



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ENGENHARIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Maria Adalberto Narciso

Análise da possibilidade de desmonte de sistemas construtivos inovadores

PAU DOS FERROS

2024

Maria Adalberta Narciso

Análise da possibilidade de desmonte de sistemas construtivos inovadores

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Orientadora: Adla Kellen Dionísio Sousa,
Prof. Dra.

Co-orientadora: Kaelly de Freitas Silva, Bel.

PAU DOS FERROS

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

N222a Narciso, Maria Adalberto.
Análise da possibilidade de desmonte de
sistemas construtivos inovadores / Maria
Adalberto Narciso. - 2024.
43 f. : il.

Orientadora: Adla Kellen Dionísio Sousa.
Coorientadora: Kaelly de Freitas Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2024.

1. Sistemas construtivos inovadores. 2.
Desmontagem. 3. Sustentabilidade. 4. Reutilização
de materiais. I. Sousa, Adla Kellen Dionísio,
orient. II. Silva, Kaelly de Freitas, co-orient.
III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Maria Adalberto Narciso

Possibilidade de desmonte de sistemas construtivos inovadores

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Defendida em: 14 / 03 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



ADLA KELLEN DIONISIO SOUSA

Data: 18/03/2025 09:59:49-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Adla Kellen Dionísio Sousa, Prof. Dra. (UFERSA)

Documento assinado digitalmente



KAELLY DE FREITAS SILVA

Data: 18/03/2025 17:20:10-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Kaelly de Freitas Silva, Bel.

Documento assinado digitalmente



KARINA ESTRELA EGÍDIO

Data: 18/03/2025 18:31:37-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Karina Estrela Egídio, Bel.
Membro Examinador

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, que me guiou e me sustentou nos momentos de desafios e aprendizados. Aos meus pais, Ubaldina e Deca, pelo amor e apoio incondicional. Aos meus irmãos, Roberta e José Roberto, pela companhia e incentivo em cada passo dessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sua infinita bondade, força e sabedoria, que me sustentaram ao longo desta jornada. Sem Sua presença e orientação, os desafios seriam muito maiores e as conquistas não teriam o mesmo significado. Agradeço também a Nossa Senhora, por sua intercessão e proteção em todos os momentos, guiando meus passos com amor e fé.

Aos meus pais, Ubaldina e Deca, minha eterna gratidão por todo amor, apoio e ensinamentos. Vocês foram minha base, meu alicerce e minha maior inspiração para seguir em frente, mesmo nos momentos mais difíceis. Aos meus irmãos, Roberta e Roberto, obrigado por estarem sempre ao meu lado, me incentivando e compartilhando comigo essa caminhada.

Aos meus amigos Mércia, Adriana, Maycon, Gabriel, Tainar, Natalia e Nivia, minha sincera gratidão por toda a amizade, pelo companheirismo e pelas palavras de encorajamento ao longo dessa jornada. Cada um de vocês, de forma especial, contribuiu para que esse momento se tornasse possível.

À minha orientadora, Adla Kellen, e à minha co-orientadora, Kaelly de Freitas, expresse minha profunda gratidão pela dedicação, paciência e valiosas contribuições durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço à banca examinadora, pelo tempo dedicado à avaliação deste trabalho e pelas considerações e sugestões que, sem dúvida, agregam valor ao meu aprendizado e crescimento acadêmico.

RESUMO

A construção civil é um setor essencial para atender às demandas habitacionais e de infraestrutura, mas também é uma das indústrias que mais consomem recursos naturais e geram impactos ambientais. Representando cerca de 40% do consumo global de energia e materiais, esse setor é um dos principais responsáveis pela geração de resíduos sólidos e emissões de gases de efeito estufa. Diante desse cenário, a adoção de práticas sustentáveis na construção é fundamental para reduzir desperdícios e promover o reaproveitamento de materiais. No entanto, os sistemas construtivos atuais não são projetados considerando a desmontagem, o que dificulta a reutilização e reciclagem dos componentes ao final da vida útil das edificações. Este estudo tem como objetivo avaliar quais técnicas e materiais favorecem a desmontagem, analisando sistemas construtivos inovadores regulamentados pelo PBQP-H, com foco em ligações e conexões entre componentes, materiais e componentes e informação e identificação dos materiais. A pesquisa foi conduzida por meio da análise dos Documentos de Avaliação Técnica (DATec's), utilizando critérios técnicos para determinar a viabilidade desse processo. Os resultados indicam que nenhum dos sistemas avaliados possui diretrizes específicas para desmontagem e que a ausência de conectores reutilizáveis e a falta de identificação dos pontos de desmontagem dificultam a desconstrução eficiente. Entretanto, a utilização de materiais pré-fabricados e modulares demonstrou facilitar esse processo, destacando-se a madeira e o aço pela flexibilidade para reaproveitamento e reciclagem, enquanto o concreto apresentou desafios devido ao peso e à rigidez estrutural. Esses achados reforçam a necessidade de planejamento para desmontagem na concepção de sistemas construtivos inovadores, garantindo maior eficiência na reutilização de materiais e contribuindo para práticas mais sustentáveis no setor da construção civil.

Palavras-chave: sistemas construtivos inovadores; desmontagem; sustentabilidade; reutilização de materiais.

ABSTRACT

The construction industry is essential for meeting housing and infrastructure demands but is also one of the sectors with the highest consumption of natural resources and environmental impact. Representing about 40% of global energy and material consumption, this sector is a major contributor to solid waste generation and greenhouse gas emissions. Given this scenario, adopting sustainable practices in construction is crucial to reducing waste and promoting material reuse. However, current construction systems are not designed for dismantling, which hinders the reuse and recycling of components at the end of a building's lifecycle. This study aims to evaluate which techniques and materials favor dismantling by analyzing innovative construction systems regulated by PBQP-H, focusing on connections between components, materials, and material identification. The research was conducted through the analysis of Technical Evaluation Documents (DATEc's), using technical criteria to determine the feasibility of this process. The results indicate that none of the evaluated systems include specific guidelines for dismantling and that the absence of reusable connectors and the lack of dismantling point identification hinder efficient deconstruction. However, the use of prefabricated and modular materials was found to facilitate this process, with wood and steel standing out for their flexibility in reuse and recycling, while concrete presents challenges due to its weight and structural rigidity. These findings highlight the need to incorporate dismantling planning into the design of innovative construction systems, ensuring greater efficiency in material reuse and contributing to more sustainable practices in the construction sector.

Keywords: innovative construction systems; dismantling; sustainability; material reuse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Fluxograma da pesquisa.....	20
Figura 4.1 – Resultados da análise dos DATec's quanto aos critérios dos sistemas construtivos.....	26
Figura 4.2 – Resultados da análise dos DATec's quanto aos critérios das ligações e conexões entre componentes.....	30
Figura 4.3 – Resultados da análise dos DATec's quanto aos critérios dos materiais e componentes.....	33
Figura 4.4 – Resultados da análise dos DATec's quanto aos critérios de informação e identificação dos materiais.....	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.2 – Checklist para avaliação dos DATEc's.....	21
Quadro 4.1 – Identificação dos Datec's seleccionados.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela A.1 – Sistemas Construtivos.....	41
Tabela A.2 – Ligações e conexões entre componentes.....	42
Tabela A.3 – Materiais e componentes.....	42
Tabela A.4 – Informação e identificação dos materiais.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DATEc's	Documentos de Avaliação Técnica
DfD	Design for Disassembly
LSF	Light Steel Frame
LWF	Light Wood Frame
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadoras
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat
SiNAT	Sistema Nacional de Avaliações Técnicas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Objetivos.....	13
1.1.1 Geral.....	13
1.1.2 Específicos.....	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 O PBQP-H e a inovação na construção civil.....	15
2.2 Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat.....	16
2.2.1 Documento de Avaliação Técnica.....	17
2.3 Desmonte de sistemas construtivos.....	17
3. METODOLOGIA.....	20
3.1 Seleção dos documentos.....	20
3.2 Aspectos de análise.....	20
3.3 Processo de avaliação.....	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	24
4.1 Sistemas construtivos.....	25
4.2 Ligações e conexões entre componentes.....	29
4.3 Materiais e componentes.....	33
4.4 Informação e identificação dos materiais.....	35
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
REFERÊNCIAS.....	39
APÊNDICE A - TABELAS DE ATENDIMENTO AOS CRITÉRIOS DA	
CHECKLIST.....	41

1. INTRODUÇÃO

A urbanização e a industrialização, impulsionadoras do crescimento econômico global, geram desafios significativos para o meio ambiente e a qualidade de vida nas cidades. A construção civil, setor fundamental para suprir as demandas habitacionais e de infraestrutura, representa cerca de 40% do consumo global de energia e recursos naturais, além de ser uma das principais responsáveis pela geração de resíduos sólidos e emissões de gases de efeito estufa. Segundo Harrabin (2021), a indústria da construção tem sido pressionada a adotar práticas mais sustentáveis para reduzir impactos ambientais. Além disso, conforme Hendriks, Nijkerk e Van Koppen (2007), a adoção de estratégias que promovam a eficiência no uso de materiais e a gestão adequada de resíduos é essencial para mitigar os efeitos negativos desse setor. Diante desse cenário, torna-se urgente a implementação de práticas construtivas sustentáveis que minimizem os impactos ambientais e incentivem um uso mais racional dos recursos naturais.

No cenário internacional, a Declaração de Vancouver (1976) e a Declaração de Istambul (1996) estabeleceram o direito universal à habitação digna e reforçaram a necessidade de políticas públicas voltadas à sustentabilidade urbana. Essas declarações estimularam o desenvolvimento de iniciativas como o design para desmonte (Design for Disassembly – DfD), que propõe a concepção de edifícios planejados para facilitar a desmontagem e o reaproveitamento de materiais ao fim de sua vida útil. Segundo Crowther (2005), essa abordagem, além de reduzir a geração de resíduos, contribui para a economia circular, prolongando o ciclo de vida dos materiais empregados.

No Brasil, o setor da construção civil enfrenta desafios significativos, como um déficit habitacional estimado em 5,8 milhões de moradias, conforme dados da Fundação João Pinheiro (2019). Além disso, há uma baixa eficiência nos métodos tradicionais de construção, que frequentemente resultam em desperdício de materiais e aumento dos custos. Esses fatores ressaltam a necessidade de adotar práticas construtivas mais eficientes e sustentáveis para atender às demandas habitacionais do país. Para responder a esses problemas, o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) surgiu como uma estratégia para incentivar a inovação tecnológica e a sustentabilidade. Uma das ferramentas fundamentais do PBQP-H é o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SiNAT), que estabelece critérios para a avaliação de sistemas construtivos inovadores por meio dos Documentos de Avaliação Técnica (DATec's). Esses documentos são essenciais para assegurar que os sistemas inovadores atendam a padrões de segurança, habitabilidade e sustentabilidade

(Mattaraia; Martins; Fabricio, 2016).

Entre os sistemas construtivos inovadores avaliados, destacam-se os que utilizam madeira, aço e concreto pré-fabricado, cada um com suas vantagens e desafios em termos de desmontagem e reaproveitamento. A madeira, por exemplo, é valorizada por ser leve, renovável e de fácil manuseio, enquanto o aço se destaca pela durabilidade e alta taxa de reciclagem. Já o concreto, apesar de ser um material essencial na construção civil, apresenta limitações significativas quanto ao desmonte devido à sua rigidez e dificuldade de separação dos componentes (Mattaraia, 2013; Molina; Calil Jr, 2010).

A análise do potencial de desmontagem dos sistemas construtivos não apenas destaca soluções práticas para a gestão de resíduos na construção civil, mas também fomenta o debate sobre o papel da inovação tecnológica na sustentabilidade. Estudos mostram que sistemas modulares e elementos pré-fabricados, quando projetados com conectores removíveis e materiais duráveis, podem reduzir significativamente os impactos ambientais de edificações (Guy; Rocha, 2005). Além disso, práticas como o uso de materiais leves e padronizados favorecem a eficiência logística e a redução de custos no transporte e manuseio das estruturas (Webster; Costello, 2005).

Diante desse contexto, este estudo buscou avaliar o potencial de desmontagem de sistemas construtivos inovadores registrados no PBQP-H. A análise se baseou nos critérios de desmontagem descritos nos DATec's, considerando aspectos como modularidade, resistência e impacto ambiental. Por meio desse trabalho, espera-se contribuir para a disseminação de práticas construtivas mais sustentáveis e alinhadas aos objetivos globais de redução de resíduos e emissões.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

O objetivo geral consiste em analisar o potencial de desmontagem de sistemas construtivos inovadores avaliados pelo Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), destacando sua contribuição para práticas sustentáveis na construção civil brasileira.

1.1.2 Específicos

- Avaliar os critérios de desmontagem presentes nos Documentos de Avaliação Técnica (DATec's) dos sistemas construtivos inovadores;
- Identificar os principais materiais e componentes utilizados nos sistemas construtivos e sua viabilidade para desmontagem, reutilização e reciclagem;
- Avaliar as ligações entre os componentes dos sistemas construtivos, considerando aspectos como resistência, padronização, reutilização e independência das conexões;
- Analisar as informações e identificações dos materiais utilizados nos DATec's, com foco na clareza das composições, numeração dos conectores e identificação dos pontos de desmontagem.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O PBQP-H e a inovação na construção civil

A necessidade de inovação na construção civil brasileira tornou-se uma questão incontornável a partir da década de 1980, conforme destacado por Castro (1999). Esse período evidenciou uma defasagem significativa nos sistemas construtivos do país, marcada pela falta de inovação tecnológica, baixa qualidade das edificações e ineficiência nos processos produtivos. Segundo Farah (1996), esse atraso organizacional foi amplamente atribuído à predominância de um modelo manufatureiro de produção, caracterizado por métodos tradicionais de construção que dependem excessivamente de mão de obra pouco qualificada e processos pouco mecanizados.

Outro desafio enfrentado pela construção civil brasileira nesse período foi a recorrência de problemas estruturais e manifestações patológicas em edificações recém-construídas. Esses problemas estavam frequentemente associados a falhas no processo executivo, uso inadequado de materiais e ausência de normas técnicas mais rigorosas para controle de qualidade (Farah, 1996). A falta de padronização e de inspeção eficiente durante as etapas construtivas levava à degradação precoce das estruturas, comprometendo a durabilidade das edificações e aumentando os custos com manutenção e reparos.

Diante desse cenário, a necessidade de modernização tornou-se cada vez mais evidente, impulsionando a busca por soluções que aumentassem a eficiência dos processos construtivos, reduzissem desperdícios e garantissem maior qualidade e durabilidade às edificações. Esse movimento incentivou a adoção de novas tecnologias e métodos construtivos inovadores, resultando na criação de programas e regulamentações voltadas à melhoria da produtividade e sustentabilidade no setor.

Segundo Autodoc (2019), a necessidade de modernização e aprimoramento da construção civil brasileira levou à criação do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), uma iniciativa fundamental para a avaliação e aprovação de sistemas e produtos inovadores no país. O programa foi concebido para enfrentar desafios relacionados à baixa qualidade, ao desperdício de materiais e à ausência de processos eficientes no setor. Entretanto, a implementação do PBQP-H revelou uma lacuna importante: a inexistência de normas técnicas nacionais específicas para regulamentar e orientar a adoção dessas inovações tecnológicas. Sem diretrizes claras de qualidade e segurança, a validação de novos sistemas construtivos tornou-se um desafio, dificultando sua aceitação e disseminação

no mercado.

Segundo Brasil (2022), para suprir essa lacuna, foi desenvolvido o Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SiNAT), voltado para a certificação de tecnologias inovadoras em contextos onde não havia normatização técnica pré-estabelecida. O SiNAT surgiu como um marco na regulamentação da construção civil brasileira, estabelecendo critérios objetivos para a avaliação de novos produtos e garantindo sua conformidade com padrões de desempenho técnico. Sua criação não apenas preencheu uma lacuna regulatória, mas também proporcionou um ambiente mais seguro e confiável para a introdução de soluções inovadoras no setor.

O PBQP-H, destaca que o SiNAT tornou-se indispensável ao estabelecer um processo de avaliação detalhado baseado em três pilares essenciais (Brasil, 2022):

- a) segurança: foi priorizada para assegurar que as novas tecnologias apresentassem desempenho adequado em termos de resistência, estabilidade e durabilidade;
- b) habitabilidade: garantiu que os sistemas construtivos inovadores proporcionassem conforto térmico, acústico e condições adequadas de ventilação e iluminação para os ocupantes das edificações;
- c) sustentabilidade: foi integrada ao processo de avaliação com o objetivo de reduzir o impacto ambiental das construções, incentivando o uso racional dos recursos naturais e a adoção de materiais recicláveis e reutilizáveis.

A implementação do SiNAT contribuiu significativamente para elevar os padrões da construção civil no Brasil, promovendo um setor mais eficiente, seguro e sustentável. Ao estabelecer parâmetros técnicos para inovações construtivas, o sistema não apenas viabilizou a adoção de novas tecnologias, mas também incentivou a melhoria contínua da qualidade e da produtividade no setor, alinhando a construção civil brasileira às melhores práticas internacionais.

2.2 Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat

O Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H) é uma iniciativa essencial para a modernização da construção civil no Brasil. Criado para elevar a qualidade das edificações e a eficiência dos processos construtivos, o programa estabelece diretrizes, normas técnicas e sistemas de avaliação rigorosos. Seu impacto abrange desde a certificação de materiais até a execução de obras, promovendo construções mais seguras, duráveis e sustentáveis. Além de reduzir desperdícios e incentivar a inovação, o PBQP-H fortalece a competitividade do setor, impulsionando a adoção de práticas alinhadas às

demandas ambientais e de mercado.

2.2.1 Documento de Avaliação Técnica

O Documento de Avaliação Técnica (DATec) é um instrumento essencial para a qualificação e certificação de sistemas construtivos, materiais e componentes utilizados na construção civil. Emitido por entidades técnicas reconhecidas, esse documento tem a finalidade de avaliar a conformidade e o desempenho técnico dos elementos analisados, garantindo que atendam a critérios rigorosos de segurança, eficiência e sustentabilidade (Brasil, 2022) .

O DATec fornece informações detalhadas sobre as características dos produtos e sistemas avaliados, incluindo especificações técnicas, resultados de ensaios laboratoriais, normas de referência, recomendações de uso e limitações. Essas informações são fundamentais para orientar engenheiros, arquitetos e demais profissionais do setor na escolha de soluções adequadas para seus projetos, possibilitando a adoção de tecnologias inovadoras com maior confiança e respaldo técnico (Brasil, 2022).

Além de promover a qualidade e a segurança nas construções, o DATec desempenha um papel estratégico na modernização do setor, incentivando a introdução de novos materiais e técnicas construtivas. Ao garantir que os produtos atendam a requisitos normativos e de desempenho, o documento fortalece a confiabilidade do mercado e contribui para a disseminação de soluções alinhadas às demandas contemporâneas por edificações mais eficientes e sustentáveis (Brasil, 2022).

2.3 Desmonte de sistemas construtivos

Os impactos ambientais decorrentes dos resíduos gerados na construção civil devem ser considerados desde as etapas iniciais do projeto, conforme apontam Hendriks, Nijkerk e Van Koppen (2007). A escolha dos materiais desempenha um papel fundamental nesse processo, e a preferência deve ser dada a materiais de alta qualidade, que garantam maior durabilidade à estrutura e permitam sua desmontagem futura. Essa abordagem possibilita a reutilização e reciclagem dos materiais, evitando a necessidade de demolição e reduzindo significativamente a geração de resíduos. A demolição convencional, além de desperdiçar recursos já empregados na construção inicial, intensifica a poluição e o consumo de novos materiais, agravando os impactos ambientais (Harrabin, 2022). A fabricação de materiais de

construção também contribui para as emissões globais de dióxido de carbono (CO₂), sendo o cimento responsável por aproximadamente 8% dessas emissões (Harrabin, 2021).

Nesse contexto, o conceito de "Projetar para Desmonte" (Design for Disassembly – DfD) se torna uma abordagem fundamental para a sustentabilidade na construção civil. Esse modelo propõe a concepção de edificações que utilizem técnicas e materiais que facilitem a desmontagem ao fim da vida útil da estrutura, permitindo a recuperação de componentes e evitando a demolição destrutiva. Com isso, reduz-se a poluição e minimiza-se o desperdício de materiais, promovendo uma economia circular eficiente (Crowther, 2001).

Ao final do ciclo de vida de uma edificação, diferentes estratégias podem ser adotadas para evitar o descarte e possibilitar a reutilização dos materiais. Segundo Crowther (2001), essas estratégias incluem a realocação completa da estrutura, a reutilização de componentes, a transformação dos materiais ou sua reciclagem. Para que essas práticas sejam viáveis, é essencial que os projetistas considerem, desde a concepção do edifício, o uso de materiais e sistemas que facilitem a desmontagem e reaproveitamento. Hendriks, Nijkerk e Van Koppen (2007) destacam que a escolha por materiais pré-fabricados e normalizados é um fator determinante nesse processo, pois possibilita a desmontagem sem danos e viabiliza sua reutilização em projetos futuros.

O desenvolvimento de sistemas construtivos desmontáveis deve considerar tanto aspectos ambientais quanto econômicos. De acordo com Guy e Rocha (2005), o objetivo central é maximizar a recuperação de componentes e materiais, reduzindo a necessidade de reparos, substituições e descartes prematuros. Crowther (2005) ressalta que três princípios fundamentais devem ser seguidos para incorporar o conceito de projetar para desmonte: adotar uma abordagem sustentável no desenvolvimento do projeto, considerar as variações nos sistemas construtivos e respeitar a hierarquia dos materiais e componentes.

No entanto, projetar para desmonte ainda representa um desafio na construção civil devido à complexidade dos sistemas e à falta de padronização nos processos. Brewer e Mooney (2008) apontam diversos obstáculos nesse sentido, como a dificuldade de identificar corretamente os materiais e componentes, a ausência de informações padronizadas sobre reciclagem, a variação entre os materiais especificados no projeto e aqueles efetivamente utilizados na obra, além da necessidade de gerenciar produtos que, inicialmente considerados seguros, podem se tornar prejudiciais ao meio ambiente ou à saúde humana ao longo do tempo.

Apesar dessas dificuldades, algumas tecnologias já são concebidas com foco na desmontagem, e a análise da interação entre materiais, componentes e subsistemas torna-se

essencial nesse contexto. Essa avaliação facilita a desmontagem e reutilização dos elementos construtivos, reduzindo danos aos materiais e promovendo sua manutenção contínua ao longo da vida útil do edifício. Além disso, permite futuras modificações e adaptações da estrutura, tornando os projetos mais flexíveis e sustentáveis (Crowther, 2005; Heriqson; Rocha; Sattler, 2008).

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo caracteriza-se como pesquisa documental, pois se baseia na análise de documentos técnicos preexistentes. Segundo Gil (2018), a pesquisa documental se vale de toda sorte de documentos, elaborados com finalidades diversas, tais como assentamento, autorização e comunicação. Dessa forma, este trabalho utiliza os Documentos de Avaliação Técnica (DATEc's), disponíveis no Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SiNAT), como fonte primária para investigar o potencial de desmontagem dos sistemas construtivos inovadores. Além disso, é realizada uma análise qualitativa e técnica desses documentos, avaliando critérios específicos relacionados a sistemas construtivos, conexões e ligações entre componentes, materiais e identificação de materiais.

A Figura 3.1, apresenta um fluxograma que ilustra o caminho metodológico da pesquisa, detalhando as etapas desde a seleção dos documentos até a análise dos critérios de desmontagem dos sistemas construtivos inovadores. Essa representação facilita a compreensão do processo adotado no estudo.

Figura 3.1 – Fluxograma da pesquisa.



Fonte: Autoria própria (2024).

3.1 Seleção dos documentos

A coleta de dados foi realizada a partir dos DATEc's válidos, disponíveis no portal eletrônico do PBQP-H em dezembro de 2022. Esses documentos são emitidos pelo Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SiNAT) e contêm informações detalhadas sobre sistemas construtivos inovadores, incluindo especificações de materiais, métodos de construção e desempenho técnico.

3.2 Aspectos de análise

A avaliação foi conduzida utilizando uma checklist de verificação adaptada de Mattaraia, Martins e Fabricio (2016), que define critérios específicos para a análise de

desmontagem e sustentabilidade. Essa lista foi aplicada para verificar a conformidade dos sistemas em relação a aspectos como:

- a) Modularidade: Uso de sistemas modulares e elementos pré-fabricados.
- b) Desmontagem: Planejamento para facilitar a desmontagem, utilização de conectores apropriados e ausência de fixações permanentes.
- c) Materiais: Padronização, durabilidade, ausência de materiais tóxicos e facilidade de reutilização ou reciclagem.

Assim, com base em Mattaraia, Martins e Fabricio (2016), quatro itens foram avaliados: Sistemas construtivos, Ligações entre componentes, Materiais e componentes e, Informação e identificação dos materiais (Quadro 3.2). Para cada item foram analisados vários critérios, que foram avaliados com base em quatro categorias:

- I. Atende: Quando o sistema cumpre o critério avaliado.
- II. Não atende: Quando o sistema não cumpre o critério.
- III. Não se aplica: Quando o critério não é relevante para o sistema analisado.
- IV. Não verificado: Quando não havia informações suficientes no DATec para análise

Após a classificação de cada sistema com base nos critérios avaliados, foi realizada uma análise separada para avaliar o potencial de desmontagem de cada sistema construtivo.

Quadro 3.2 – Checklist para avaliação dos DATec's.

Item	Critério
Sistemas construtivos	Critérios 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 C31 - Utilizar materiais duráveis e resistentes
Adoção de sistemas construtivos abertos	C7 - Adotar sistemas construtivos abertos
Evita junção de vários sistemas construtivos	C8 - Evitar misturar diferentes sistemas construtivos
Evita sistemas embutidos	C15 - Evitar que sistemas elétricos e hidráulicos fiquem embutidos
É possível acessar todas as partes da edificação	C7 - Adotar sistemas construtivos abertos

Item	Critério
É possível desmontar com ferramentas manuais	C4 - Evitar o excesso de ferramentas C19 - Facilitar a ligação dos elementos e montagens dos componentes
Foi considerado o transporte dos elementos e materiais desmontados	C11 - Evitar elementos de grandes dimensões, considerando a escala humana
É possível desmontar partes separadas dos sistemas construtivos sem danificar outras	C6 - Utilizar estruturas simples C13 - Prever a sequência do desmonte
A desmontagem dos subsistemas é independente	C14 - Considerar os diferentes subsistemas do edifício C20 - Propor ligações independentes
Foi considerado o tempo ideal de desmonte	C5 - Considerar a relação entre custo e tempo
Foi prevista a sequência do desmonte no documento do sistema construtivo	C1 - Projetar de maneira que facilite o desmonte C13 - Prever a sequência do desmonte
Foi considerado o custo da desmontagem	C5 - Considerar a relação entre custo e tempo
Elementos a serem desmontados são compatíveis com a escala humana	C11 - Evitar elementos de grandes dimensões, considerando a escala humana
Todos os elementos do sistema construtivo apresentam baixa toxicidade	C28 - Evitar materiais tóxicos e danosos
Ligações entre componentes	Critérios referidos
Ausência de ligações químicas	C18 - Evitar ligações químicas, utilizando pregos, parafusos e conectores
Conectores resistentes	C21 - Utilizar conectores que resistam à montagem e desmontagem
Conectores padronizados	C22 - Padronizar os conectores
Ligações independentes	C20 - Propor ligações independentes
Reuso dos conectores	C24 - Prever possibilidades de reuso dos conectores
Número reduzido de diferentes tipos de conectores	C23 - Reduzir o número de conectores
Conectores numerados segundo a ordem de montagem	C17 - Unir os materiais e elementos de maneira que facilite o processo de desmontagem
	C34 - Numerar e identificar os conectores para facilitar a montagem e evitar perdas
Materiais e componentes	Critérios 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

Item	Critério
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
Informação e identificação dos materiais	Crítérios referidos
Indicação de composição dos conectores	C33 - Especificar os materiais que possam ser identificados
	C34 - Numerar e identificar os conectores para facilitar a montagem e evitar perdas
Identificação da composição de materiais e componentes	C33 - Especificar os materiais que possam ser identificados
	C34 - Numerar e identificar os conectores para facilitar a montagem e evitar perdas
Projeto e documentos com dados atualizados	C35 - Atualizar as informações de projeto
Os pontos de desmonte estão identificados	C34 - Numerar e identificar os conectores para facilitar a montagem e evitar perdas

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

3.3 Processo de avaliação

Cada sistema construtivo foi analisado individualmente em relação aos critérios da lista de verificação. Na categoria de sistemas construtivos, foram avaliados itens como modularidade, resistência dos materiais a processos de montagem e desmontagem, e o uso de elementos pré-fabricados. Já na categoria de materiais e componentes, foram examinados aspectos como leveza, durabilidade, toxicidade e viabilidade para desmontagem.

Os resultados da análise foram organizados em gráficos, permitindo a visualização das conformidades e não conformidades dos sistemas em relação aos critérios avaliados. Adicionalmente, foi realizada uma análise comparativa para identificar os sistemas com maior e menor potencial de desmontagem, considerando suas características e limitações.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do levantamento dos documentos disponíveis no sistema do Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SiNAT), verificou-se a existência de 44 Documentos de Avaliação Técnica (DATEc's) registrados. No entanto, ao analisar a validade desses documentos, constatou-se que apenas 14 estavam vigentes, sendo que os demais haviam expirado ou não possuíam certificação ativa no momento da pesquisa.

No Quadro 4.1, são apresentados os DATEc's selecionados para a análise. Estes sistemas construtivos inovadores são compostos por diferentes materiais, sendo 10 de concreto pré-moldado, pré-fabricado ou moldado in loco, 2 de wood frame, 1 de steel frame e 1 de chapas de aço.

Quadro 4.1 – Identificação dos Datec's selecionados.

Número	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
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 Fibras 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: Autoria própria (2024).

A avaliação foi realizada com base em uma checklist de critérios, apresentada no Quadro 3.2. Os resultados detalhados dessa análise estão apresentados nas Tabelas de atendimento aos critérios da checklist analisados nos DATec's, disponíveis no Apêndice A.

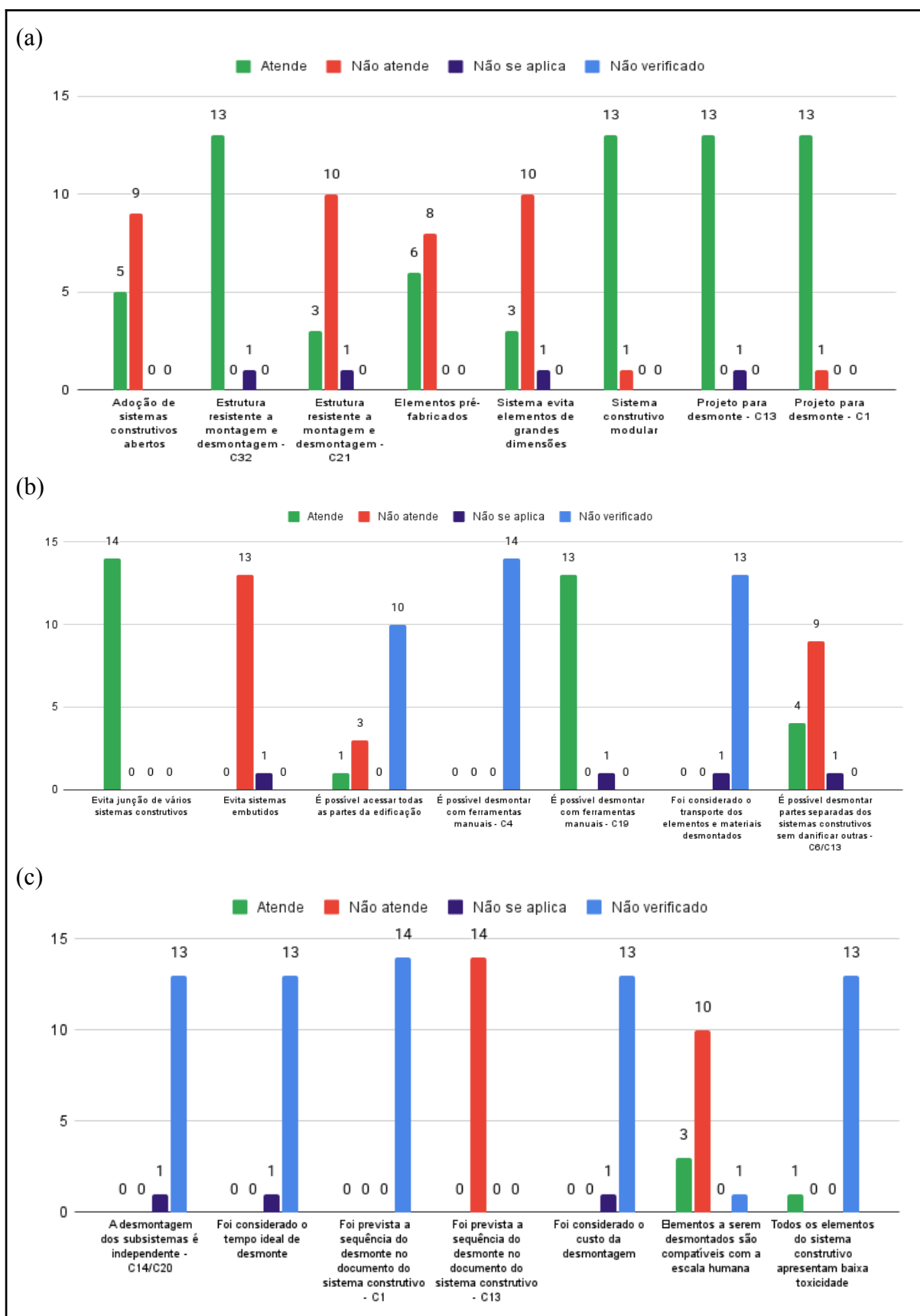
No que diz respeito aos sistemas pré-moldados e pré-fabricados de concreto, a norma ABNT NBR 9062:2017 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado (ABNT, 2017), classifica os elementos de concreto pré-moldado como “elemento moldado previamente e fora do local de utilização definitiva na estrutura”, enquanto o pré-fabricado é definido como “elemento pré-moldado executado industrialmente, em instalações permanentes de empresa destinada para este fim”. No caso dos sistemas pré-fabricado, segundo a referida norma, a mão de obra deve ser treinada e especializada. A principal diferença entre essas duas categorias reside no controle de qualidade aplicado, que inclui ensaios de resistência mecânica mínima e garantia do recobrimento da armadura (Lages; Magalhães do Vale, 2024).

Por outro lado, o sistema com steel frame, também conhecido como Light Steel Frame (LSF), é um sistema construtivo industrializado e racionalizado, composto por perfis de aço galvanizado e fechamento estrutural com placas de diferentes materiais, como cimento, madeira e drywall (Pereira, 2024). Esse método se destaca por ser uma construção seca, eliminando a necessidade de água no processo, e por permitir alto grau de precisão nos cálculos estruturais, reduzindo erros e praticamente zerando a geração de resíduos. Essa característica, aliada ao baixo desperdício de materiais e à redução no consumo de insumos, contribui para a economia do sistema, tornando-o uma alternativa financeiramente viável. Além de oferecer um processo mais rápido e econômico, o sistema steel frame também contribui para a sustentabilidade da construção civil, minimizando impactos ambientais e otimizando o uso de materiais (Pereira, 2024).

4.1 Sistemas construtivos

A Figura 4.1 apresenta os resultados da análise dos DATec's em relação aos critérios avaliados nos sistemas construtivos. Especificamente, o DATec 035 B - Paredes moldadas no local de Concreto Reforçado com Fibra de Vidro – CRFV, atendeu apenas ao item “Evita junção de vários sistemas construtivos”, enquanto a maior parte dos demais itens não se aplica ao sistema em questão.

Figura 4.1 – Resultados da análise dos DATec's quanto aos critérios dos sistemas construtivos.



Fonte: Autoria própria (2024).

A categoria de Sistemas Construtivos avalia diversos aspectos relacionados à construção, incluindo a consideração ou não do desmonte nos sistemas analisados. A partir da análise dos DATec's, constatou-se que nenhum dos sistemas construtivos avaliados foi originalmente projetado com foco na desmontagem, uma vez que não há informações explícitas sobre esse aspecto nos documentos técnicos.

Nos itens “Foi considerado o transporte dos elementos e materiais desmontados”, “Foi considerado o tempo ideal de desmonte”, “Foi prevista a sequência do desmonte na documentação do sistema construtivo” e “Foi considerado o custo da desmontagem”, observou-se que a maioria dos sistemas construtivos não foi possível ser avaliada ou não atendeu aos critérios devido à ausência de informações relevantes nos DATec's. Isso reforça o fato de que os documentos analisados não contemplam diretrizes específicas para desmontagem, limitando a viabilidade de um planejamento estruturado para esse processo.

Entretanto, ao avaliar o item “Projeto para desmonte - C1/C13”, verificou-se que 13 dos 14 sistemas analisados atenderam aos critérios. Embora os documentos técnicos não apresentem informações explícitas sobre desmontagem, a análise dos materiais utilizados e do método de montagem permitiu inferir que há potencial para desmontagem ou adaptação dos sistemas para possibilitar a desconstrução controlada. O único DATec que não atendeu a esse critério foi o DATec 035 B - Paredes moldadas no local de Concreto Reforçado com Fibras de Vidro (CRFV), devido às características específicas do sistema, que não favorecem a desmontagem ou reaproveitamento dos componentes.

Nos itens “É possível desmontar partes separadas do sistema construtivo sem danificar outras” e “A desmontagem dos subsistemas é independente”, os painéis de concreto pré-fabricado e pré-moldado demonstraram limitações significativas. Como essas estruturas geralmente possuem instalações elétricas e hidrossanitárias embutidas, o ideal seria reaproveitar as placas juntamente com essas instalações. A remoção dos componentes internos, que possuem baixo custo de reposição, exigiria a quebra dos painéis, o que poderia comprometer sua integridade estrutural e inviabilizar seu reuso.

No item “Estrutura resistente à montagem e desmontagem - C21”, apenas os sistemas Light Steel Frame (LSF) atenderam ao critério, pois utilizam conexões predominantemente parafusadas, facilitando a montagem, desmontagem e reutilização dos componentes estruturais. Em contrapartida, os sistemas de painéis de concreto apresentam conexões realizadas por meio de solda, o que exige o corte dos conectores para desmontagem, dificultando o reaproveitamento dos elementos.

A modularidade dos sistemas construtivos foi avaliada por meio de diferentes

critérios, incluindo “Sistema construtivo modular”, “Elementos pré-fabricados”, “Adoção de sistemas construtivos abertos”, “Evita junção de vários sistemas construtivos” e “Evita subsistemas embutidos”, conforme Figura 4.1. Entre os documentos analisados, apenas o DATec 035 B - Paredes moldadas no local de Concreto Reforçado com Fibra de Vidro (CRFV) não adota um sistema construtivo modular ou estruturas pré-fabricadas. Observou-se também que todos os sistemas possuem instalações elétricas e hidrossanitárias embutidas, o que pode dificultar a desmontagem e reutilização desses elementos.

Os sistemas construtivos abertos, como os de Light Steel Frame (LSF) e Light Wood Frame (LWF), são projetados de maneira a permitir acesso facilitado às estruturas internas, o que favorece a manutenção e o reaproveitamento de componentes. Essa característica contribui para a desmontagem e reutilização dos elementos construtivos, tornando-os opções mais versáteis em comparação a sistemas convencionais. No critério “Adoção de sistemas construtivos abertos”, cinco DATec’s atenderam ao requisito. Já os painéis de concreto, por serem estruturas maciças e com sistemas elétricos e hidrossanitários embutidos, dificultam o acesso para manutenção e recuperação dos materiais, limitando a flexibilidade para modificações futuras.

Outro aspecto avaliado foi a facilidade de manuseio durante a desmontagem. Os critérios analisados incluíram “O sistema evita elementos de grandes dimensões”, “É possível acessar todas as partes das edificações”, “É possível desmontar com ferramentas manuais” e “Elementos a serem desmontados são compatíveis com a escala humana”. Em 13 dos DATec’s, foi identificada a possibilidade de desmontagem com ferramentas manuais. No entanto, 11 sistemas, sendo 9 deles em concreto, possuem estruturas de grandes dimensões, exigindo o uso de máquinas para movimentação e transporte. No caso dos sistemas LWF e de um dos sistemas LSF, apesar de apresentarem componentes de fácil manuseio para os trabalhadores, os painéis pré-fabricados já chegam ao canteiro de obras com instalações elétricas e hidrossanitárias embutidas e placas de vedação montadas. Isso torna as estruturas maiores e mais pesadas, demandando equipamentos mecânicos para transporte e instalação no local definitivo.

Por fim, foi analisada a sustentabilidade ambiental e os impactos à saúde associados à composição dos materiais. No critério “Todos os elementos do sistema construtivo apresentam baixa toxicidade”, apenas um sistema construtivo atendeu ao requisito. Nos demais DATec’s analisados, não foram encontradas informações detalhadas sobre a toxicidade dos materiais utilizados, evidenciando uma lacuna nas documentações técnicas que pode dificultar a avaliação dos impactos ambientais e dos riscos à saúde dos trabalhadores e futuros

ocupantes das edificações.

Em relação aos sistemas analisados, de acordo com Sotsek e Santos (2018), o sistema light wood frame (LWF) tem se destacado como uma inovação promissora para a construção civil no Brasil, principalmente por sua eficiência no uso de materiais, rapidez na execução, custos competitivos e redução de resíduos no canteiro de obras. No entanto, sua adoção ainda enfrenta desafios significativos, como a dependência de incentivos governamentais, a necessidade de ampliar o conhecimento da população para reduzir a resistência ao uso da madeira e a carência de profissionais qualificados para atuar nesse tipo de construção (Sotsek; Santos, 2018).

Os sistemas de concreto pré-moldado e pré-fabricado oferecem diversas vantagens em relação aos métodos tradicionais, pois são produzidos em ambiente controlado, permitindo um melhor aproveitamento dos materiais, redução de desperdícios e maior controle de qualidade. Esse processo industrializado resulta em estruturas com desempenho superior, maior durabilidade e rapidez na execução da obra (Matvijenko Junior; Esteves, 2021; Acker, 2002). Além disso, o uso de equipamentos modernos na fabricação desses elementos possibilita a produção de concretos adaptados às necessidades específicas de cada componente, garantindo melhor uniformidade e eficiência da mistura em comparação ao concreto moldado no local (Acker, 2002). Entretanto, é essencial considerar desafios como a necessidade de transporte adequado e os cuidados especiais durante a montagem, que são fundamentais para garantir a integridade estrutural das peças (Zago, 2015).

De forma geral, observou-se que os sistemas construtivos analisados possuem componentes duráveis e resistentes, o que pode contribuir para a reutilização dos materiais. Com um planejamento adequado de montagem e desmontagem, aliado a uma manutenção periódica das edificações durante seu uso, é possível otimizar o aproveitamento dos componentes e reduzir a necessidade de novos recursos ao longo do ciclo de vida das construções.

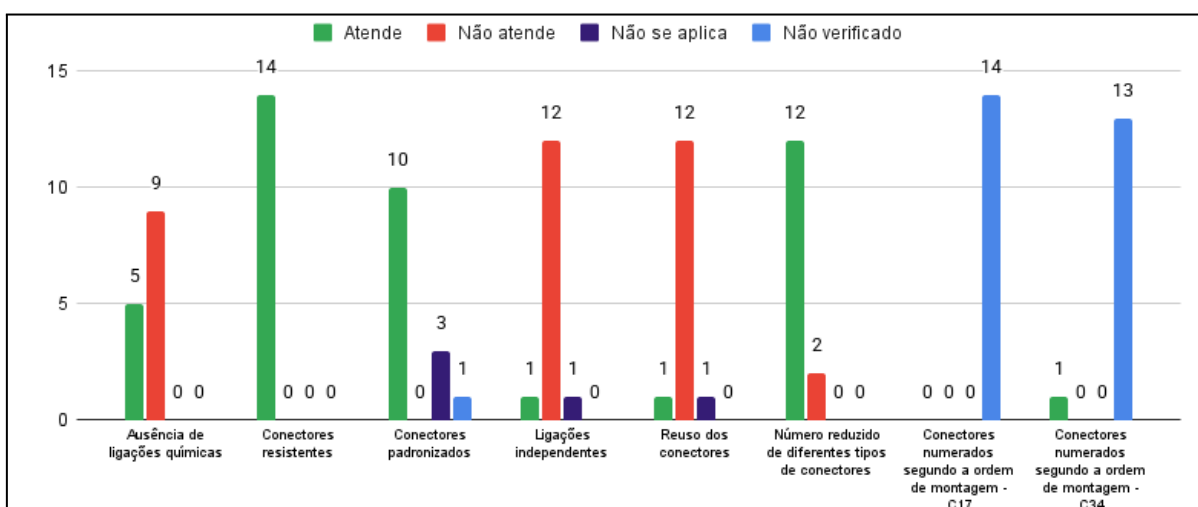
4.2 Ligações e conexões entre componentes

No que se refere à ausência de ligações e conexões entre componentes (Figura 4.2), verificou-se que 5 dos DATec's analisados atendem a esse critério, enquanto 9 não estão em conformidade. Os documentos que não satisfazem esse requisito indicam o uso de selantes e resinas, que são formas reconhecidas de ligação química.

Os selantes são aplicados para preencher lacunas ou espaços entre componentes,

criando uma barreira contínua que melhora a vedação e resistência mecânica, mas, ao mesmo tempo, estabelece ligações químicas entre os materiais. Da mesma forma, as resinas, devido às suas propriedades adesivas e capacidade de solidificação, também promovem conexões químicas entre diferentes superfícies e elementos estruturais, o que pode dificultar a desmontagem e o reaproveitamento dos componentes.

Figura 4.2 – Resultados da análise dos DATec's quanto aos critérios das ligações e conexões entre componentes.



Fonte: Autoria própria (2024).

Quanto à utilização de conectores resistentes, todos os DATec's analisados demonstraram conformidade, indicando que as avaliações técnicas realizadas consideram os conectores empregados nas estruturas como adequados aos padrões exigidos de resistência e estabilidade. Em sistemas construtivos inovadores, a escolha de conectores resistentes é essencial para garantir a integridade e a durabilidade das edificações, desempenhando um papel fundamental na absorção de esforços estruturais e na segurança das ligações. Entre os principais tipos de conectores utilizados em abordagens construtivas modernas, destacam-se os conectores de fibra de carbono, parafusos e rebites, chumbadores e ancoragens, além de juntas soldadas, cada um com aplicações específicas que garantem a eficiência e a confiabilidade das estruturas.

Em relação à padronização dos conectores, observou-se que 10 dos DATec's analisados atendem a esse critério, apresentando informações detalhadas sobre as medidas e especificações técnicas dos conectores utilizados nas estruturas. A padronização dos conectores é um fator essencial para garantir uniformidade, confiabilidade e compatibilidade entre os elementos construtivos, assegurando que as conexões atendam aos requisitos de

segurança e desempenho exigidos. No entanto, em 3 dos DATec's avaliados (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 e 042 - Sistema construtivo estruturado em peças de madeira maciça serrada com fechamentos em chapas (light wood framing) - MBTM), a padronização dos conectores não foi considerada viável, possivelmente devido às particularidades dos sistemas inovadores analisados ou à necessidade de flexibilidade na adaptação dos projetos. Nessas situações, a ausência de padronização pode representar um desafio para a desmontagem e reaproveitamento dos componentes, exigindo soluções alternativas para garantir a eficiência e a segurança das ligações estruturais.

No que se refere às ligações independentes, a análise evidencia um cenário em que a interdependência entre os elementos estruturais é predominante nos sistemas construtivos avaliados. Entre os DATec's examinados, apenas um atende a esse critério, demonstrando que suas ligações são independentes e não afetam a integridade de outros componentes durante a desmontagem.

Por outro lado, 12 dos DATec's analisados não cumprem esse requisito, uma vez que seus sistemas construtivos possuem ligações interconectadas, tornando os elementos dependentes entre si. Esse tipo de configuração pode dificultar a desmontagem parcial das estruturas, comprometendo a estabilidade do conjunto. Desses 12 sistemas, 10 são de concreto, 1 de madeira e 1 de chapas de aço, evidenciando que a rigidez e a forma de conexão desses materiais podem dificultar a desmontagem. Além disso, o DATec 035 B - Paredes moldadas no local de Concreto Reforçado com Fibra de Vidro (CRFV) não pôde ser avaliado quanto a esse critério, possivelmente devido à especificidade do sistema analisado ou à falta de informações detalhadas nos documentos técnicos.

Quanto ao reuso de conectores, a análise revela um cenário semelhante. Apenas o DATec 038 A - Sistema construtivo modular “Casas Fischer” - painéis pré-fabricados de chapas delgadas vinculadas por núcleo de isolante térmico rígido dos DATec's examinados atendeu a esse critério, pois suas ligações foram projetadas para permitir a remoção dos conectores sem comprometer a integridade estrutural da edificação. Esse fator é fundamental para facilitar o reaproveitamento dos materiais e reduzir o desperdício no processo de desmontagem.

Entretanto, 12 dos DATec's analisados não possibilitam o reuso de conectores, uma vez que suas ligações estruturais não permitem a retirada dos elementos sem causar danos à estrutura. Esse problema pode estar relacionado à natureza das conexões, ao método de fixação dos materiais ou a limitações técnicas que inviabilizam a desmontagem eficiente.

Desses 12 sistemas, 10 são de concreto e 2 de madeira, o que indica que a rigidez do concreto e a forma de conexão desses materiais dificultam o reaproveitamento dos componentes. Assim como na análise das ligações independentes, um dos DATec's não pôde ser avaliado, sendo o DATec 035 B - Paredes moldadas no local de Concreto Reforçado com Fibra de Vidro (CRFV), em relação ao reuso de conectores, devido à ausência de informações suficientes ou à particularidade do sistema avaliado.

Na análise referente ao uso de um número reduzido de conectores, verificou-se que 12 dos DATec's atendem a esse critério, demonstrando uma abordagem consistente na utilização e reaproveitamento dos conectores entre diferentes sistemas construtivos. Esses 12 DATec's são, em sua maioria, compostos por estruturas de concreto, com 9 sendo de concreto, 2 de madeira e 1 de chapas de aço. Essa conformidade se deve à apresentação clara e detalhada dos tipos de conectores empregados, garantindo simplicidade e eficiência tanto no projeto quanto na execução das estruturas. O uso de um número reduzido de conectores padronizados facilita a logística de aquisição, instalação e manutenção, além de otimizar os processos de montagem ao reduzir a necessidade de adaptação entre diferentes elementos construtivos.

Por outro lado, dois dos DATec's analisados não atendem a esse critério (014 C - Sistema construtivo a seco Saint-Gobain – Light Steel Frame e 021 C - CASAS OLÉ – Painéis pré-moldados em alvenaria com blocos cerâmicos e concreto armado), pois descrevem sistemas construtivos que fazem uso de uma variedade maior de conectores. Essa diversidade pode estar relacionada à complexidade dos projetos ou à necessidade de atender a requisitos específicos de inovação e desempenho estrutural, o que demanda soluções diferenciadas para a fixação dos componentes.

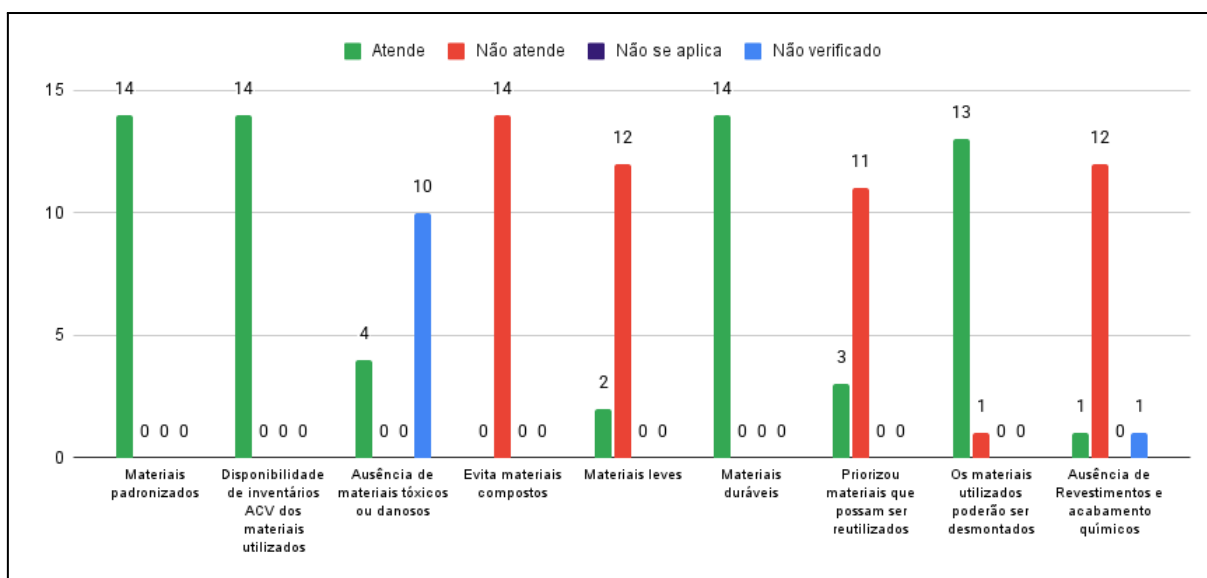
Quanto ao critério “conectores montados segundo a ordem de montagem”, a avaliação foi conduzida com base em dois aspectos: “C17 - Unir os materiais e elementos de maneira que facilite o processo de desmontagem” e “C34 - Numerar e identificar os conectores para facilitar a montagem e evitar perdas”. No que se refere ao critério C17, nenhum dos DATec's analisados pôde ser verificado, pois as informações disponibilizadas nos documentos técnicos não especificam o processo de montagem dos conectores. Já no critério C34, apenas o DATec 014 C - Sistema construtivo a seco Saint-Gobain – Light Steel Frame atendeu ao requisito, apresentando numeração e identificação dos conectores, enquanto nos outros 13 documentos essa informação não pôde ser verificada devido à ausência de dados detalhados sobre esse aspecto.

4.3 Materiais e componentes

A avaliação dos materiais e componentes empregados nos sistemas construtivos inovadores revelou a importância de três critérios fundamentais para a padronização e resistência estrutural: C26 (Padronizar os materiais), C27 (Considerar os diferentes ciclos de vida) e C32 (Utilizar materiais duráveis e resistentes), os quais se referem respectivamente aos itens Materiais padronizados, Disponibilidade de inventários ACV dos materiais utilizados e Materiais duráveis.

Todos os DATec's analisados atenderam a esses critérios (Figura 4.3), evidenciando a preocupação com a uniformidade dos materiais e com a longevidade das edificações. Esses aspectos influenciam diretamente o ciclo de vida da construção, garantindo maior eficiência na gestão dos recursos e na sustentabilidade dos sistemas empregados.

Figura 4.3 – Resultados da análise dos DATec's quanto aos critérios dos materiais e componentes.



Fonte: Autoria própria (2024).

No que se refere ao uso de materiais leves, observou-se que 12 dos DATec's analisados optaram por materiais mais pesados, como concreto e aço, o que pode dificultar significativamente a desmontagem. O concreto, em particular, representa um desafio nesse processo, devido à falta de separação entre as conexões e ao peso elevado dos elementos estruturais, o que dificulta tanto o desmonte quanto o transporte dos componentes (Webster; Costello, 2005). Apenas dois documentos (020 D – Sistema estruturado em peças leves de

madeira maciça serrada – Tecverde e 042 – Sistema construtivo estruturado em peças de madeira maciça serrada com fechamentos em chapas – MBTM) especificam o uso de materiais leves, como a madeira. Este tipo de material apresenta maior flexibilidade para desmontagem, além de possibilitar a reutilização e reciclagem dos componentes (Guy; Shell, 2002).

No item “Os materiais utilizados poderão ser desmontados”, 13 DATec’s atenderam ao requisito, especialmente aqueles que utilizam conexões desmontáveis em materiais como madeira e aço. A madeira, além de ser um material renovável, apresenta bom desempenho térmico e acústico, enquanto o aço, por sua vez, destaca-se por sua flexibilidade e alto índice de reciclagem (Molina; Calil Jr, 2010; Mattaraia, 2013). Apenas o DATec 035-B (Paredes de Concreto Reforçado com Fibra de Vidro) não atendeu ao critério, devido à sua estrutura rígida, que impossibilita o reaproveitamento dos componentes.

Quanto ao item “Ausência de materiais tóxicos ou danosos”, a análise foi prejudicada devido à falta de informações em grande parte dos documentos avaliados. Em 10 DATec’s, não foi possível verificar a conformidade, evidenciando uma lacuna nos dados disponíveis. Apenas 4 DATec’s (008, 014, 020, 021) atenderam ao critério deste item em questão, demonstrando preocupação com o uso seguro de materiais. Conforme apontado por Moraes, Linden e Paula (2011), a eliminação de materiais tóxicos é essencial tanto na construção quanto na desmontagem, sendo recomendável planejar a reciclagem, codificar e identificar os materiais potencialmente prejudiciais para garantir um manuseio seguro.

No item “Priorizou materiais que possam ser reutilizados”, apenas 3 DATec’s (020 D - Sistema estruturado em peças leves de madeira maciça serrada – Tecverde (tipo light wood framing, 042 - Sistema construtivo estruturado em peças de madeira maciça serrada com fechamentos em chapas (light wood framing) - MBTM, 043 - Painéis estruturais pré-moldados mistos de concreto armado e lajotas cerâmicas ITC - Casa Express) atenderam ao critério, incorporando elementos reutilizáveis como madeira e aço. Nos demais 11 documentos, a reutilização é dificultada devido à complexidade das conexões ou ao uso de estruturas pré-fabricadas, que nem sempre permitem a substituição ou reaproveitamento dos materiais de maneira eficiente.

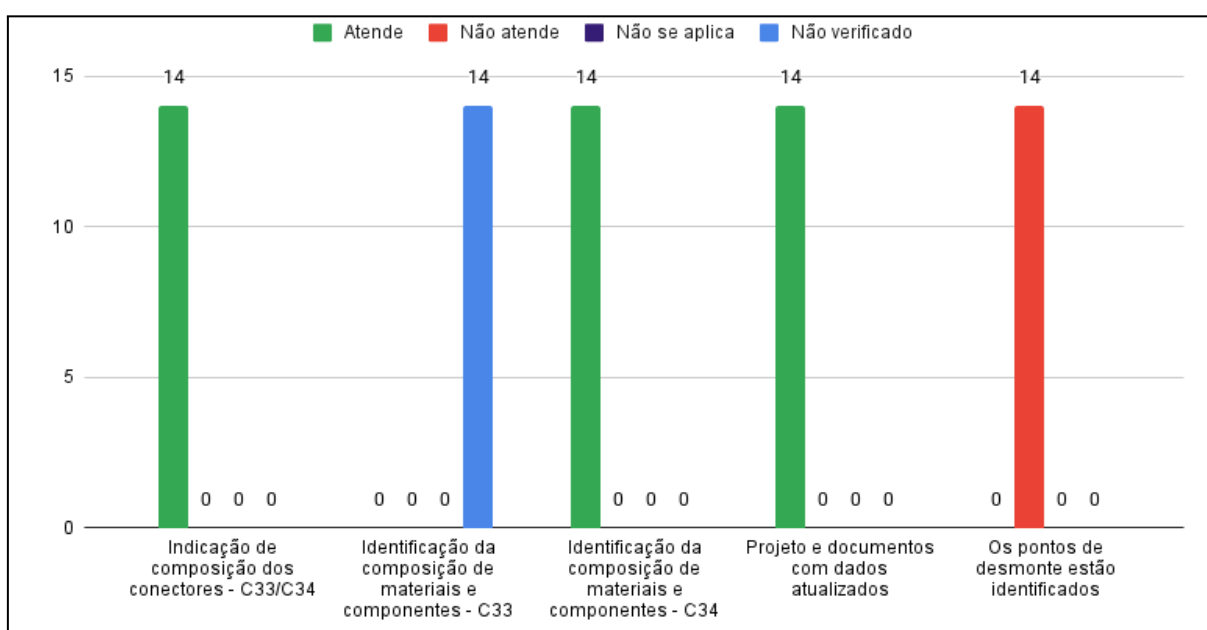
A análise dos materiais e componentes adotados nos sistemas construtivos inovadores demonstra sua influência direta na desmontagem das edificações. Entre os materiais analisados, madeira e aço se destacam, pois oferecem maior flexibilidade para reaproveitamento e reciclagem. No entanto, para garantir a eficácia do processo, é essencial considerar a forma das conexões, o ciclo de vida dos materiais e os padrões adotados,

assegurando uma construção mais eficiente e alinhada aos princípios da sustentabilidade.

4.4 Informação e identificação dos materiais

A Figura 4.4 ilustra a avaliação dos DATec's quanto à informação e identificação dos materiais utilizados no sistema construtivo.

Figura 4.4 – Resultados da análise dos DATec's quanto aos critérios de informação e identificação dos materiais.



Fonte: Autoria própria (2024).

Na análise do item "Indicação de Composição dos Conectores", foram aplicados dois parâmetros para a avaliação dos documentos. O primeiro, foi o critério C33, que refere-se à especificação dos materiais passíveis de identificação, enquanto o segundo, foi o C34, que aborda a numeração e identificação dos conectores, visando facilitar a montagem e evitar perdas. Todos os DATec's analisados atenderam a ambos os critérios, uma vez que a metodologia de montagem descrita nos documentos permitiu uma identificação clara e satisfatória dos conectores.

No que se refere ao item "Identificação da Composição de Materiais e Componentes", os critérios C33 e C34 também foram empregados. No entanto, todos os DATec's foram classificados como "Não verificados" em relação ao critério C33, devido à ausência de informações suficientes para avaliar a conformidade dos materiais utilizados. Por outro lado, o critério C34 foi atendido por todos os documentos, pois a metodologia detalhada dos

sistemas construtivos possibilitou a avaliação da ordem de montagem de cada conector, garantindo a correta identificação dos elementos estruturais.

A análise do item "Projeto e Documentos com Dados Atualizados" foi baseada no parâmetro C35, que avalia a atualização das informações de projeto. Nesse aspecto, todos os DATec's atenderam ao critério, pois os documentos passam por revisões periódicas a cada dois anos, garantindo que as informações contidas permaneçam vigentes e alinhadas às exigências normativas.

Em relação ao critério "Os pontos de desmonte estão identificados", avaliado por meio do C34, que trata da numeração e identificação dos conectores para facilitar a montagem e minimizar perdas, constatou-se que nenhum dos DATec's analisados atendeu ao requisito. Embora os documentos enfatizem a numeração e identificação de conectores, materiais e componentes, não há uma abordagem específica voltada à identificação dos pontos de desmontagem, o que representa uma lacuna na documentação técnica desses sistemas construtivos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi analisar o potencial de desmontagem dos sistemas construtivos inovadores, com foco nas ligações e conexões entre componentes, nos materiais e componentes e na informação e identificação dos materiais. Para isso, foram investigados os sistemas construtivos regulamentados pelo PBQP-H, que possuíam Documentos de Avaliação Técnica (DATec's) e estavam relacionados à construção de edificações.

Os resultados demonstraram que os sistemas construtivos inovadores apresentam potencial para desmontagem, uma vez que apenas um dos sistemas analisados não permite esse processo. A utilização de materiais e componentes pré-fabricados mostrou-se vantajosa, pois facilita tanto o transporte no canteiro de obras quanto a desmontagem das peças. Entre os materiais analisados, madeira e aço se destacam, pois oferecem maior flexibilidade para reaproveitamento e reciclagem. No entanto, para garantir a eficácia do processo, é essencial considerar a forma das conexões, o ciclo de vida dos materiais e os padrões adotados, assegurando uma construção mais eficiente e alinhada aos princípios da sustentabilidade.

No entanto, a maioria dos sistemas avaliados não considera o peso e as dimensões das estruturas, o que pode dificultar o processo de desmontagem. Esse problema é particularmente evidente nos painéis de concreto, que, por serem pesados e pouco modulares, apresentam maior complexidade na desmontagem e reutilização. Em contrapartida, os sistemas steel frame, por serem mais leves, possibilitam um desmonte mais eficiente e facilitam o transporte dos elementos para reutilização em novas construções.

A análise das ligações e conexões entre os componentes identificou algumas deficiências que podem comprometer a desmontagem dos sistemas construtivos inovadores. Um dos principais desafios é a necessidade de conectores reutilizáveis e desmontáveis, que sejam independentes e não estejam excessivamente interligados, pois conexões muito rígidas ou fixas dificultam a separação dos elementos. Além disso, a numeração dos conectores foi destacada como um fator essencial para otimizar o processo de desmontagem. A correta identificação dos conectores e a indicação da ordem de desmontagem são fundamentais para simplificar a retirada dos componentes, garantindo que o processo ocorra de maneira organizada e segura. Embora os documentos enfatizem a numeração e identificação de conectores, materiais e componentes, não há uma abordagem específica voltada à identificação dos pontos de desmontagem, o que representa uma lacuna na documentação técnica desses sistemas construtivos.

A desmontagem dos materiais, componentes e sistemas possibilita a reutilização dos

elementos construtivos e reduz a geração de resíduos, tornando essa alternativa mais sustentável e econômica em comparação com a demolição convencional. A adoção de métodos e elementos voltados para a desmontagem aumenta a eficiência dos sistemas inovadores, conferindo-lhes vantagens ambientais e econômicas em relação às práticas tradicionais da construção civil. O desenvolvimento desses sistemas dentro do PBQP-H assegura que a inovação seja acompanhada de padrões de qualidade e desempenho, reforçando sua viabilidade no setor.

A informação e identificação dos materiais desempenham um papel crucial na desmontagem dos sistemas construtivos inovadores. No entanto, um ponto crítico identificado foi a falta de indicação dos pontos de desmontagem nos DATEC's. Nenhum dos documentos analisados atende a esse requisito, o que representa uma lacuna importante no processo de desmontagem. Diante disso, torna-se essencial que o Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores da Construção Civil (SiNAT) desenvolva soluções para suprir essa deficiência, aprimorando a identificação dos pontos de desmontagem e garantindo maior eficiência e sustentabilidade nos sistemas construtivos inovadores.

Além disso, as técnicas construtivas associadas aos sistemas inovadores oferecem vantagens tanto na montagem quanto na reutilização de materiais, componentes e até mesmo do próprio sistema construtivo. Esse fator contribui para a ampliação do ciclo de vida das edificações, reduzindo impactos ambientais e promovendo um uso mais racional dos recursos.

Dessa forma, os sistemas construtivos inovadores avaliados demonstram um alto potencial para desmontagem, permitindo a reutilização de seus elementos e o transporte para novas localidades. Esse processo contribui diretamente para a redução da geração de resíduos e para a promoção da sustentabilidade no setor da construção civil, alinhando-se às exigências ambientais contemporâneas e às boas práticas de construção modular e flexível.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 9062**: projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

AUTODOC. **PBQP-H: saiba como implementar**. 2019. Disponível em: <https://site.autodoc.com.br/conteudos/pbqp-h-saiba-como-implementar/>. Acesso em: 10 maio 2022.

BRASIL. **Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat - PBQP-H**. Disponível em: <https://pbqp-h.mdr.gov.br/>. Acesso em: 09 maio 2022.

BREWER, G.; MOONEY, J. **A best practice policy for recycling and reuse in building**. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability, v. 161, n. 3, p. 173-180, Sep 2008.

CASTRO, J. A. **Invento & inovação tecnológica**: produtos e patentes na construção. 1 ed. São Paulo: Annablume, FAPESP, 1999.

CROWTHER, P. **Design for Disassembly - Themes and Principles**. BDP Environment Design Guide, 2005.

FARAH, M. F. S. **Processo de Trabalho na Construção Habitacional**: Tradição e Mudança. São Paulo: Annablume, FAPESP, 1996.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil por cor ou raça 2016-2019**. Diretoria de Estatística e Informações. Belo Horizonte: FJP, 2022.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6ª edição. São Paulo: Atlas, 2018. 173 p.

GUY, B.; ROCHA, C. A building lifecycle model based on a design for deconstructions **approach**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, IV., 2005, Porto Alegre.

GUY, B.; SHELL, S. **Design for Deconstruction and Materials Reuse**. CIB Publication, Rotterdam (Netherlands), 272, 20p., 2002.

HARRABIN, R. **Climate change**: Construction companies told to stop knocking down buildings. 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/science-environment-58667328>. Acesso em: 30 ago. 2022.

HARRABIN, R. **Climate Change**: MPs say building demolitions must be reduced. 2022. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/science-environment-61580979>. Acesso em: 5 set. 2022.

HENDRIKS, C. F.; NIJKERK, A. A.; VAN KOPPEN, A. E.. **O Ciclo da Construção**. Brasil: Unb, 2007. 250 p.

LAGE, M.; MAGALHÃES DO VALE, C. **Pré-fabricação:** O conceito, sua utilização e alguns desacordos na produção científica brasileira. *Revista Projetar - Projeto e Percepção do Ambiente*, v. 9, n. 2, p. 186–198, 21 maio 2024.

MATTARAIA, L. F. **Arquitetura e sustentabilidade:** considerações sobre o desmonte das edificações. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MATTARAIA, L.; MARTINS, A; FABRICIO, M. M. **Critérios para Avaliação do Potencial de Desmonte e Reciclagem de Materiais de Sistemas Construtivos Inovadores.** In: KAZMIERCZAK, C. S; FABRICIO, M. M. *Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: Materiais e Sustentabilidade.* São Carlos: Scienza, 2016. Cap. 11. p. 315-338.

MATVIJENKO JUNIOR, J.; ESTEVES, H. C.. **Concreto pré-moldado:** características, benefícios e limitações em sua utilização. Faculdade de Ciências Agrárias e Sociais de Itapeva, 2021.

MOLINA, J. C.; CALIL JUNIOR, C. **Sistema construtivo em Wood Frame para casas de madeira.** *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, Londrina, v.3, n.2, p.143 – 156, jul. /dez. 2010.

MORAES, L. M; LINDEN, J. C. S; PAULA, I. C. **Processo de desenvolvimento e integração de análises ambientais em metodologias de projeto.** In: Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto (8.: 2011 set. 12-14: Porto Alegre, RS).[Anais][recurso eletrônico].[Porto Alegre, RS: Departamento de Engenharia de Produção e Transportes da UFRGS], 2011. 2011.

PEREIRA, C. **Steel Frame:** Prós, Contras e Como Ele Pode Beneficiar o seu Projeto. 2024. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/steel-frame/>. Acesso em: 22 set. 1988.

SOTSEK, N. C.; SANTOS, A. DE P. L.. **Panorama do sistema construtivo light wood frame no Brasil.** *Ambiente Construído*, v. 18, n. 3, p. 309–326, jul. 2018.

VAN ACKER, A. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto.** Traduzido por Marcelo de Araújo Ferreira. São Paulo, SP: Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto, 2002.

WEBSTER, M. D.; COSTELLO, D. T. **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, Atlanta, GA. 2005. p. 14.

ZAGO, C. S.; JUNIOR, A. L. M.; MARIN, M. C. **Considerações sobre o desempenho de estruturas de concreto pré-moldado em situação de incêndio.** *Ambiente Construído*, v. 15, n. 1, p. 49–61, 2015.

APÊNDICE A - TABELAS DE ATENDIMENTO AOS CRITÉRIOS DA CHECKLIST

Tabela A.1 – Sistemas Construtivos

Sistemas construtivos	Atende	Não atende	Não se aplica	Não verificado
Projeto para desmonte - C1	13	1	0	0
Projeto para desmonte - C13	13	0	1	0
Sistema construtivo modular	13	1	0	0
Sistema evita elementos de grandes dimensões	3	10	1	0
Elementos pré-fabricados	6	8	0	0
Estrutura resistente a montagem e desmontagem - C21	3	10	1	0
Estrutura resistente a montagem e desmontagem - C32	13	0	1	0
Adoção de sistemas construtivos abertos	5	9	0	0
Evita junção de vários sistemas construtivos	14	0	0	0
Evita sistemas embutidos	0	13	1	0
É possível acessar todas as partes da edificação	1	3	0	10
É possível desmontar com ferramentas manuais - C4	0	0	0	14
É possível desmontar com ferramentas manuais - C19	13	0	1	0
Foi considerado o transporte dos elementos e materiais desmontados	0	0	1	13
É possível desmontar partes separadas dos sistemas construtivos sem danificar outras - C6/C13	4	9	1	0
A desmontagem dos subsistemas é independente - C14/C20	0	0	1	13
Foi considerado o tempo ideal de desmonte	0	0	1	13
Foi prevista a sequência do desmonte no documento do sistema construtivo - C1	0	0	0	14

Foi prevista a sequência do desmonte no documento do sistema construtivo - C13	0	14	0	0
Foi considerado o custo da desmontagem	0	0	1	13
Elementos a serem desmontados são compatíveis com a escala humana	3	10	0	1
Todos os elementos do sistema construtivo apresentam baixa toxicidade	1	0	0	13

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela A.2 – Ligações e conexões entre componentes.

Ligações e conexões entre componentes	Atende	Não atende	Não se aplica	Não verificado
Ausência de ligações químicas	5	9	0	0
Conectores resistentes	14	0	0	0
Conectores padronizados	10	0	3	1
Ligações independentes	1	12	1	0
Reuso dos conectores	1	12	1	0
Número reduzido de diferentes tipos de conectores	12	2	0	0
Conectores numerados segundo a ordem de montagem - C17	0	0	0	14
Conectores numerados segundo a ordem de montagem - C34	1	0	0	13

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela A.3 – Materiais e componentes.

Materiais e componentes	Atende	Não atende	Não se aplica	Não verificado
Materiais padronizados	14	0	0	0
Disponibilidade de inventários ACV dos materiais utilizados	14	0	0	0
Ausência de materiais tóxicos ou danosos	4	0	0	10
Evita materiais compostos	0	14	0	0
Materiais leves	2	12	0	0

Materiais duráveis	14	0	0	0
Priorizou materiais que possam ser reutilizados	2	12	0	0
Os materiais utilizados poderão ser desmontados	13	1	0	0
Ausência de Revestimentos e acabamento químicos	1	12	0	1

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela A.4 – Informação e identificação dos materiais

Informação e identificação dos materiais	Atende	Não atende	Não se aplica	Não verificado
Indicação de composição dos conectores - C33/C34	14	0	0	0
Identificação da composição de materiais e componentes - C33	0	0	0	14
Identificação da composição de materiais e componentes - C34	14	0	0	0
Projeto e documentos com dados atualizados	14	0	0	0
Os pontos de desmonte estão identificados	0	14	0	0

Fonte: Autoria própria (2024).