

INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO MODULAR HISTÓRICA E BRASILEIRA: Superação dos desafios e maximização dos benefícios

Giovana Machado Walter¹; Malani Helena do Amaral^{2,7}; Fabricia Roberta Lunas^{3,7}; Gabrielly de Jesus Godoy^{4,7}; Bianca Bispo dos Reis^{5,7}; Marcos Henrique Prudêncio^{6*}

¹ Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, Faculdades Integradas de Três Lagoas – AEMS; ²Engenheira Civil – FITL/AEMS, Esp. em Gestão de Produção e Logística Empresarial – UCAM, Esp. em Engenharia de Suprimentos – Faculdade Única; ³ Física – FEV, Doutora em Ciência dos Materiais – UNESP; ⁴ Arquiteta e Urbanista – UNOESTE, Esp. em Engenharia de Segurança do Trabalho – UCAM; ⁵ Arquiteta e Urbanista – UNOPAR, Esp. em Gestão de projeto - UNIFIL, Mestre em metodologia de projeto – UEL; ⁶ Geógrafo – UFMS, Mestre em Geografia – UFMS; ⁷ Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL AEMS

* autor correspondente: marcosmhk@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho investiga a trajetória e o potencial da construção modular, uma técnica que remonta às antigas civilizações e que se desenvolveu significativamente ao longo do tempo. Recentemente, a construção modular tem se destacado pela reutilização de contêineres, proporcionando vantagens como redução de custos, menor impacto ambiental e agilidade na execução. No Brasil, embora ainda enfrente desafios como barreiras culturais, carências na infraestrutura logística e falta de equipamentos especializados, a construção modular pré-fabricada vem ganhando espaço. Entre os benefícios dessa abordagem estão a precisão na execução, previsibilidade dos prazos, aumento da segurança e promoção da sustentabilidade. O estudo sugere que a superação dos obstáculos atuais depende de investimentos em capacitação de mão de obra, avanços tecnológicos, e melhorias na infraestrutura, além da implementação de políticas públicas que favoreçam essa modalidade construtiva. A pesquisa conclui que, com essas ações, a construção modular pode se consolidar como uma solução viável e eficiente no setor da construção civil no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: construção modular; sustentabilidade; reutilização de contêineres.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem experimentado uma revolução significativa em busca de práticas mais eficientes, econômicas e sustentáveis. A utilização de containers e a construção modular pré-fabricada emergem como

opções viáveis, trazendo consigo uma série de vantagens e desafios (GROSSMAN, 2013; MILANEZE et al., 2012). Essas práticas inovadoras são a resposta à crescente demanda social por construções mais sustentáveis e acessíveis, e vêm ganhando cada vez mais espaço no mercado (FERREIRA, 2005).

Containers, originalmente utilizados para transporte marítimo, têm sido adaptados para a construção civil. A reutilização desses materiais descarta a necessidade de uso de cimento, tijolo, água e areia na construção, diminuindo significativamente a produção de entulhos (MILANEZE et al., 2012). Por outro lado, a construção modular pré-fabricada, que promove maior controle do processo construtivo, apresenta-se como uma alternativa de alta qualidade, eficiência e economia (GROSSMAN, 2013).

A utilização de containers na construção civil, no entanto, exige adaptações específicas, como revestimento adequado, cortes para a instalação de portas e janelas e sistemas hidráulicos e elétricos (MILANEZE et al., 2012). Já a construção modular pré-fabricada propõe um sistema construtivo padronizado que busca otimizar custos e recursos e reduzir o tempo de construção (CASTELO, 2008).

Ambos os métodos se destacam por sua adaptabilidade e flexibilidade. A construção modular e a utilização de containers permitem alterações rápidas e econômicas na morfologia das habitações, além de facilitar o comércio no mercado global, graças à compatibilidade das dimensões dos elementos do sistema com os containers marítimos convencionais (CASTELO, 2008).

Outra vantagem é a possibilidade de participação do proprietário no processo de montagem, o que reduz os custos de mão de obra e permite a personalização da habitação. Isso também promove um maior engajamento do proprietário, o que contribui para a valorização do imóvel e a sensação de pertencimento (FERREIRA, 2005).

Essas técnicas de construção também são flexíveis o suficiente para permitir modificações no projeto e a adição ou remoção de módulos conforme as necessidades do usuário, o

que é especialmente útil em uma sociedade em constante mudança (GREVEN; BALDAUF, 2007).

A construção modular e a reutilização de containers atendem à crescente demanda por práticas de construção mais sustentáveis. Essas técnicas minimizam a produção de resíduos, um problema ambiental significativo, ao reutilizar containers e pré-fabricar módulos, em vez de descartar materiais (GROSSMAN, 2013; YEANG, 1999). Além disso, a adoção dessas técnicas pode ter um impacto significativo na redução da pegada ecológica da indústria da construção civil. Elas contribuem para a conservação de recursos naturais, já que requerem menos matéria-prima em comparação com as técnicas de construção convencionais (MILANEZE et al., 2012). Além dos benefícios ambientais, a construção modular e a reutilização de containers também apresentam vantagens econômicas, pois permitem uma construção mais rápida e eficiente, o que pode reduzir os custos totais do projeto. Os custos de manutenção também podem ser menores, visto que os materiais utilizados são duráveis e resistentes (FERREIRA, 2005). No entanto, a adoção dessas técnicas de construção ainda enfrenta obstáculos, como resistência cultural e a necessidade de regulamentações específicas para garantir a segurança e a qualidade das construções modulares e feitas com containers (GROSSMAN, 2013). Para superar esses desafios, é essencial investir em pesquisa e desenvolvimento, atualizar regulamentações e promover a educação de profissionais e proprietários de imóveis sobre os benefícios dessas práticas.

É fundamental também criar incentivos para a adoção dessas técnicas, inclusive subsídios governamentais, créditos fiscais e programas de financiamento acessíveis. Ao tornar a construção modular e a reutilização de

containers mais acessíveis e atraentes, é possível acelerar a adoção dessas práticas e maximizar seus benefícios para a sociedade (MILANEZE et al., 2012; FERREIRA, 2005).

Outra estratégia para maximizar o potencial dessas técnicas é pela colaboração das diferentes partes interessadas, como fabricantes, fornecedores, arquitetos, engenheiros, proprietários de imóveis e órgãos reguladores. A cooperação permite superar obstáculos e compartilhar conhecimentos, facilitando a implementação e o aprimoramento das técnicas.

Em suma, a construção modular e a reutilização de containers têm o potencial de transformar a indústria da construção civil, tornando-a mais sustentável, eficiente e acessível. Para aproveitar ao máximo esse potencial, é necessário investir em pesquisa e desenvolvimento, atualizar regulamentações, educar profissionais e proprietários de imóveis, criar incentivos e promover a colaboração entre todas as partes interessadas. Dessa forma, é possível garantir que essas práticas inovadoras sejam amplamente adotadas e que seus benefícios sejam maximizados para o bem da sociedade e do meio ambiente.

Este trabalho tem como objetivo principal descrever as vantagens e desafios da construção modular pré-fabricada e da reutilização de containers na construção civil, com foco nas suas contribuições para a sustentabilidade, eficiência econômica e adaptação às demandas sociais atuais. Além disso, busca-se analisar as adaptações necessárias para a implementação desses métodos construtivos no Brasil e explorar as oportunidades e barreiras para sua adoção em larga escala.

A metodologia deste estudo incluiu uma revisão bibliográfica abrangente, analisando fontes acadêmicas e técnicas relevantes sobre construção modular e reutilização de containers.

Realizaram-se comparações entre estudos de caso nacionais e internacionais, com o objetivo de identificar melhores práticas e lições aprendidas. Adicionalmente, foram conduzidas entrevistas com profissionais da área e análise documental de regulamentações existentes para entender as necessidades de adaptação normativa e as percepções de mercado sobre essas técnicas.

2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA CONSTRUÇÃO MODULAR

A construção modular, apesar de sua origem ancestral, passa por inúmeras metamorfoses ao longo da história. Frequentemente, reduzida à ideia simplista de um processo construtivo baseado em módulos, caixas ou contêineres pré-fabricados, transportados e instalados no local de construção, a verdadeira essência da construção modular é de fato muito mais intrincada e versátil. Este conceito se apresenta especialmente adequado à arquitetura contemporânea, ao incorporar elementos de adaptabilidade e inovação (BREGATTO, 2008; CRUZ, 2007).

Desde tempos remotos, a arquitetura vem utilizando o módulo como unidade padrão, um padrão que pode ser rastreado desde as antigas civilizações egípcias, gregas e romanas até os estudos mais recentes do início do século XX. Arquitetos de renome, como Le Corbusier e Frenartu, aplicam um enfoque científico à utilização de dimensões padrão na arquitetura e na construção moderna. De acordo com Cruz (2007) e Bregatto (2008), a evolução da construção modular pode ser estruturada em três fases cronológicas, (i) desde os primórdios da humanidade e das primeiras civilizações humanas até o início do século XVIII; (ii) do início do século XVIII até a primeira metade do século XIX, período marcado pela Revolução Industrial e (iii) desde a

segunda metade do século XIX até os dias atuais.

Ao considerar a trajetória histórica da construção modular, torna-se evidente que o conceito ultrapassa a ideia superficial de módulos pré-fabricados. Como uma ferramenta arquitetônica, a construção modular exibe uma versatilidade ímpar, permitindo a adaptação a diversos contextos e proporcionando soluções inovadoras para a construção moderna. Esta dinamicidade se deve à contínua adaptação e reinterpretação do conceito de modularidade ao longo da história, desde as civilizações antigas até os pioneiros da arquitetura moderna do século XX (BREGATTO, 2008; CRUZ, 2007).

2.1 Período inicial: A era da antiguidade

Na antiguidade, a construção modular é intrínseca às práticas civilizatórias. Por exemplo, no Egito Antigo, existe uma clara relação modular entre as pirâmides e os blocos de pedra empregados em sua construção. Filho (2007) e Bregatto (2008) postulam que o módulo utilizado pelos egípcios está mais intimamente ligado às dimensões necessárias das pedras para a construção da pirâmide do que à capacidade de manobra dos trabalhadores.

A civilização grega, por sua vez, emprega a proporção dos elementos como forma de expressar a beleza e harmonia em suas construções (FILHO, 2007). Nos templos gregos, a unidade básica é o diâmetro das colunas. A multiplicação e divisão desse diâmetro geram todas as dimensões dos elementos e espaços que definem essa arquitetura (BREGATTO, 2008).

Na arquitetura grega, a altura das colunas deve ser seis vezes o diâmetro da base da coluna, e a altura do entablamento, um terço da altura da coluna. Sendo assim, a única proporção invariável reside na medida proporcional entre o diâmetro e a altura da coluna.

Embora o diâmetro das colunas possa variar entre diferentes edifícios, a proporção entre o diâmetro e a altura da coluna permanece constante (BREGATTO, 2005).

Os romanos adotam uma série de medidas antropométricas para a produção da maioria de seus elementos construtivos (BALDAUF, 2004). A cidade de Emona (hoje Liubliana, Eslovênia) é projetada com base em um módulo de 60 passus, o que resulta em dimensões finais de 360x300 passus (BREGATTO, 2008).

Durante a segunda metade da Idade Média, os japoneses incorporam uma dimensão base, conhecida como “ken”, em sua arquitetura residencial. Esta dimensão é padronizada para ser aplicada à arquitetura habitacional (BREGATTO, 2008). Essa medida evolui para uma trama modular que governa toda a estrutura, materiais e espaços da arquitetura japonesa. Neste sistema, a trama modular, chamada de *tatame*, é essencialmente um módulo retangular com proporções 1:2. As dimensões do *tatame* são baseadas em necessidades humanas, o que demonstra uma consideração profunda para com as necessidades e o conforto humanos na arquitetura (CHING, 1998 apud GREVEN; BALDAUF, 2007).

As dimensões do módulo do *tatame* permite uma disposição completamente livre de espaços retangulares. Isso implica que a organização espacial não está restrita a medidas rígidas, mas pode ser adaptada de acordo com as necessidades específicas de cada situação, conferindo grande flexibilidade ao projeto espacial arquitetônico (CHING, 1998 apud GREVEN; BALDAUF, 2007).

Os espaços podem ser organizados de várias formas, pois pode abranger modelos lineares, agrupados ou arbitrários, e ressalta a adaptabilidade e a versatilidade da construção modular (CHING, 1998 apud GREVEN;

BALDAUF, 2007). Essas características centrais da construção modular facilitam a criação de espaços especificamente ajustados às necessidades de seus usuários.

A análise de diferentes culturas e períodos históricos revela a adaptabilidade e a diversidade da construção modular ao longo do tempo e do espaço. Cada civilização, desde os egípcios até os japoneses, adota a construção modular de maneira que se adequa às suas necessidades específicas, recursos disponíveis e filosofias arquitetônicas. Assim, é importante destacar que a construção modular, tal como se conhece hoje, é fruto de milhares de anos de desenvolvimento e inovação. Ao estudar sua história, pode-se apreciar a profundidade e a complexidade desse conceito e como ele tem sido uma ferramenta valiosa para arquitetos e construtores ao redor do mundo (BREGATTO, 2008; FILHO, 2007; GREVEN; BALDAUF, 2007; BALDAUF, 2004; CHING, 1998).

2.2 Período secundário: A era da revolução industrial

Durante a Revolução Industrial, ocorre uma evolução significativa nos métodos de processamento de materiais, possibilitando o uso mais eficiente e sistemático de componentes como o aço e o vidro (BREGATTO, 2005). Esta época é marcada por avanços na industrialização que facilitam a produção em massa de elementos construtivos pré-fabricados, permitindo processos mais rápidos, eficazes e padronizados. Neste contexto, a construção modular obtém aplicação notável com o desenvolvimento do Palácio de Cristal, concebido por Joseph Paxton e construído entre 1850 e 1851 para a Exposição Universal de Londres (ROSSO, 1976). Esta estrutura impressionante, composta por elementos pré-fabricados de aço e vidro, abrange uma área de 71.500 m² e sua construção, em

virtude de seu design desmontável, é finalizada em um período surpreendentemente curto de apenas nove meses.

O Palácio de Cristal se destaca ao combinar uma variedade de componentes articulados através de uma rede modular, com a padronização e a industrialização destes elementos desempenhando um papel determinante nas restrições econômicas e temporais da construção (ROSSO, 1976). A dimensão dos módulos é definida pelas dimensões das placas de vidro produzidas na época, que são aproximadamente de 240 cm², resultando em uma malha modular que organiza os elementos em múltiplos e submúltiplos dessa unidade (GREVEN; BALDAUF, 2007).

Este marco arquitetônico é pioneiro, pois antecipa conceitos que se tornam predominantes cerca de um século depois, como a industrialização da construção, a substituição das dimensões métricas convencionais por dimensões modulares e a produção padronizada de elementos construtivos (BREGATTO, 2005). Assim, a Revolução Industrial é um período crucial na evolução da construção modular, sendo o Palácio de Cristal um exemplo significativo dessa transformação. Este edifício ilustra como a industrialização e a padronização são incorporadas à construção, antecipando as tendências atuais na indústria da construção (GREVEN; BALDAUF, 2007; BREGATTO, 2005; ROSSO, 1976).

2.3 Período final: A era contemporânea

A inauguração do Palácio de Cristal marca a emergência de uma era de construção, em que estruturas similares são construídas globalmente. A construção modular, implementada em residências, hospitais e estações de trem, experimenta queda após este período de expansão, porém é posteriormente

focada majoritariamente no mercado de casas pré-fabricadas (FILHO, 2007).

Nos Estados Unidos da América, há uma explosão no mercado de casas pré-fabricadas, predominantemente de madeira e produzidas em massa em fábricas (RAMOS, 2007; GAFFEY et al., 2006). Estas casas são vendidas em kits que podem conter até 30.000 peças, comercializadas por catálogos (GAFFEY et al., 2006). Mesmo sendo conhecidas por sua qualidade inferior e estética controversa, essas moradias se tornam uma solução habitacional significativa no mercado americano, devido ao seu custo competitivo (RAMOS, 2007).

No início do século XX, com o avanço da industrialização global, o setor de construção tem que se adaptar ao espírito de racionalismo e industrialização. Arquitetos como Le Corbusier, Walter Gropius e Alfred Farwell Bemis começam a focar seus estudos na pré-fabricação e na construção modular (RAMOS, 2007). Especificamente, Le Corbusier promove a pré-fabricação de moradias em vez das casas tradicionais, argumentando que as casas pré-fabricadas são mais flexíveis e adaptáveis às necessidades humanas (CHEMILLER, 1980 apud GREVEN; BALDAUF, 2007; RAMOS, 2007).

Le Corbusier projeta o sistema “Dom-Ino”, que consiste em módulos tridimensionais de concreto padronizados para produção industrial. Este sistema permite a construção de casas de até dois andares sem a necessidade de paredes mestras, possibilitando uma escolha livre de arquitetura interna (CASTELO, 2008).

Um exemplo adicional é a escola alemã de design, artes plásticas e arquitetura Bauhaus, fundada por Walter Gropius e George Mucho, que desenvolve um sistema de habitação modular chamado Haus am Horn (WEIMAR, 2009). Este sistema, criado para a exposição da escola em 1923, visa

proporcionar o máximo de conforto e distribuição de espaço pelo menor preço possível (RAMOS, 2007).

Em 1951, Jean Prouvé expande o conceito de pré-fabricação ao desenvolver vários projetos, incluindo a Tropical House, uma cabana tropical desmontável feita de alumínio. Nesse mesmo período, Alfred Bemis publica “The Evolving House”, introduzindo a primeira pesquisa sobre a utilização da modulação na construção civil, levando várias entidades norte-americanas e europeias a desenvolverem normas para a normalização da construção (BRE-GATTO, 2008).

Inspirado nas unidades de medida de civilizações antigas, Le Corbusier compõe “Modulor”, uma obra que estabelece um sistema de proporções fundamentado nas dimensões do corpo humano, na seção áurea e na sequência de Fibonacci (FILHO, 2007). Este sistema proporcional antropomórfico procura harmonizar as características humanas com as dimensões industrialmente produzidas (GREVEN; BALDAUF, 2007).

Ernest Neufert, por sua vez, conduz uma pesquisa sobre coordenação dimensional que resulta em um sistema octamétrico, cuja medida base de 12,5 cm é utilizada na reconstrução da Alemanha pós-Segunda Guerra Mundial (GREVEN; BALDAUF, 2007).

Em 1956, a Agência Europeia para a Produtividade (AEP) estabelece a dimensão padrão de 10 cm para os países que utilizam o sistema métrico, e 4 polegadas (10,16 cm) para os países que adotam o sistema pé-polegada. No entanto, na Alemanha, o sistema octamétrico, proposto por Neufert, ainda coexiste com o novo padrão (GREVEN; BALDAUF, 2007).

Essas inovações e adaptações exemplificam a contínua evolução da construção modular ao longo da história, demonstrando sua capacidade de se adaptar a mudanças tecnológicas, ne-

cessidades sociais e demandas econômicas. Atualmente, o legado desses pioneiros continua a exercer influência e a moldar a arquitetura e a construção contemporânea.

3 ARQUITETURA DO FUTURO: O papel dos contêineres na construção sustentável

A construção civil é uma área em constante transformação, adotando cada vez mais métodos inovadores que melhoram a eficiência e sustentabilidade. Uma tendência emergente é a utilização de contêineres como solução para vedações verticais na construção de edificações (ABNT NBR 15575-4, 2013). As vedações verticais, de acordo com a norma, são elementos que limitam verticalmente uma edificação e seus ambientes, como paredes externas e divisórias internas.

Para um desempenho eficaz, os sistemas de vedação precisam atender a critérios rigorosos, incluindo estabilidade, resistência mecânica, conforto térmico e acústico, resistência à água, controle da ventilação, proteção contra incêndios e durabilidade (ABNT, 2013). Surpreendentemente, os contêineres se encaixam nesses critérios, destacando-se pelo tempo de execução reduzido e facilidade de montagem. Os contêineres, originalmente projetados para transporte de cargas marítimas e ferroviárias, são fabricados com chapas metálicas duráveis, como aço, alumínio ou fibra (OCCHI, 2016). Depois de aproximadamente uma década de uso, esses contêineres são frequentemente reutilizados em diferentes áreas, como a construção civil, devido a regulamentações de segurança.

Essa reutilização de contêineres traz benefícios significativos para a construção civil. Inclui economia de custos, minimização de impactos ambientais e redução do tempo de execução da obra. No entanto, antes de

serem reutilizados, é essencial que os contêineres passem por um processo de descontaminação química (OCCHI, 2016). Existem vários tipos de contêineres disponíveis, mas na construção civil, os modelos *Dry* de 20 e 40 pés são os mais comumente utilizados (OCCHI, 2016). Embora as dimensões desses contêineres possam variar, são universalmente reconhecidos por sua robustez e capacidade de carga substancial.

A utilização de contêineres na construção civil proporciona inúmeros benefícios, como reutilização de materiais não biodegradáveis, robustez da estrutura do contêiner, economia de tempo e custos, e possibilidade de desmontar e remontar as estruturas em outros locais (OCCHI, 2016). Outro aspecto relevante é que os contêineres são recicláveis, contribuindo ainda mais para a sustentabilidade do processo.

Apesar dos benefícios, existem desafios inerentes ao uso de contêineres na construção civil. Entre eles, o conhecimento e a adesão às normas regulatórias e a necessidade de mão de obra especializada. Além disso, certas limitações do terreno podem dificultar a movimentação do guindaste necessário para transportar os contêineres. Ainda assim, a construção com contêiner pode oferecer economias significativas quando comparada à construção tradicional. Essa economia pode variar de 20-40%, levando em consideração as economias em custos de transporte, tratamento térmico e acabamentos. Além disso, a prática promove a sustentabilidade, evita a produção excessiva de resíduos de construção e reduz o uso excessivo de água (XAVIER, 2015).

Embora os custos iniciais para a implementação de uma obra com contêineres possam ser comparáveis aos de uma construção convencional, a economia de tempo proporcionada pela arquitetura modular é considerável (XAVIER, 2015). Com a estrutura básica

já disponível, a obra pode ser executada em um período de tempo substancialmente reduzido, o que representa um retorno mais rápido do investimento. A construção com contêineres é inegavelmente um método sustentável e eficiente que traz benefícios ambientais significativos. Há uma redução notável na produção de resíduos de construção e outros materiais, resultando em um canteiro de obras mais limpo. Além disso, a obra geralmente é concluída em um prazo entre 60-90 dias, representando uma economia notável de recursos naturais, pois o uso de areia, tijolo, cimento, água e ferro é substancialmente reduzido.

Reutilização de materiais é um dos principais pilares da sustentabilidade, e a construção com contêineres incorpora esse conceito de maneira significativa. Ademais, essa prática oferece uma flexibilidade incomparável, pois as estruturas podem ser desmontadas e remontadas em outro local, caso necessário. Por fim, a natureza modular e geométrica dos contêineres permite uma variedade de configurações de *layout*, facilitando o processo de construção e montagem. Portanto, apesar de alguns desafios, a construção com contêineres representa uma alternativa inovadora e sustentável para a habitação moderna, alinhada com os princípios de economia circular e eficiência na utilização dos recursos.

4 A EFICIÊNCIA DA CONSTRUÇÃO MODULAR: Avanço tecnológico e sustentabilidade na construção civil brasileira

A inovação no setor da construção civil vem ganhando relevância crescente, especialmente no que se refere à construção modular pré-fabricada. Essa abordagem, embora não seja inédita, tem conquistado espaço notável no cenário brasileiro, impulsionada pelos benefícios que proporciona, como a

precisão e a previsibilidade nos processos de fabricação (JORGE, 2020).

A construção modular representa uma evolução significativa na forma de projetar e edificar. Contudo, como qualquer avanço inovador, depara-se com resistências, majoritariamente de natureza cultural. Empresas que almejam incrementar a eficiência e a racionalidade nas tomadas de decisão vêm começando a reconhecer as vantagens desse sistema construtivo (JORGE, 2020).

Segundo Jorge (2020), há dez principais razões para a implantação da construção pré-fabricada no Brasil. Dentre elas, destaca-se a alta qualidade do produto final, a diminuição de ciclos e prazos na realização da obra, a maior liquidez nas vendas e a redução do custo financeiro devido à otimização do orçamento da obra. Ademais, a construção modular proporciona uma melhor previsão de custos e prazos, diminui a necessidade de mão de obra especializada no canteiro de obras e gera empregos de melhor qualidade. Além disso, a construção modular é sustentável, atributo cada vez mais valorizado na sociedade atual. Este sistema construtivo permite uma redução quase total de desperdícios de material, contribuindo para a preservação do meio ambiente. O processo de produção é mais sustentável, com menos perdas e menos geração de poluição.

A eficiência da construção modular deriva da padronização dos projetos, que permite o controle do processo e a negociação antecipada de materiais adquiridos em grande quantidade. Isso torna as construções modulares competitivas em termos de custo em relação às construções tradicionais. Além disso, os módulos são projetados para serem resistentes, suportando os movimentos de guindastes e transferências.

A ascensão desta construção pré-fabricada é ainda mais facilitada pelas novas tecnologias. O *Building Informa-*

tion Modeling (BIM), a inteligência artificial e a impressão 3D estão entre as tecnologias que estão impulsionando essa tendência. Especificamente, o BIM oferece benefícios significativos, como a interoperabilidade, a oportunidade de testar soluções previamente e a organização de informações.

A segurança do trabalho é outra área que é otimizada na construção modular. Métodos como o estudo de perigos e operabilidade podem ser empregados com maior engajamento, e a exposição a condições adversas de trabalho é significativamente reduzida. No entanto, no Brasil, apesar de todos esses benefícios, a construção modular pré-fabricada enfrenta vários desafios. Um dos principais é a resistência cultural e o preconceito contra a construção pré-fabricada. Outras barreiras incluem o papel social da construção em absorver mão de obra não qualificada, o regime de tributação que privilegia o consumo convencional, criando assim obstáculos para a construção industrializada, e ainda a logística e infraestrutura deficientes em muitas regiões (JORGE, 2020).

A cadeia de fornecimento também apresenta desafios significativos, como o baixo nível de cooperação, a escassez de equipamentos e a dependência da importação de materiais. A formação e a qualificação profissional, que se mostram deficientes em todos os níveis da construção civil, surgem como mais um obstáculo relevante para a expansão da construção modular no país.

Adicionalmente, o custo mais elevado de alguns materiais industrializados, decorrente de uma política tributária defasada em relação à tecnologia, constitui outra barreira para a adoção desse sistema construtivo. Essa situação se agrava quando levamos em consideração o fluxo de desembolso mais breve, que leva à demanda por alternativas de financiamento distintas das atualmente disponíveis (JORGE,

2020). A necessidade de integração em BIM entre a coordenação modular e a normalização, ainda incipientes em todo o Brasil, também se apresenta como uma barreira significativa para a adoção da construção modular pré-fabricada em maior escala. Esse fator ressalta a necessidade de investimentos em formação e tecnologia para possibilitar a plena adoção deste sistema construtivo. Em suma, a construção modular pré-fabricada se apresenta como uma alternativa inovadora e promissora para o setor da construção civil no Brasil. Apesar das barreiras existentes, os benefícios, que englobam a previsibilidade de custos, a eficiência no processo construtivo, a sustentabilidade e a segurança no trabalho, são aspectos que, indubitavelmente, contribuem para o seu potencial de adoção. Assim, é crucial que se busque superar os desafios, investindo em formação, tecnologia e políticas públicas que favoreçam essa tendência.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que diante do exposto no presente estudo é evidente que a construção modular e a reutilização de contêineres se tornaram importantes na construção civil atual. Eles representam uma inovação prática, econômica e sustentável que alia eficiência e resiliência. Com origens na antiguidade, a evolução desse modelo ao longo do tempo demonstra a capacidade da humanidade de adaptar e aprimorar as técnicas de construção para atender às necessidades e desafios contemporâneos (CRUZ, 2007). Entretanto, a adoção em larga escala desse modelo de construção ainda enfrenta obstáculos significativos, especialmente no Brasil. Desafios culturais, logísticos e regulatórios estão entre os principais entraves a serem superados para tornar a construção modular mais acessível e popularizada. Portanto, é fundamental

investir em formação e educação profissional, além de melhorar a infraestrutura logística e incentivar políticas públicas favoráveis (JORGE, 2020).

A utilização de contêineres na construção civil brasileira, especificamente, apresenta uma oportunidade significativa para a modernização e sustentabilidade do setor. Este modelo de construção oferece diversos benefícios, como economia de recursos, redução no tempo de construção e melhoria na segurança do trabalho. Com investimento adequado e estratégias eficazes, a construção modular tem o potencial de transformar a indústria da construção civil no Brasil (JORGE, 2020).

A construção modular e o uso de contêineres são exemplos claros de como a inovação e a adaptação podem impactar positivamente a arquitetura e a construção civil. A evolução contínua dessa abordagem desde a antiguidade até os dias atuais ressalta o potencial significativo para crescimento e desenvolvimento futuros. À medida que a sociedade continua a enfrentar desafios complexos, como a crise climática, a construção modular surge como uma solução viável e sustentável (BREGATTO, 2008).

Por fim, é vital reconhecer o papel fundamental dos arquitetos, pesquisadores e profissionais da indústria que contribuíram para o avanço da construção modular ao longo da história. Seu trabalho inovador e visão de futuro ajudaram a pavimentar o caminho para onde estamos hoje. Para garantir um futuro sustentável, a indústria da construção civil deve continuar aprendendo com esses legados e inovando nesta área (WEIMAR, 2009).

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 15575-4_2013. Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas

e externas – SVVIE. Disponível em: <http://360arquitetura.arq.br/wp-content/uploads/2016/01/NBR_15575-4_2013_Final-Sistemas-de-veda%C3%A7%C3%B5es-verticais-internas-e-externas.pdf>. Acesso em: 15 maio 2023.

BALDAUF, A. S. F. Contribuição à implementação da coordenação modular na construção do Brasil Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BREGATTO, P. R. Coordenação modular: breve história e aspectos importantes. In E. d. ULBRA (Eds.), Documentos de Arquitetura: traços e pontos de vista (Google Books), 2005.

BREGATTO, P. R. (2008). Coordenação modular - Parte I, II e III. Retrieved Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://bregatto.blogspot.com>>. Acesso em: 20 maio 2023.

CASTELO, J. L. D. C. Desenvolvimento de modelo conceptual de sistema construtivo industrializado leve destinado à realização de edifícios metálicos. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

CHEMILLER, P. Industrialización de la Construcción. Barcelona: Editores técnicos asociados. 1980.

CHING, F. D. K. Arquitectura: forma, espacio y orden. México: GG, 1998.

CRUZ, H. Estruturas de madeira lamelada cortada em Portugal. Instrumentos para a garantia da qualidade, Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas Série II nº8 Dezembro 2010. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2007.

FERREIRA, M. A. (2005).

Apontamentos: Sistemas Construtivos Inovadores. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/36374474/08-Sistemas-construtivosinovadores>>. Acesso em: 16 maio 2023.

FILHO, I. C. S. A Coordenação modular como uma ferramenta no processo projetual. Tese de Mestrado, Universidade Luterana do Brasil, 2007.

GAFFEY, D. et al. Reconstruction Symposium: Modular Building Systems Association, 2006.

GREVEN, H.; BALDAUF, A. Introdução à coordenação modular da construção no Brasil: uma abordagem actualizada, Coleção Habitare v. 9, 2007.

GROSSMAN, D. GEO-5 para o Setor de Negócios: Impactos de um meio ambiente em mudança sobre o setor corporativo. PNUMA Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2013.

JORGE, L. P. Construção modular pré-fabricada, o futuro da arquitetura no Brasil. 2020.

MILANEZE, G. L. S. et al. A utilização de containers como alternativa de habitação social no município de Criciúma/SC. 1º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense – SICT-Sul. Rev. Técnico Científica (IFSC), v. 3, n. 1, 2012.

OCCHI, T. Uso de containers na construção civil: viabilidade construtiva e percepção dos moradores de Passo Fundo-RS. Revista de arquitetura IMED, v. 5, n. 1, p.16-27, jan-jun. 2016.

RAMOS, A. T. Prefab perfection. Essential Lisboa, 20, 2007.

ROSSO, T. Teoria e prática da coordenação modular. São Paulo: FAUUSP. WEIMAR, B. U. Haus am Horn, 2009.

XAVIER, M. M. 10 perguntas que você sempre quis fazer sobre casa container. MINHA CASA CONTAINER. 13 jan. 2015.

YEANG, K. Proyectar com la natureza: bases ecológicas para el projecto arquitectónico. Barcelona: GG, 1999.