

ARTIGO

A CONTRIBUIÇÃO DO BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) E DA CONSTRUÇÃO MODULAR PARA A SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Ghabriel Leon Gonçalves Barbosa
Paulo Sérgio Pádua de Lacerda
Hudson Balonecker Garcia

RESUMO

A construção civil é um dos setores de maior impacto ambiental, devido ao elevado consumo de recursos, geração de resíduos e emissões de carbono. Nesse cenário, a construção modular associada ao *Building Information Modeling* (BIM) surge como alternativa para mitigar esses impactos, ao possibilitar planejamento mais preciso, racionalização de insumos e análise do ciclo de vida das edificações. Este artigo, baseado em revisão bibliográfica, analisa como a integração entre BIM e construção modular contribui para a sustentabilidade, reduzindo tempo de execução, custos e desperdícios. Os resultados evidenciam ganhos ambientais e econômicos, como menor consumo energético e redução de resíduos, além de maior previsibilidade nos processos. Conclui-se que a sinergia entre BIM e modularidade constitui caminho viável para tornar o setor mais eficiente, competitivo e alinhado às exigências de sustentabilidade contemporâneas.

Palavras-chave: Construção Modular; Sustentabilidade; *Building Information Modeling* (BIM); Eficiência Energética.

ABSTRACT

The construction industry is among the sectors with the greatest environmental impact, due to its high resource consumption, waste generation, and carbon emissions. In this context, modular construction combined with Building Information Modeling (BIM) emerges as an alternative to mitigate such impacts, enabling more accurate planning, resource rationalization, and life cycle assessment. This article, based on a literature review, analyzes how the integration of BIM and modular construction enhances sustainability by reducing construction time, costs, and waste. The results show environmental and economic benefits, such as lower energy consumption, waste reduction, and greater process predictability. It is concluded that the synergy between BIM and modularity is a viable path to make the construction sector more efficient, competitive, and aligned with contemporary sustainability demands.

Keywords: Modular Construction; Sustainability; Building Information Modeling (BIM); Energy Efficiency.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil desempenha papel central no desenvolvimento econômico, mas também é um dos setores de maior impacto ambiental, respondendo por elevada geração de resíduos, consumo de recursos naturais e emissões de gases de efeito estufa. No Brasil, estima-se que até 50% dos resíduos sólidos urbanos tenham origem nesse setor, o que evidencia a urgência de soluções sustentáveis.

Nesse cenário, duas abordagens se destacam: a construção modular e o Building Information Modeling (BIM). A modularidade, fundamentada na pré-fabricação de componentes, proporciona rapidez, redução de desperdícios e maior precisão construtiva. O BIM, por sua vez, viabiliza a modelagem digital e a gestão integrada do ciclo de vida das edificações, ampliando a previsibilidade e a eficiência dos projetos.

A integração entre essas práticas potencializa seus benefícios isolados, contribuindo para menor consumo energético, redução de resíduos e maior qualidade construtiva. Apesar dos avanços internacionais, no Brasil a discussão sobre essa associação ainda é incipiente, o que reforça a relevância científica deste estudo.

Dessa forma, o artigo busca responder à seguinte questão: **como a integração entre BIM e construção modular pode otimizar processos construtivos e reduzir os impactos ambientais da construção civil?**

Para tanto, este trabalho tem como objetivo geral investigar de que forma a integração entre BIM e construção modular pode contribuir para a sustentabilidade na construção civil. Como desdobramentos, apresentam-se os objetivos específicos:

- Identificar os principais benefícios da construção modular no contexto da sustentabilidade;
- Analisar como o uso do BIM contribui para o planejamento, gestão e controle dos processos construtivos;

- Avaliar o potencial de integração entre BIM e construção modular, destacando ganhos de eficiência e redução de impactos ambientais;
- Apresentar desafios e perspectivas para a adoção conjunta dessas práticas no cenário brasileiro.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sustentabilidade na construção civil

O conceito de sustentabilidade, consolidado pelo Relatório Brundtland (1987), propõe atender às necessidades atuais sem comprometer a capacidade das futuras gerações. No setor da construção civil, esse princípio é particularmente relevante, considerando que a atividade é responsável por elevado consumo de recursos naturais, alta geração de resíduos e significativa emissão de gases de efeito estufa.

A sustentabilidade na construção civil é geralmente representada pelo tripé econômico, ambiental e social. A dimensão ambiental relaciona-se à mitigação de impactos, como a redução das emissões de CO₂ e do desperdício de materiais. A dimensão econômica refere-se à viabilidade financeira e à otimização de processos, com redução de custos e maior previsibilidade dos investimentos. Já a dimensão social envolve o bem-estar das comunidades, a melhoria da qualidade de vida e a promoção de inclusão por meio de edificações acessíveis e seguras.

A Figura 1 apresenta o tripé da sustentabilidade, evidenciando a interdependência entre as três dimensões e sua importância para a construção civil.

Figura 1: Tripé da Sustentabilidade



Fonte: Toda Matéria, 2025.

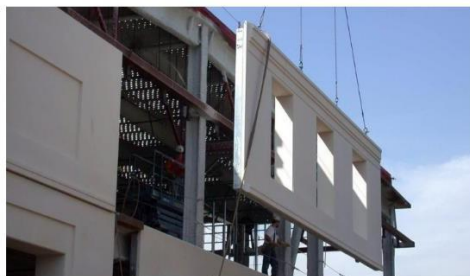
Apesar da relevância desse tripé, práticas tradicionais de construção ainda se caracterizam por altos índices de desperdício, elevado consumo energético e significativa pressão sobre recursos naturais (ALENCAR, 2023). Estima-se que a construção civil seja responsável por aproximadamente 30% das emissões globais de gases de efeito estufa (DE FARIAS; MARINHO, 2020). Esse cenário reforça a necessidade de inovações que conciliem produtividade e preservação ambiental.

Nesse contexto, alternativas como a construção modular e o uso do *Building Information Modeling* (BIM) representam respostas estratégicas. Enquanto a modularidade contribui para a redução de resíduos e maior eficiência produtiva, o BIM amplia a capacidade de planejamento e simulação, fortalecendo a integração do tripé da sustentabilidade nas práticas do setor.

2.2 Construção modular: conceito, benefícios e desafios

A construção modular consiste na fabricação de módulos em ambiente controlado, transportados e posteriormente montados no canteiro de obras. Essa abordagem promove ganhos de produtividade, padronização de processos e maior qualidade construtiva, ao reduzir interferências climáticas e otimizar a logística (LAWSON et al., 2014; BERTRAM et al., 2019). A Figura 2 exemplifica um elemento estrutural modular, evidenciando a flexibilidade e adaptabilidade desse sistema.

Figura 2: Elemento Estrutural Modular



Fonte: Alves; Fagundes, 2024

Entre as principais vantagens do modelo modular destacam-se a rapidez de execução, a redução de desperdícios e a precisão construtiva. A produção fabril possibilita a simultaneidade entre etapas de fundação e fabricação, encurtando significativamente os cronogramas. Além disso, a modularidade permite reaproveitamento de materiais, menor consumo energético e redução de emissões de CO₂ (BENITE; TANIGUTI; GONZALES, 2019). No âmbito econômico, a padronização reduz retrabalhos e viabiliza economias de escala em projetos habitacionais, comerciais e de interesse social (LAWSON; OGDEN; GOODIER, 2014).

Apesar de seus benefícios, a construção modular ainda enfrenta desafios relevantes no Brasil. Questões logísticas, como o transporte de módulos de grandes dimensões, exigem veículos especiais e rotas adequadas, o que pode elevar custos (MODULAR BUILDING INSTITUTE, 2020). Soma-se a isso a carência de mão de obra especializada em pré-fabricação e montagem (PEREIRA; PIASENTINI; LACERDA, 2023) e a resistência cultural, que associa modularidade a construções de menor qualidade (DE CARVALHO, 2020). Além disso, entraves normativos e ausência de regulamentações específicas dificultam a difusão dessa tecnologia.

Assim, a construção modular consolida-se como alternativa viável para promover eficiência produtiva, sustentabilidade e competitividade, mas sua plena adoção no Brasil depende de avanços regulatórios, capacitação profissional e superação de barreiras culturais.

2.3 Indústria 4.0 e a transformação digital na construção civil

A Indústria 4.0 representa a quarta revolução industrial, caracterizada pela integração de tecnologias digitais avançadas aos processos produtivos. Essa transformação tem como pilares a digitalização, a automação e a conectividade, promovendo maior eficiência, flexibilidade e sustentabilidade. Na construção civil, esse movimento é denominado “Construção 4.0” e está associado ao uso de ferramentas como Internet das Coisas (IoT), Big Data, inteligência artificial e, sobretudo, o *Building Information Modeling* (BIM).

O percurso histórico que conduz à Indústria 4.0 foi marcado por fases anteriores: a mecanização pela máquina a vapor, a produção em massa impulsionada pela eletrificação, e a automação possibilitada pela informática. Na etapa atual, iniciada na década de 2010, a integração entre sistemas ciberfísicos, sensores inteligentes e redes digitais cria ambientes produtivos mais ágeis e interconectados, permitindo simulações e tomadas de decisão em tempo real (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

No contexto da construção civil, a Indústria 4.0 possibilita maior controle sobre processos, redução de desperdícios e incremento da qualidade. A aplicação de tecnologias digitais permite a criação de gêmeos digitais, a integração de informações em diferentes etapas do projeto e a descentralização das decisões produtivas. Esses avanços tornam possível personalizar edificações em larga escala, reduzir custos e ampliar a previsibilidade de prazos e resultados.

Entre as ferramentas que consolidam esse novo paradigma, destaca-se o BIM, considerado um dos pilares da Construção 4.0. Mais do que uma ferramenta de modelagem tridimensional, o BIM constitui uma plataforma de gestão integrada que conecta profissionais, dados e processos, viabilizando a digitalização completa do ciclo de vida das edificações. Sua adoção representa a base para a integração com a construção modular e para a consolidação de práticas mais sustentáveis na engenharia civil.

2.4 Building Information Modeling (BIM): conceitos e benefícios

O *Building Information Modeling* (BIM) é definido como uma representação digital integrada das características físicas e funcionais de uma edificação. Trata-se de um processo que possibilita a criação, a análise e a gestão de informações ao longo de todo o ciclo de vida do empreendimento — desde a concepção até a operação e manutenção (NIMBS Committee, 2007).

No Brasil, o uso do BIM ganhou relevância após a obrigatoriedade de sua aplicação em projetos públicos de grande porte a partir de 2024, consolidando-se como tecnologia estratégica no setor da construção (GONI, 2024). Essa adoção institucional reconhece os benefícios proporcionados pela modelagem, como maior precisão de projetos, redução de erros em obra, diminuição de retrabalhos e otimização do uso de recursos (DOS SANTOS SIMÃO et al., 2019).

O BIM deve ser compreendido não apenas como uma ferramenta de modelagem tridimensional, mas como um sistema de gestão integrada que facilita a colaboração entre arquitetos, engenheiros, construtores e gestores. Sua utilização permite extrair quantitativos automáticos, simular cenários de desempenho energético, prever custos e identificar incompatibilidades de projeto antes da execução, reduzindo significativamente riscos, prazos e custos (LEE; SACKS; EASTMAN, 2006).

Entre os principais benefícios do BIM estão a integração interdisciplinar, a precisão orçamentária e a sustentabilidade. Ao possibilitar análises detalhadas de eficiência energética e avaliação do ciclo de vida, a tecnologia contribui diretamente para a redução de impactos ambientais e para a racionalização de insumos. Além disso, sua capacidade de antecipar conflitos e melhorar a comunicação entre equipes garante maior confiabilidade e segurança técnica.

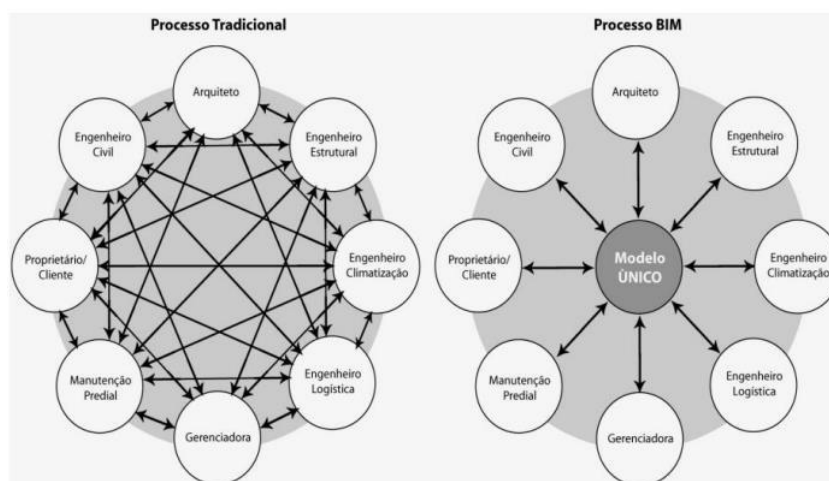
Dessa forma, o BIM configura-se como um dos pilares da Indústria 4.0 aplicada à construção civil, servindo de base para modelos mais industrializados e sustentáveis. Quando associado a modularidade, amplia ainda mais os ganhos de produtividade, qualidade e responsabilidade socioambiental, tornando-se elemento central na transição para práticas construtivas inovadoras.

2.5 Integração entre BIM e construção modular

A integração entre o BIM e a construção modular representa um dos avanços mais significativos para a engenharia civil contemporânea. Enquanto a modularidade possibilita racionalização de insumos, padronização e rapidez na execução, o BIM potencializa esses ganhos ao permitir planejamento detalhado, simulações prévias e controle de todas as fases do ciclo de vida da edificação.

No processo tradicional, as etapas de projeto, execução e manutenção são conduzidas de forma fragmentada, o que gera falhas de comunicação, retrabalhos e custos adicionais. Já no modelo integrado, o BIM promove colaboração entre diferentes agentes, maior previsibilidade orçamentária e a possibilidade de simulação de cenários de desempenho energético e ambiental. A Figura 3 ilustra a diferença entre os dois processos.

Figura 3: Comparação entre o processo tradicional e processo integrado.



Fonte: Nunes, 2013.

Além da colaboração ampliada, os ganhos são também quantitativos. A Tabela 1 compara a duração média de projetos conduzidos por métodos tradicionais e por construção modular apoiada pelo BIM, destacando reduções expressivas em prazos e riscos.

Tabela 1 - Duração da Construção de Projetos-Método Tradicional vs. Construção Modular com Módulos Volumétricos 3D.

Etapa	Duração (Meses)	Duração (Meses)
	Método Tradicional	Módulos Volumétricos 3D
Planejamento e Design	6	5-7
Fundação	2	2
Construção On-Site	12	6
Atrasos na Construção	4	3-6

Fonte: o autor, com base na tabela de BERTRAM, N. *Et al.* , 2019 .

A análise evidencia que, embora a fase de planejamento possa demandar tempo semelhante em ambos os modelos, a utilização do BIM garante maior precisão e confiabilidade. O diferencial surge nas etapas seguintes: enquanto a construção tradicional pode demandar mais de um ano de execução, a modularidade associada ao BIM reduz esse período pela metade, permitindo simultaneidade entre fundações e fabricação de módulos. Além disso, os atrasos, comuns no modelo convencional, são significativamente mitigados no sistema industrializado apoiado pela modelagem digital.

Portanto, a integração entre BIM e modularidade não apenas reduz o tempo e o custo das obras, mas também promove maior qualidade construtiva, sustentabilidade e segurança. Essa associação se consolida como alternativa estratégica para enfrentar os desafios do setor e alinhar a construção civil às metas globais de eficiência e descarbonização.

2.6 Exemplos internacionais de aplicação da construção modular

A construção modular tem avançado em diversos países como resposta à necessidade de edificações rápidas, eficientes e sustentáveis. Nos Estados Unidos, esse modelo é aplicado em habitação social, hospitais e escolas, com resultados expressivos em redução de custos e prazos. Estudos da McKinsey & Company apontam que a modularidade pode reduzir em até 50% o tempo total de construção e diminuir os custos em cerca de 20% (BERTRAM et al., 2019). O uso do BIM nesses projetos garante maior previsibilidade no planejamento e evita desperdícios.

No Japão, empresas como Sekisui House e Daiwa House utilizam módulos pré-fabricados em larga escala para habitações resistentes a terremotos. A integração entre BIM e IoT permite monitoramento em tempo real da produção e da montagem, garantindo precisão logística e eficiência construtiva (LEE; SACKS; EASTMAN, 2006).

Na Europa, a Suécia se destaca por possuir um dos sistemas mais avançados de construção industrializada, com aproximadamente 84% das novas residências construídas por métodos modulares (JORGE; RAVACHE, 2021). No Reino Unido, políticas governamentais incentivam a adoção da modularidade como resposta à crise habitacional e às metas de eficiência energética (MODULAR BUILDING INSTITUTE, 2020). Já nos Emirados Árabes, experiências inovadoras, como a impressão 3D aplicada a edifícios, ilustram o potencial disruptivo do setor.

A Tabela 2 resume as principais práticas internacionais, destacando tecnologias associadas e benefícios evidenciados em cada contexto.

Tabela 2 - Práticas Internacionais em Construção Modular: Tecnologias e Benefícios

País/Região	Características Principais	Tecnologias Associadas	Benefícios Evidenciados
Estados Unidos	Aplicação em habitação social, hospitais e escolas. Redução de custos e tempo.	BIM, IoT	Até 50% menos tempo e 20% de redução de custos
Japão	Habitações resistentes a terremotos, pré-fabricação em larga escala.	BIM, IoT, automação industrial	Precisão construtiva e eficiência logística
Suécia	84% das novas casas construídas de forma modular.	BIM, IoT, manufatura aditiva	Sustentabilidade, redução de desperdícios
Reino Unido	Incentivo governamental para resolver crise habitacional e aumentar eficiência energética.	BIM, IoT, realidade aumentada	Melhoria na eficiência energética e produtividade
Emirados Árabes	Experimentos com impressão 3D, como o escritório totalmente impresso em Dubai.	Impressão 3D, BIM	Inovação, rapidez construtiva e sustentabilidade

Fonte: o autor, 2025.

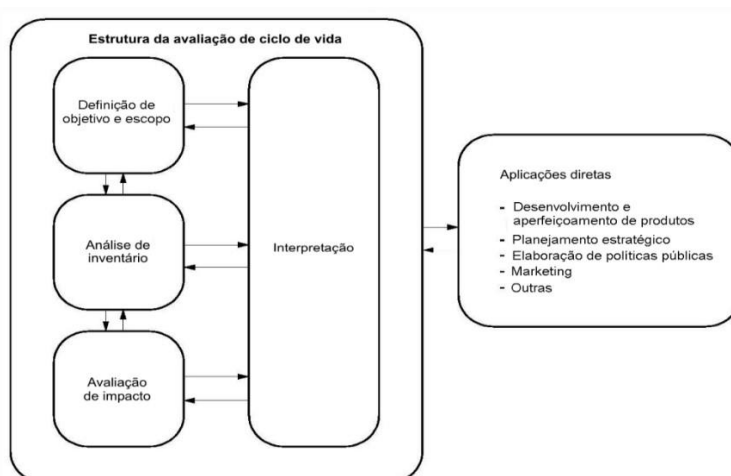
Essas experiências demonstram que, embora as motivações variem — redução de custos, resiliência sísmica, eficiência energética ou inovação tecnológica —, os resultados convergem em três pontos principais: encurtamento de prazos, diminuição de custos e maior qualidade construtiva. Observa-se ainda que a integração com tecnologias digitais, como BIM, IoT e manufatura aditiva, é decisiva para o sucesso desses projetos, servindo como referência para a expansão da construção modular no Brasil.

2.7 Metodologias de avaliação (ACV e normas aplicáveis)

A avaliação dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de um edifício é essencial para fundamentar decisões em projetos sustentáveis. Nesse contexto, a Análise do Ciclo de Vida (ACV), prevista na norma ABNT NBR ISO 14040:2009, constitui a principal metodologia aplicada na construção civil. Seu objetivo é mensurar de forma sistemática os impactos ambientais desde a extração de matérias-primas até o descarte final, permitindo identificar pontos críticos e propor alternativas de mitigação.

A ACV é composta por quatro etapas: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação dos resultados. Essa estrutura possibilita quantificar emissões de carbono, consumo de recursos naturais, uso de energia e geração de resíduos. A Figura 4 ilustra o processo metodológico adotado pela NBR ISO 14040, evidenciando sua aplicabilidade ao setor da construção.

Figura 4 - Estrutura de avaliação de ciclo de vida



Fonte: ABNT NBR ISO 14040, 2009.

Na construção modular, a ACV tem papel ainda mais relevante. Ao considerar etapas como a fabricação em ambiente controlado, o transporte e a montagem dos módulos, a metodologia permite demonstrar vantagens ambientais em comparação ao modelo tradicional. Estudos apontam que a integração entre ACV e BIM amplia a capacidade de simulação, permitindo avaliar impactos ambientais já nas fases iniciais de projeto e, assim, apoiar decisões mais sustentáveis (QUEIROGA; BUENO, 2022).

Portanto, a ACV aplicada à construção modular não se limita à mensuração de impactos, mas configura-se como instrumento estratégico para validar a adoção de práticas inovadoras, orientar políticas públicas e fortalecer a credibilidade de projetos junto a investidores e órgãos reguladores.

2.8 Normas regulatórias aplicáveis à construção modular

A consolidação da construção modular depende de um marco normativo que assegure qualidade, segurança e sustentabilidade. No Brasil, diversas normas técnicas da ABNT orientam práticas construtivas. A NBR 15575:2013 define requisitos de desempenho de edificações habitacionais, incluindo conforto, segurança e eficiência energética, sendo referência central para projetos modulares. A NBR 9062:2017 trata da execução de estruturas de concreto pré-moldado, assegurando resistência e estabilidade dos módulos, enquanto a NBR 6120:2019 estabelece critérios de cargas para cálculo estrutural, fundamentais para o dimensionamento modular.

No campo ambiental, a NBR ISO 14040:2009 padroniza a aplicação da Análise do Ciclo de Vida (ACV), permitindo avaliar impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de uso de materiais e edificações. Já a NBR ISO 9001:2015 define requisitos de gestão da qualidade, frequentemente aplicada na fabricação industrializada dos módulos, reforçando a padronização e a confiabilidade do processo.

No cenário internacional, destaca-se a certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), amplamente adotada no Brasil, que estabelece padrões de eficiência energética, gestão de resíduos e qualidade ambiental interna. Complementarmente, o *International Green Construction Code* (IgCC), desenvolvido pelo

International Code Council (ICC), fornece diretrizes específicas para construções sustentáveis, incluindo sistemas pré-fabricados.

Apesar dos avanços, ainda não existe no Brasil uma regulamentação específica para construção modular, o que dificulta a padronização e a aprovação de projetos. Esse cenário exige atualização normativa e maior integração entre órgãos reguladores e profissionais do setor, de modo a alinhar a prática da modularidade às metas nacionais de sustentabilidade e competitividade.

2.9 Aspectos complementares: capacitação, impactos sociais e perspectivas futuras

A plena adoção da construção modular apoiada pelo BIM requer profissionais capacitados em metodologias digitais e processos industrializados. A Indústria 4.0 impõe uma curva de aprendizado significativa, que só pode ser superada com investimentos contínuos em treinamento e mudança cultural nas organizações (KEHL et al., 2023). A qualificação da mão de obra torna-se, portanto, fator estratégico para garantir qualidade, competitividade e difusão da modularidade no Brasil.

Além do aspecto técnico, a construção modular apresenta impactos sociais e culturais relevantes. Ao reduzir prazos e custos, amplia o acesso a moradias, hospitais e escolas, contribuindo para enfrentar déficits habitacionais e estruturais. Em paralelo, transforma o perfil da mão de obra, deslocando atividades do canteiro para o ambiente fabril e exigindo novas qualificações. Culturalmente, supera a imagem de soluções temporárias ou de baixa qualidade, passando a ser associada a projetos de alto padrão e a práticas sustentáveis (JORGE; RAVACHE, 2021; BONI et al., 2023).

As perspectivas futuras apontam para um cenário de expansão, impulsionado por inovações como impressão 3D, automação e novos materiais sustentáveis. Esse avanço, aliado à crescente demanda por soluções de baixo impacto ambiental, indica que a integração entre BIM e modularidade se consolidará como pilar da construção civil contemporânea, conciliando eficiência, inovação e responsabilidade socioambiental.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da literatura evidencia que a integração entre construção modular e BIM proporciona ganhos significativos em eficiência, sustentabilidade e qualidade construtiva. Os resultados convergem em apontar redução de prazos, custos e desperdícios, além de maior previsibilidade e controle dos processos.

Do ponto de vista ambiental, os estudos revisados apontam reduções expressivas na geração de resíduos e no consumo energético. A pré-fabricação em ambiente controlado permite cortes mais precisos, reaproveitamento de materiais e menor exposição a variáveis externas, fatores que contribuem para a mitigação de emissões de CO₂ (BENITE; TANIGUTI; GONZALES, 2019). Além disso, a integração com o BIM possibilita simulações de cenários sustentáveis, como desempenho energético de diferentes materiais e sistemas construtivos, antecipando decisões de menor impacto ambiental (QUEIROGA; BUENO, 2022).

No campo econômico, observa-se diminuição de custos operacionais e de retrabalhos. Enquanto na construção tradicional os erros de projeto e execução podem representar até 10% do custo total, na modularidade apoiada pelo BIM esse índice cai para menos de 2% (ALVES; FAGUNDES, 2024). Outro diferencial é a antecipação de receitas, uma vez que edificações em hotelaria, saúde ou habitação podem ser entregues em prazos reduzidos, garantindo retorno financeiro mais rápido.

Os exemplos internacionais já apresentados na seção 2.6 reforçam que, independentemente da motivação — redução de custos nos Estados Unidos, resiliência sísmica no Japão ou eficiência energética no Reino Unido —, os resultados convergem em ganhos de prazos, custos e qualidade. Essa constatação confirma a aplicabilidade da integração BIM–modular em diferentes contextos e serve como referência para o cenário brasileiro.

No Brasil, contudo, a adoção ainda encontra entraves ligados à capacitação da mão de obra, à falta de regulamentações específicas e à resistência cultural. Apesar disso, as evidências analisadas confirmam que a integração entre BIM e modularidade é

caminho promissor para atender às metas de descarbonização, ampliar a competitividade e responder à demanda por edificações mais rápidas, acessíveis e sustentáveis.

Portanto, os resultados desta revisão convergem com a literatura internacional ao indicar que a associação entre BIM e construção modular representa uma estratégia eficiente para otimizar processos, reduzir impactos ambientais e ampliar a qualidade construtiva. A discussão evidencia que o desafio brasileiro não é técnico, mas cultural e institucional, exigindo maior difusão, regulamentação e investimento em capacitação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração entre o BIM e a construção modular mostra-se uma das estratégias mais promissoras para transformar a construção civil em direção a práticas mais sustentáveis, eficientes e inovadoras. Os resultados da revisão bibliográfica evidenciam que essa associação reduz prazos, custos e desperdícios, além de ampliar a qualidade construtiva e a previsibilidade dos processos.

No campo ambiental, destacam-se a diminuição da geração de resíduos, o menor consumo energético e a possibilidade de avaliar cenários sustentáveis já na fase de projeto. Sob a ótica econômica, a modularidade apoiada pelo BIM viabiliza economias de escala, reduz retrabalhos e garante retorno mais rápido dos investimentos. Socialmente, contribui para ampliar o acesso a habitações, hospitais e escolas, além de promover um novo perfil de mão de obra qualificada para processos industrializados e digitais.

Apesar dessas evidências, o cenário brasileiro ainda apresenta desafios para a plena adoção do modelo. Entre eles estão a resistência cultural, a falta de regulamentação específica, a carência de capacitação profissional e os entraves logísticos. Esses fatores dificultam a difusão da construção modular, mesmo diante de resultados consistentes observados em experiências internacionais.

Conclui-se que a integração entre BIM e modularidade representa não apenas uma inovação tecnológica, mas também uma necessidade estratégica para alinhar o setor da construção civil às metas globais de sustentabilidade e descarbonização. A superação das barreiras existentes demanda políticas públicas, incentivo regulatório, investimentos em educação e maior engajamento de empresas do setor.

Por fim, recomenda-se que pesquisas futuras explorem estudos de caso aplicados ao contexto brasileiro, comparando projetos reais conduzidos em métodos tradicionais e em modelos modulares apoiados pelo BIM. Essa abordagem permitirá quantificar de forma mais precisa os impactos ambientais, sociais e econômicos, fornecendo evidências adicionais para a consolidação dessa prática como padrão de mercado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: edificações habitacionais – desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15965: informação da construção – sistema de classificação da informação da construção. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: gestão ambiental – avaliação do ciclo de vida – princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9001: sistemas de gestão da qualidade – requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

ALENCAR, M. D. Um contributo do design para a construção modular: uma proposta de projeto para habitação social no Brasil. 2023. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2023.

ALVES DE OLIVEIRA, E.; FAGUNDES, F. Estudo comparativo da viabilidade da construção modular habitacional em concreto. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 13, n. 3, 2024.

BENITE, A.; TANIGUTI, E.; GONZALES, J. Construção modular sustentável: análise de viabilidade. 2019.

BERTRAM, N. et al. Modular construction: from projects to products. McKinsey & Company, 2019.

COSTA, R.; LIMA, V. Construção modular e sustentabilidade no Brasil: desafios e perspectivas. 2020.

DE FARIAS, A.; MARINHO, M. Impactos ambientais da construção civil e perspectivas de mitigação. *Revista Engenharia Sustentável*, v. 8, n. 2, 2020.

- DOS SANTOS SIMÃO, R. et al. Building Information Modeling aplicado à construção civil brasileira. *Revista Ambiente Construído*, v. 19, n. 1, p. 23-38, 2019.
- EASTMAN, C. et al. BIM handbook: a guide to building information modeling. 2. ed. Hoboken: Wiley, 2018.
- FOLADOR, R.; OVIEDO-HAITO, R. A. BIM integration in modular construction: sustainable benefits. 2023.
- JORGE, A.; RAVACHE, M. Construção modular habitacional no Brasil. 2021.
- KEHL, C. et al. Capacitação profissional e os desafios da Construção 4.0. *Revista Inovação em Engenharia*, v. 5, n. 2, 2023.
- KIBERT, C. Sustainable construction: green building design and delivery. 4. ed. New Jersey: Wiley, 2021.
- LAWSON, R.; OGDEN, R.; GOODIER, C. Design in modular construction. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- LEE, C.; KAO, H.; YANG, S. Service innovation and smart analytics for IoT and BIM integration. 2014.
- LEE, G.; SACKS, R.; EASTMAN, C. Technology and process in BIM adoption. 2006.
- MOMBACH, A. Construção modular no Brasil: desafios e potencialidades. 2024.
- MODULAR BUILDING INSTITUTE. Annual Report. Charlottesville, 2020. NUNES, R. Integração BIM em processos construtivos. 2013.
- PEREIRA, R.; PIASENTINI, M.; LACERDA, P. Construção modular no Brasil: entraves e perspectivas. 2023.
- QUEIROGA, R.; BUENO, S. Avaliação do ciclo de vida na construção modular. 2022.
- RODRIGUES, J. Sustentabilidade e modularidade na construção civil. 2021.
- SACKS, R. et al. BIM and lean construction: synergy for sustainability. 2011. SMITH, R. Prefab architecture: a guide to modular design. New Jersey: Wiley, 2019.
- TEIXEIRA, L.; SIMPLÍCIO, J. Materiais renováveis e sustentabilidade na construção civil. 2018.
- USGBC – U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). Washington, 2023.

ICC – INTERNATIONAL CODE COUNCIL. International Green Construction Code (IgCC). Washington, 2021.