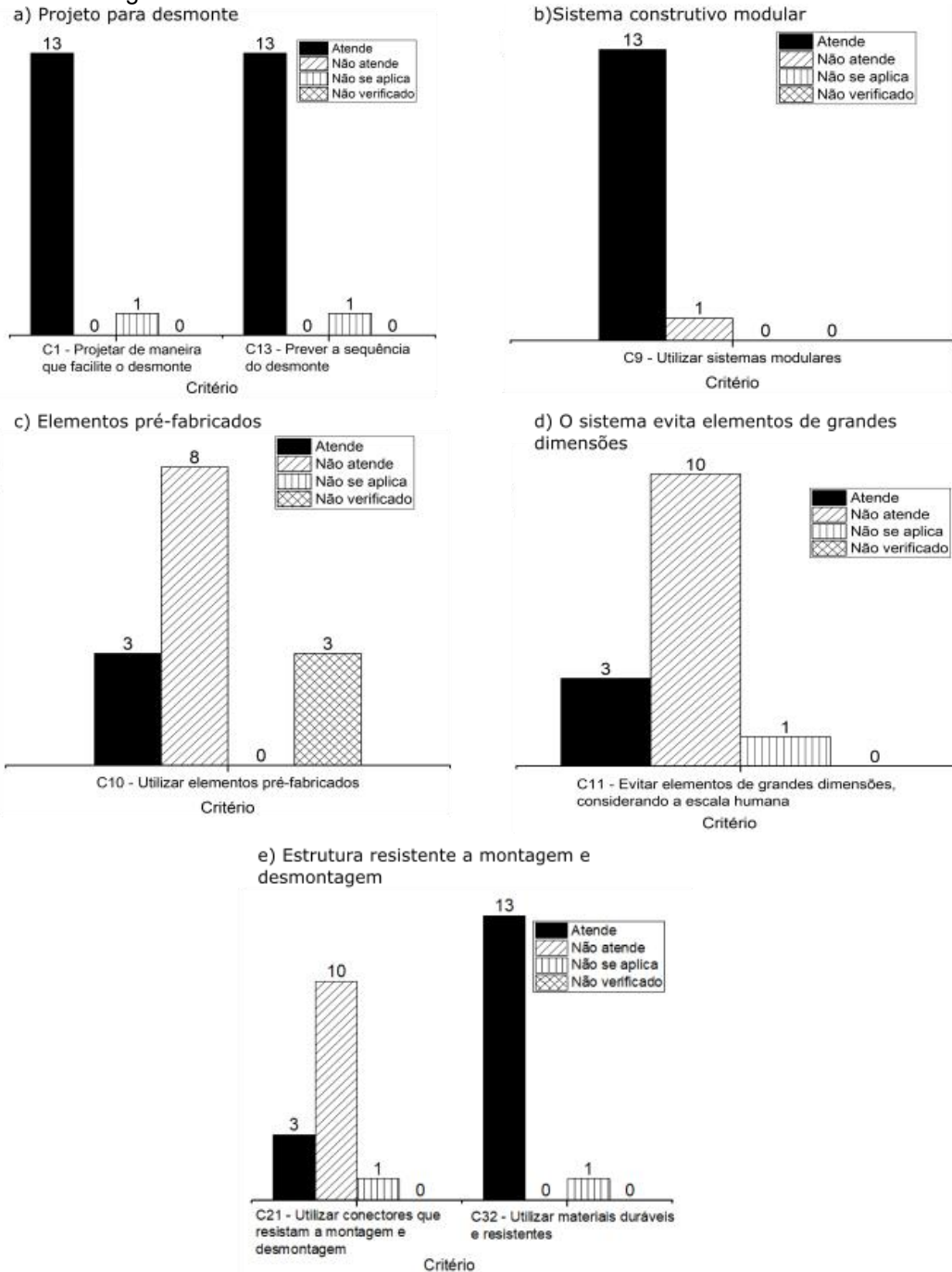
Em relação à categoria Sistemas construtivos, a Figura 1 apresenta como os DATecs atendem aos requisitos da lista da categoria sistemas construtivos. Verifica-se que a maioria dos sistemas atende aos critérios analisados.

A categoria "Projeto para Desmonte" (DfD) (Figura 1(a)), que enfatiza a viabilidade de desconstrução logo nas etapas iniciais do projeto, foi avaliada com base em dois critérios distintos. A Figura 1(a) ilustra a avaliação dos DATecs em relação aos critérios C1 (Projetar de maneira que facilite o desmonte) e C13 (Prever a sequência do desmonte). A adoção de estratégias de projeto para desmonte contribui para a mitigação dos impactos ambientais, uma vez que promove a facilidade e segurança na manutenção e separação dos elementos, prolonga a vida útil dos materiais ao possibilitar seu reuso e resulta em menor volume de resíduos, reduzindo a demanda por recursos naturais virgens (Thormark, 2006; Ranasinghe; Domingo; Kahandawa, 2024). A maioria (treze) dos DATecs analisados demonstrou que o sistema construtivo foi concebido com a perspectiva do projeto para desmonte. Conforme Mattaraia (2013), a consideração da desmontagem já na fase de projeto possibilita a busca de soluções para maximizar a utilização dos materiais.

O planejamento dos sistemas construtivos com vistas ao desmonte facilita tanto a montagem quanto a desmontagem, uma vez que proporciona uma visualização clara da sequência de desconstrução. Esse enfoque torna o processo mais acessível e seguro, permitindo a identificação dos materiais a serem removidos em primeiro lugar, além de empregar as ferramentas e técnicas apropriadas para evitar danos aos componentes, garantindo que estes

mantenham seu valor máximo para reinserção no ciclo econômico (Akinade *et al.*, 2015; Shojaei *et al.*, 2021).

Figura 1. Categoria sistemas construtivos



Fonte: Autores.



Quanto ao emprego do sistema construtivo modular, a Figura 1(b) indica que 13 DATecs atendem ao critério de utilizar sistemas modulares. Esse tipo de sistema apresenta formas e tamanhos padronizados e, assim, permite características que podem ser aplicadas em várias etapas da produção do sistema. O módulo facilita a cooperação entre os profissionais envolvidos, o uso de componentes padronizados, a elaboração de projetos e a troca de componentes, reduzindo restrições de design e desperdícios (Geldermans, 2016; Cruz Rios et al., 2021; Huang, 2021; Yang *et al.*, 2024). A facilidade de desmontagem também possibilita ao sistema modular a facilidade para montagem em outro local, o que é fundamental para estratégias de mobilidade habitacional e realocação de estruturas sem a geração de entulho. Esta abordagem é essencial no contexto brasileiro, onde a geração de resíduos de construção e demolição atingiu 100,8 milhões de toneladas em 2024, volume que supera a massa de resíduos sólidos urbanos do país (ABREMA, 2025).

No que tange aos elementos pré-fabricados (Figura 1(c)), apenas três sistemas utilizam essa estrutura industrializada, enquanto oito dependem de pré-moldados com menor rigor de controle. A pré-fabricação é identificada pela literatura como um dos maiores fatores contribuintes para o sucesso do DfD (Akinade *et al.*, 2015; Akanbi *et al.*, 2018).

No que diz respeito ao critério se os sistemas evitam grandes dimensões e pesos excessivos (C11) (Figura 1(d)), como exemplo, o *Light Steel Framing* e o sistema Casas Fischer, esses tipos de construções otimizam o desmonte por permitirem o manuseio manual e o uso de ferramentas simples, dispensando maquinário pesado. Esses sistemas fazem uso de peças com dimensões e/ou pesos que possibilitem a manipulação manual por parte das pessoas, dispensando a necessidade de máquinas para transporte. A opção por elementos de dimensões menores na construção é estrategicamente relevante, já que facilita tanto a desmontagem quanto o transporte dessas peças, além de simplificar o processo de montagem. Henriqson, Rocha e Sattler (2008) ressaltam que a utilização de componentes de tamanho e peso que viabilizam armazenagem, transporte e manuseio por meio humano, sem a necessidade de maquinaria, não apenas facilita, mas também otimiza a montagem e desmontagem de edificações, tornando-as mais eficientes por meio da aplicação de ferramentas simples.

Os sistemas que não atendem ao critério C11 consistem em painéis pré-moldados ou pré-fabricados de concreto (sete), painéis de wood frame (dois) e painéis de steel frame (um), totalizando um conjunto de dez DATecs. Painéis de concreto, seja estrutural ou não estrutural, são peças de grandes proporções e significativo peso, requerendo o uso de equipamentos como guindastes, gruas ou caminhões com guincho para a movimentação dos módulos. Os painéis de madeira são confeccionados em ambientes fabris e subsequentemente transportados para o



local da construção, com revestimento parcial ou total e todas as instalações pré-embutidas. Conseqüentemente, essas estruturas se tornam excessivamente volumosas e pesadas, tornando inviável o transporte e instalação por meio humano, sem a assistência de maquinário. No caso do sistema 035-B - Paredes moldadas no local de Concreto Reforçado com Fibra de Vidro – CRFV, o critério analisado não se aplica, uma vez que as paredes são moldadas de uma só vez, não havendo componentes separados para montagem ou desmontagem.

Em relação à resistência das estruturas (Figura 1(e)) no que diz respeito à montagem e desmontagem (C21 e C32) observa-se que embora 13 sistemas utilizem materiais duráveis, apenas três utilizam conexões mecânicas e desmontáveis (parafusos) que suportam ciclos de montagem e desmontagem sem danos. A maioria dos sistemas de concreto analisados utiliza soldas ou juntas úmidas, enquanto o *wood framing* prioriza pregos, dificultando o desmonte planejado.

Para Crowther (2005), Webster e Costello (2005), Guy *et al.* (2006) e Akinade *et al.* (2015) um dos princípios do DfD é utilizar juntas de porca/parafuso em vez de pregos e cola. O uso de conexões mecânicas em vez de adesivos ou soldas possibilita a reutilização (Crowther, 2005) e minimiza a geração de resíduos (Akbarnezhad *et al.*, 2014), isso garante a preservação da energia incorporada e a sustentabilidade real do ciclo de vida. Sistemas monolíticos ou com uniões fixas tendem a resultar em demolições destrutivas e processos de reciclagem de baixo valor (Tingley, 2012; Akanbi *et al.*, 2018; Hossain *et al.*, 2020; Torgautov, 2021). Isso agrava a situação ambiental nacional onde 34% dos resíduos ainda são destinados a locais inadequados (ABREMA, 2025).

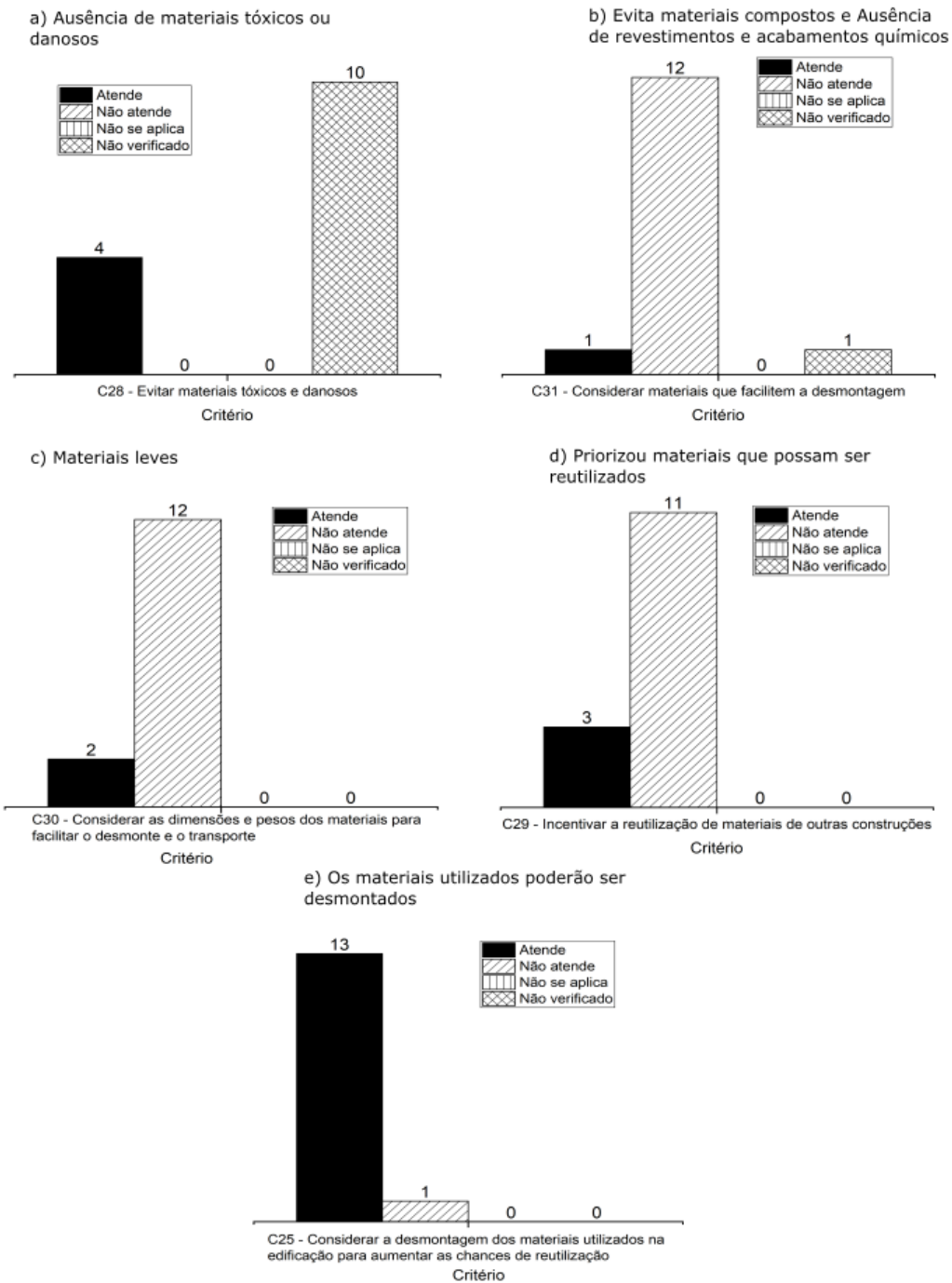
4.2. Materiais e componentes

Na categoria de materiais e componentes (Figura 2), todos os DATecs atendem aos critérios de padronização (C26), consideração de ciclos de vida (C27) e durabilidade (C32). No entanto, o uso de materiais leves (C30), devido à predominância do concreto, é uma deficiência em 12 dos 14 sistemas. O peso elevado dos componentes de concreto dificulta o transporte e o manuseio no desmonte, ao contrário dos sistemas de aço e madeira, que apresentam melhor relação resistência/peso.

Dos documentos analisados, somente dois atendem ao critério de empregar materiais leves em seus sistemas construtivos: o Sistema Tecverde e o Sistema MBTM. Um aspecto comum a esses sistemas é a adoção da madeira como o principal material de construção, que é reconhecido por sua natureza leve. Optar pela madeira é uma escolha preferencial para projetos que visem a desmontagem, especialmente quando a madeira é de natureza flexível, permitindo

tanto a reutilização quanto a reciclagem. Além disso, devido à sua característica "natural", a madeira pode ser conectada por meio de diversos dispositivos de encaixe e união (Guy; Shell, 2002).

Figura 2. Categoria materiais e componentes





Fonte: Autores.

Ainda na categoria materiais e componentes, uma verificação preocupante foi a elevada incidência da categoria "Não Verificado" no critério de ausência de materiais tóxicos (C28), onde 10 dos 14 DATecs não apresentavam informações suficientes. Essa falta de informação documental reflete a principal barreira identificada na literatura (Nordby, 2019; Lanau; Liu, 2020; Morganti *et al.*, 2023; Gordon; De Wolf, 2024; Ranasinghe; Domingo; Kahandawa, 2024): a falta de rastreabilidade de dados ao longo do ciclo de vida. Talla e McIlwaine (2022) notaram que a indisponibilidade de dados de materiais no fim da vida útil do produto representa uma barreira importante para alcançar a circularidade de materiais de duas maneiras: (i) dificuldade para a tomada de decisões sobre a recuperação de materiais (Talla; McIlwaine, 2022) e (ii) a incapacidade de incorporar materiais recuperados em novos projetos (Torgautov, 2021). Portanto, sem informações sobre a composição química, o histórico e propriedades dos materiais e, potencial de reutilização, as decisões de fim de vida tornam-se incertas, impedindo o reuso seguro, ou seja, essa ausência representa um desafio à circularidade dos materiais.

Quanto à priorização de materiais reutilizáveis (C29) Figura 2(d)), apenas três sistemas (Tecverde, MBTM, e Casa Express) cumprem este requisito. A literatura (Ghisellini *et al.*, 2018; Hopkinson *et al.*, 2019) aponta que a maioria das pesquisas ainda foca na reciclagem em detrimento do reuso direto, evidenciando um *gap* entre a teoria da economia circular e a prática industrial. Além disso, a presença generalizada de revestimentos químicos e selantes (C31) em 12 dos 14 sistemas inviabiliza a pureza dos materiais necessária para ciclos fechados de alta qualidade.

4.3. Potencial de reuso por tipologia de material

Os resultados indicam que os sistemas de *wood framing* e *steel framing* possuem o maior potencial de reutilização. No caso do aço, a durabilidade permite que componentes fixados por parafusos sejam desmontados e reintegrados sem danos. Esse achado está de acordo com os estudos de Akanbi *et al.* (2018), que demonstram que estruturas metálicas com conexões desmontáveis e montagens pré-fabricadas geram materiais recuperáveis que são predominantemente reutilizáveis (93% de potencial de reuso).

Por outro lado, os sistemas em concreto (7 DATecs) apresentam maior complexidade para o desmonte devido ao seu caráter massivo e monolítico, o que dificulta a separação dos componentes após a moldagem. Nestes casos, a reciclagem permanece como a alternativa mais viável, em vez do reuso direto. Conforme destacado por Hossain *et al.* (2020), a transição para



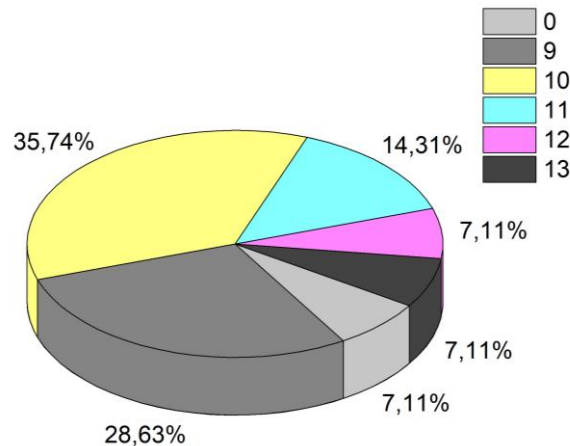
a circularidade em sistemas de concreto exige uma mudança no design de componentes menores e modulares para evitar demolições destrutivas.

Essas diferenças entre as tipologias construtivas também possuem implicações econômicas importantes. Sistemas que utilizam estruturas de aço e conexões desmontáveis (como o Light Steel Framing analisado) apresentam um potencial de reuso de cerca de 93% (Akanbi *et al.*, 2018), o que maximiza o valor residual do ativo ao final da vida útil. Em contrapartida, sistemas monolíticos de concreto ao passar por um processo de reciclagem resultam em um produto inferior. Nesse processo, conhecido como *downcycling*, o valor, a qualidade e a funcionalidade do material recuperado são inferiores aos do material original. Embora a desconstrução e reutilização de produtos da construção resultem em produtos de alto valor, o ato de desconstruir pode ser caro e demorado (Walsh, 2011). Apesar disso, o investimento pode ser compensado pela manutenção dos materiais de construção na economia circular (Akanbi *et al.*, 2018), pois pode haver redução nos custos relacionados à gestão de resíduos e à demanda por matérias-primas virgens (Akanbi *et al.*, 2018; Shojaei *et al.*, 2021).

4.4. Panorama do potencial de desmonte e o desafio da transparência informacional

A Figura 3 apresenta o percentual de Documentos de Avaliação Técnica (DATecs) que atendem aos critérios para o desmonte, divididos entre as categorias “Sistemas construtivos” e “Materiais e componentes”. Ao todo, 14 documentos foram analisados sob a ótica de 16 critérios baseados no Design for Disassembly (DfD), uma estratégia essencial para permitir que as edificações funcionem como Bancos de Materiais (Material Banks) e reduzam os impactos ambientais do setor.

Figura 3. Porcentagem de atendimento dos DATecs em relação à quantidade de critérios atendidos quanto ao desmonte



Fonte: Autores.

O sistema construtivo 035 B (Paredes de CRFV moldadas no local) mostrou-se como o único a não atender a nenhum critério da categoria “Sistemas construtivos” (representando 7,11% da amostra), o que impossibilitou sua avaliação na categoria de materiais. Isto reflete as limitações do modelo econômico linear (extrair, produzir, descartar), onde estruturas monolíticas e indivisíveis impedem a separação dos componentes e resultam em demolições destrutivas e desperdício de recursos. Por outro lado, o fato de 35,74% dos sistemas inovadores atenderem a 10 critérios indica um movimento em direção à economia circular, que para Benachio *et al.* (2020) e Ellen MacArthur Foundation (2015) é uma forma de manter os materiais em ciclos fechados ao seu valor máximo.

Apenas um DATec atendeu a treze dos dezesseis critérios, sugerindo que, embora a inovação tecnológica no Brasil possua potencial para o desmonte, ainda há necessidade de adaptações para alinhar o setor à tendência global. O aproveitamento desse potencial é urgente, considerando que de acordo com a ABREMA (2025) o Brasil gerou 100,8 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) em 2024, um volume alto que já supera a geração de resíduos sólidos urbanos.

Na análise dos dados, observou-se dois pontos preocupantes: a falta de rastreabilidade e disponibilidade de dados nos documentos oficiais do PBQP-H, principalmente quanto à presença de materiais tóxicos ou propriedades de fim de vida. A literatura (Benachio *et al.*, 2020; Kanters, 2020; Xing; Kim; Ness, 2020; Kempton; Boehme; Amirghasemi, 2024; Lotz, *et al.*, 2024; Singh; Kumar, 2024; Ranasinghe; Domingo; Kahandawa, 2024) aponta que a ausência de



informações impede a tomada de decisões circulares eficientes. Isso reforça a necessidade de evoluir os DATecs para modelos de Passaportes de Materiais (Building Material Passport - BMP) ou o uso de BIM para armazenar o histórico e a composição dos componentes. Sem essas informações, o potencial de reuso e reciclagem desses sistemas inovadores continua limitado, dificultando a transição brasileira para uma construção civil realmente sustentável.

Além das limitações técnicas e informacionais, a ausência de rastreabilidade também representa uma barreira econômica à circularidade. Uma limitação crítica identificada na amostra foi que 71,4% dos documentos omitiram dados de toxicidade. Isso mostra a ausência de rastreabilidade ao longo da cadeia de suprimentos, afetando a transparência das informações e dificultando a adoção de estratégias de economia circular no setor da construção civil (Nordby, 2019; Lanau; Liu, 2020; Petrović; Pavlović; Radivojević, 2022; Jones; Gutierrez, 2023; Morganti *et al.*, 2023; Gordon; De Wolf, 2024). Consequentemente, essa limitação atua como uma barreira econômica direta à reutilização e reinserção dos materiais em novos ciclos produtivos. A indisponibilidade de dados sobre as propriedades e o histórico dos materiais no fim da vida útil gera incerteza no mercado de revenda, dificultando a precificação (Rakhshan *et al.*, 2020) e a incorporação de materiais recuperados em novos projetos (Hopkinson *et al.*, 2019). Assim, a implementação de Passaportes de Materiais (BMP) e o uso de BIM funcionariam como ferramentas de gestão e rastreabilidade, reduzindo riscos associados ao reuso e favorecendo a valorização econômica dos materiais recuperados.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho avaliou sistemas construtivos inovadores regulamentados pelo PBQP-H sob a ótica do desmonte e da circularidade de materiais. A análise dos Documentos de Avaliação Técnica (DATec) permitiu identificar avanços e limitações no cenário brasileiro, levando às seguintes conclusões:

- a) Elevado potencial de desmonte com lógica linear. Os sistemas inovadores detêm um alto potencial de desmonte, visto que 92,8% da amostra (13 de 14 sistemas) permite a desconstrução, seja totalmente ou parcialmente. Apesar disso, a ausência de diretrizes obrigatórias de circularidade e de indicadores de rastreabilidade nos registros oficiais do SiNAT mantém o setor atrelado ao modelo linear, desperdiçando o potencial desses sistemas de funcionarem como estoques de recursos.
- b) O uso de componentes pré-fabricados e modulares facilita o transporte e o desmonte. Entretanto, observou-se uma disparidade: enquanto sistemas em *light steel framing* e de madeira são leves e utilizam conexões mecânicas que viabilizam



o reuso direto, a maioria dos sistemas baseados em concreto prioriza uniões fixas (soldas ou juntas úmidas) e elementos massivos. Essa configuração do concreto resulta em processos de *downcycling*, em vez de permitir a reinserção de componentes inteiros em novos ciclos.

- c) A ausência de informações representa um desafio à rastreabilidade. A sustentabilidade real é impedida pela opacidade de dados nos DATecs. A alta incidência de critérios "Não Verificados", sobretudo quanto à composição química e toxicidade (em 10 dos 14 documentos), impossibilita que as edificações operem como "Bancos de Materiais" (*Material Banks*). Sem transparência nas informações, as decisões de fim de vida tornam-se arriscadas, levando ao descarte em aterros de materiais que poderiam ter alto valor residual.
- d) Os resultados reforçam a necessidade de implementar instrumentos digitais obrigatórios, como os Passaportes de Materiais (BMP) e a integração obrigatória do BIM. Tais ferramentas armazenariam dados digitais sobre durabilidade e potencial de circularidade desde a fase de projeto, permitindo uma gestão eficiente do ciclo de vida.
- e) A transição brasileira para sistemas desmontáveis é uma necessidade econômica urgente. A viabilidade econômica da circularidade no Brasil depende, além do potencial técnico de desmontagem, de incentivos governamentais, como a redução de impostos para projetos que utilizem materiais reutilizados e a implementação de taxas mais altas para o descarte em aterros. Somente por meio da transparência das informações e da modernização regulatória os sistemas inovadores brasileiros poderão funcionar verdadeiramente como bancos de recursos, desacoplando o crescimento econômico do consumo de matérias-primas virgens.

Portanto, embora o desenvolvimento de sistemas inovadores no âmbito do PBQP-H garanta qualidade técnica inicial, a sustentabilidade plena do setor depende da evolução dos DATecs para documentos que contemplem a rastreabilidade de dados e diretrizes explícitas para a economia circular no fim de vida útil. Somente assim, os sistemas construtivos poderão evoluir de uma lógica linear "extrair-produzir-descartar" para um modelo mais sustentável de "extrair-produzir-consumir-reutilizar e reciclar", passando a serem verdadeiros estoques de recursos para o futuro do habitat brasileiro.



REFERÊNCIAS

ABREMA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2025. Brasil: ABREMA, 2025. Disponível em: <https://abrema.org.br/>. Acesso em: 6 fev. 2026.

ADAMS, Katherine Tebbatt et al. Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers. In: **Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Waste and Resource Management**. Londres: Thomas Telford Ltd, 2017. p. 15-24.

AKANBI, L. 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.

AKANBI, Lukman 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.

AKBARNEZHAD, A. et al. Economic and environmental assessment of deconstruction strategies using building information modeling. **Automation in Construction**, v. 37, p. 131–144, 2014. DOI: [10.1016/j.autcon.2013.10.017](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.017).

AKINADE, Olugbenga O. et al. Waste minimisation through deconstruction: A BIM based Deconstructability Assessment Score (BIM-DAS). **Resources, Conservation and Recycling**, v. 105, p. 167-176, 2015.

AMANCIO, Rosa Carolina Abrahão et al. O sistema brasileiro de avaliação técnica de produtos inovadores para a Construção Civil. In: FABRICIO, Márcio Minto; ONO, Rosaria. **Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: manutenção e percepção dos usuários**. Porto Alegre: ANTAC, 2015. cap. 2, p. 5-12.

BENACHIO, G. L. F.; FREITAS, M. D. C. D.; TAVARES, S. F. Circular economy in the construction industry: a systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, 121046, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046>.

BRASIL. Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat – PBQP-H. Disponível em: <https://pbqp-h.mdr.gov.br/>. Acesso em: 9 maio 2022.

CHESHIRE, D. **Building revolutions: applying the circular economy to the built environment**. Londres: RIBA Publishing, 2016.

CROWTHER, P. Design for disassembly: themes and principles. **Environmental Design Guide**, Australia, 2005.

CRUZ RIOS, F. et al. Barriers and enablers to circular building design in the US: an empirical study. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 147, n. 10, 2021. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002109](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002109).

DABAEIH, M.; MAGUID, D.; EL-MAHDY, D. Circularity in the new gravity: re-thinking vernacular architecture and circularity. **Sustainability**, v. 14, n. 1, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14010328>.



DESING, H. et al. A circular economy within the planetary boundaries: towards a resource-based, systemic approach. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 155, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104673>.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards a circular economy: business rationale for an accelerated transition**. 2015. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>. Acesso em: 2 nov. 2025.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **The circular economy in detail**. 2019. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>. Acesso em: 2 nov. 2025.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **What is the circular economy**. 2020. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>. Acesso em: 2 nov. 2025.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Completing the picture: how the circular economy tackles climate change**. Reino Unido, 2021. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>. Acesso em: 2 nov. 2025.

GEISSDOERFER, Martin et al. The circular economy: a new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 757-768, 2017.

GELDERMANS, R. J. Design for change and circularity: accommodating circular material and product flows in construction. **Energy Procedia**, v. 96, p. 301-311, 2016.

GHISELLINI, P.; RIPA, M.; ULGIATI, S. Exploring environmental and economic costs and benefits of a circular economy approach to the construction and demolition sector: a literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 178, p. 618-643, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.207>.

GORDON, M.; DE WOLF, C. Optimisation goals for efficient construction from reused materials towards a circular built environment. **Developments in the Built Environment**, v. 19, 100509, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100509>.

GUERRA, Beatriz C. et al. Circular economy applications in the construction industry: a global scan of trends and opportunities. **Journal of Cleaner Production**, v. 324, 129125, 2021.

GUY, B.; SHELL, S. **Design for deconstruction and materials reuse**. Rotterdam: CIB Publication, 2002.

HEINRICH, Matthias; LANG, Werner. **Materials Passports – Best Practice: innovative solutions for a transition to a circular economy in the built environment**. München: Technische Universität München, 2019.

HENRIQSON, J. A.; ROCHA, C. G.; SATTLER, M. A. Análise e descrição do processo de demolição de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2008, Fortaleza. **Anais [...]**. Disponível em: <http://www.infohab.org.br>. Acesso em: 12 fev. 2026.

HOPKINSON, P. et al. Recovery and reuse of structural products from end-of-life buildings. **Engineering Sustainability**, v. 172, n. 3, p. 119–128, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1680/jensu.18.00007>.



HOSSAIN, Md Uzzal et al. Circular economy and the construction industry: existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 130, 109948, 2020.

HUANG, C. H. Reinforcement learning for architectural design-build: opportunity of machine learning in a material-informed circular design strategy. In: GLOBA, A. et al. **Proceedings of the 26th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia – CAADRIA 2021**. Hong Kong: CAADRIA, 2021. p. 171-180. Disponível em: https://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2021_118.pdf. Acesso em: 15 jan. 2026.

JONES, Lewis; GUTIERREZ, Rosa Urbano. Circular ceramics: Mapping UK mineral waste. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 190, p. 106830, 2023.

KANTERS, J. Circular building design: an analysis of barriers and drivers. **Buildings**, v. 10, n. 4, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS10040077>.

KEMPTON, L. et al. A material stock and flow analysis for Australian detached residential houses. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 200, 107289, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107289>.

KORHONEN, J.; HONKASALO, A.; SEPPÄLÄ, J. Circular economy: the concept and its limitations. **Ecological Economics**, v. 143, p. 37–46, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>.

KYRÖ, R.; JYLHÄ, T.; PELTOKORPI, A. Embodying circularity through relocatable modular buildings. **Facilities**, v. 37, p. 75–90, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1108/F-12-2017-0129>.

LANAU, M.; LIU, G. Developing an urban resource cadaster for circular economy. **Environmental Science & Technology**, v. 54, n. 7, p. 4675–4685, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b07749>.

LOTZ, M. T. et al. A material flow model of steel and concrete in EU buildings. **Cleaner Waste Systems**, v. 8, 100153, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2024.100153>.

MATTARAIA, Letícia França. **Arquitetura e sustentabilidade: considerações sobre o desmonte das edificações**. 2013. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MATTARAIA, Letícia; MARTINS, Andreia; FABRICIO, Márcio Minto. Critérios para avaliação do potencial de desmonte e reciclagem de materiais de sistemas construtivos inovadores. In: KAZMIERCZAK, Claudio de Souza; FABRICIO, Márcio Minto. **Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: materiais e sustentabilidade**. São Carlos: Scienza, 2016. cap. 11, p. 315-338.

MORGANTI, L. et al. Integrated platform-based tool to improve life cycle management. **Buildings**, v. 13, n. 10, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings13102630>.

NIAN, S.; PHAM, T.; HAAS, C. et al. A functional demonstration of adaptive reuse of waste into modular assemblies for structural applications: the case of bicycle frames. **Journal of Cleaner Production**, v. 348, p. 131162, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131162>.



NORDBY, A. S. Barriers and opportunities to reuse of building materials in the Norwegian construction sector. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. Bristol: Institute of Physics Publishing, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012061>. Acesso em: 2 nov. 2025.

OYEDELE, Lukumon O.; AJAYI, Saheed O.; KADIRI, Kabir O. Use of recycled products in UK construction industry: An empirical investigation into critical impediments and strategies for improvement. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 93, p. 23-31, 2014.

PETROVIĆ, Jana; PAVLOVIĆ, Jelena; RADIVOJEVIĆ, Ana. Possibilities for implementing principles of a circular economy in the reconstruction and adaptation of buildings in Serbia. **Spatium**, p. 40-48, 2022.

PINDER, J.; SCHMIDT, R.; SAKER, J. Stakeholder perspectives on adaptable buildings. **Construction Management and Economics**, v. 31, n. 5, p. 440–459, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.798007>.

POMPONI, F.; MONCASTER, A. Circular economy for the built environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 710–718, 2017.

POTTING, J. et al. **Circular economy: measuring innovation in the product chain**. Netherlands: PBL, 2017.

RAKHSHAN, Kambiz et al. Components reuse in the building sector—A systematic review. **Waste Management & Research**, v. 38, n. 4, p. 347-370, 2020.

RANASINGHE, Navoda; DOMINGO, Niluka; KAHANDAWA, Ravindu. Enhancing building material circularity: a systematic review on prerequisites, obstacles and the critical role of data traceability. **Journal of Building Engineering**, v. 98, p. 111136, 2024.

ROSE, C. M.; STEGEMANN, J. A. Characterising buildings as material banks. **Engineering Sustainability**, v. 172, n. 3, p. 129–140, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1680/jensu.17.00074>.

SCHANDL, H. et al. **Global material flows and resource productivity**. Nairobi: UNEP, 2016.

SHOJAEI, A. et al. Enabling a circular economy in the built environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 294, p. 126352, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126352>.

SINGH, A. K.; KUMAR, V. R. P. Integrating blockchain technology in circular economy construction. **Journal of Cleaner Production**, v. 460, p. 142577, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142577>.

TALLA, A.; MCILWAINE, S. Industry 4.0 and the circular economy. **Smart and Sustainable Built Environment**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2022-0050>.

THORMARK, C. The effect of material choice on energy need and recycling potential in single family houses. **Building and Environment**, v. 41, n. 8, p. 1019–1026, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.026>.

TINGLEY, D. D. **Design for deconstruction: an appraisal**. 2012. Tese (Doutorado) – University of Sheffield, Sheffield, 2012.



TINGLEY, Danielle Densley; DAVISON, Buick. Design for deconstruction and material reuse. **Proceedings of the institution of civil engineers-energy**, v. 164, n. 4, p. 195-204, 2011.

TORGAUTOV, B. et al. Circular economy in Kazakhstan construction sector. **Buildings**, v. 11, n. 11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings11110501>.

UNITED NATIONS. *World population prospects 2019*. New York: United Nations, 2019.

WALSH, Ben. **WR1403: Business Waste Prevention Evidence Review: L2m5-1 – Construction Sector**. Aylesbury, Reino Unido: Oakdene Hollins, 2011. (Relatório preparado para o Defra).

WEBSTER, M. D.; COSTELLO, D. Designing structural systems for deconstruction: how to extend a new building's useful life and prevent it from going to waste when the end finally comes. In: **GREENBUILD CONFERENCE**, 2005, Atlanta. Anais [...]. Atlanta, 2005.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Shaping the future of construction: a breakthrough in mindset and technology**. Geneva: World Economic Forum, 2016. p. 11-16.

XING, K.; KIM, K. P.; NESS, D. Cloud-BIM enabled platforms for reuse. **Sustainability**, v. 12, n. 24, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su122410329>.

YANG, Y.; ZHENG, B.; LUK, C. et al. Towards a sustainable circular economy: understanding the environmental credits and loads of reusing modular building components from a multi-use cycle perspective. **Sustainable Production and Consumption**, v. 46, p. 543–558, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.02.027>.

ZHUANG, G. L. et al. Circular economy and sustainable development goals. **Journal of Cleaner Production**, v. 414, p. 137503, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137503>.