

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS
TRADICIONAL E MODULAR A PARTIR DO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0**

Andreia do Socorro Conduru de Sousa

(Doutora em Engenharia Civil, formada pela Universidade Federal do Pará - UFPA).

Amanda Richene Bentes

(Concluinte do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Estado do Pará).

Sofia Vasconcelos Gadelha Barbosa

(Concluinte do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Estado do Pará).

RESUMO

A indústria da construção civil, fundamental para a economia brasileira, enfrenta desafios consideráveis devido à falta de modernização tecnológica. Neste momento, as atividades nesse setor demonstram baixos níveis de produtividade e eficiência em todo o processo devido à extensa dependência do trabalho manual, frequentemente associado a esforço físico intenso, características ainda predominantes da construção tradicional. Diante desse cenário, a indústria busca ativamente métodos inovadores para dinamizar e aprimorar seus processos. O propósito vai além do aprimoramento do desempenho e da qualidade das edificações, abrangendo também a redução dos impactos ambientais associados. A partir disso, a construção modular se apresenta não apenas como uma alternativa, mas assume um papel de destaque ao configurar-se como uma via estratégica para a transformação da indústria da construção em uma entidade contemporânea e eficiente. Ao abraçar a abordagem modular, o setor consegue reagir às exigências atuais por eficiência e qualidade, e também, de maneira mais significativa, alinhar-se prontamente com a visão de um futuro no qual a construção se torna uma indústria ágil, sustentável e altamente produtiva. Assim sendo, o escopo deste trabalho consiste em realizar uma análise comparativa entre o sistema construtivo tradicional e o sistema off-site, com a finalidade de determinar qual deles atende de maneira mais eficaz às demandas atuais do setor da construção civil. O objetivo principal é avaliar quais desses sistemas proporcionam um diferencial significativo por meio de sua adoção e apresentam o melhor custo-benefício. A intenção é, desse modo, identificar formas de impulsionar e aprimorar o mercado da construção civil, garantindo que as escolhas em relação aos métodos construtivos sejam estrategicamente alinhadas com as necessidades e os desafios do setor, promovendo, assim, sua contínua evolução e sucesso.

PALAVRAS-CHAVE: Indústria 4.0; Construção Tradicional; Construção Modular; Sistema *Off-site*.

ABSTRACT

The civil construction industry, crucial to the Brazilian economy, faces significant challenges due to a lack of technological modernization. Currently, activities in this sector demonstrate low levels of productivity and efficiency throughout the process due to extensive reliance on manual labor, often associated with intense physical effort, which are still predominant characteristics of traditional construction. In this scenario, the industry actively seeks innovative methods to streamline and enhance its processes. The purpose extends beyond improving the performance and quality of buildings, encompassing the reduction of associated environmental impacts. In light of this, modular construction not only emerges as an alternative but also assumes a prominent role by positioning itself as a strategic pathway for transforming the construction industry into a contemporary and efficient entity. By embracing the modular approach, the sector can respond to current demands for efficiency and quality, and more significantly, align promptly with the vision of a future where construction becomes an agile, sustainable, and highly productive industry. Therefore, the scope of this work involves conducting a comparative analysis between traditional construction systems and off-site systems to determine which one effectively meets the current demands of the civil construction sector. The main objective is to evaluate which of these systems provides a significant advantage through its adoption and offers the best cost-benefit ratio. The intention is to identify ways to drive and enhance the civil construction market, ensuring that choices regarding construction methods are strategically aligned with the needs and challenges of the sector, thereby promoting its continuous evolution and success.

KEYWORD: Industry 4.0; Traditional Construction; Modular Construction; Off-site System.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil, embora seja reconhecida como um dos segmentos mais vibrantes da economia, enfrenta desafios significativos no que diz respeito à modernização tecnológica. Em geral, a execução das atividades ainda depende predominantemente do trabalho manual, muitas vezes caracterizado por esforço físico intensivo, o que incide diretamente em baixos índices de produtividade e eficiência de todo o processo (Brasil, 2016).

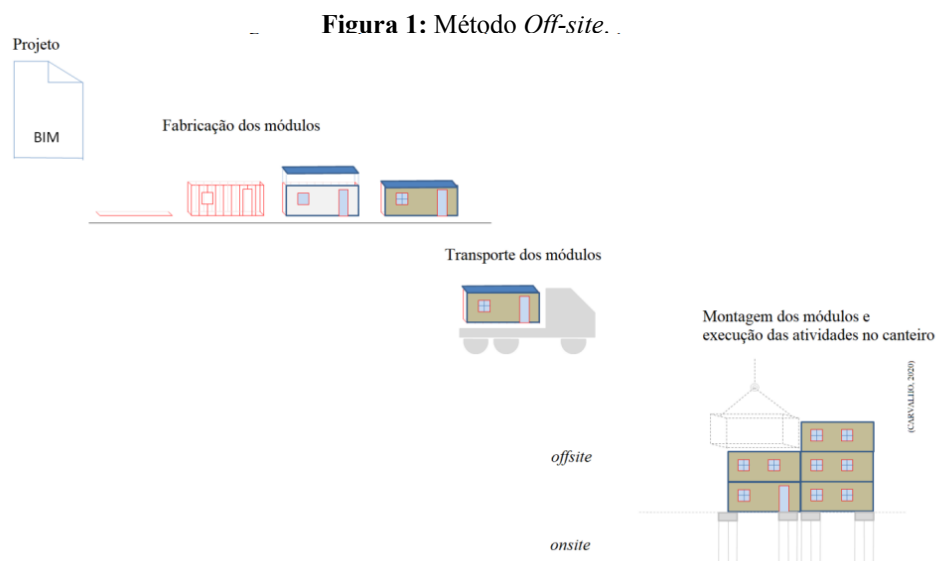
Em um cenário de rápidas transformações tecnológicas, a indústria da Construção Civil se encontra em um processo significativo de renovação. Em busca de soluções inovadoras que não apenas melhorem o desempenho e a qualidade das edificações, mas também reduzam os impactos ambientais associados, diante disso, a Construção Modular aparece como uma resposta concreta e promissora. Esta abordagem emergente está moldando um caminho mais sustentável e eficiente para a construção, alinhando-se com as demandas contemporâneas por processos mais dinâmicos e edificações mais avançadas.

A evolução de técnicas construtivas mais eficazes visa não apenas aprimorar a eficiência do processo construtivo nacional, mas também encurtar os prazos de conclusão das obras, estabelecer padrões rigorosos de controle de qualidade e reduzir tanto a geração de resíduos quanto o desperdício de materiais. Além disso, a industrialização resulta em uma redução considerável tanto no número de trabalhadores e subcontratados envolvidos na obra quanto na quantidade de materiais estocados e transportados, o que aprimora o fluxo da construção e alivia as preocupações do empreiteiro. Um objetivo fundamental na busca pela industrialização é a redução dos custos de execução, o que é grandemente viabilizado através da produção em escala ampliada (Fabricio, 2013).

Formado no ano de 1983, o Modular Building Institute (MBI) é um clube, comercial e internacional que analisa, há 40 anos, o avanço industrial da construção modular, sem fins lucrativos. Dessa forma, com a missão de expandir a prática da construção modular através de construção inovadoras, divulgação e educação, o MBI define a Construção Modular como:

Um processo no qual um edifício é construído fora do local, produzindo “módulos” que, quando montados no local, refletem a mesma intenção e especificações do projeto de instalações construídas no local, mas em cerca de metade do tempo (MBI, 2023).

Então, pode-se entender que a Construção Modular se configura como um sistema off-site, no qual componentes ou seções são fabricados em ambiente controlado, para posterior transporte e montagem no local da obra, como ilustrado na Figura 1. Esta abordagem reduz significativamente o desperdício de insumos e a geração de resíduos no canteiro, resultando em um ambiente de trabalho mais limpo e organizado (Oliveira, 2020a).



Fonte: Carvalho (2020).

De acordo com Degani (2022), a implementação da construção enxuta já está em curso no Brasil. Apesar disso, a construção tradicional, marcada pelo uso predominante de estruturas de concreto armado juntamente à alvenaria de bloco cerâmico para vedação tanto externa quanto interna, mantém uma forte presença, enraizada culturalmente e resulta em enormes volumes de resíduos e desperdício de materiais, acarretando diversos danos ambientais, além de baixa produtividade. Essa preferência tem afastado o mercado da construção das vantagens e inovações oferecidas pela Indústria 4.0, impedindo o aproveitamento das tecnologias emergentes, das melhorias nos processos e da consequente maximização da produtividade.

Com base nos fatores esclarecidos, o escopo deste trabalho consiste em realizar uma análise comparativa entre o sistema construtivo tradicional e o sistema off-site, com a finalidade de determinar qual deles atende de maneira mais eficaz às demandas atuais do setor da construção civil. Deste modo, avaliar quais desses sistemas proporcionam um diferencial significativo por meio de sua adoção e apresentam o melhor custo-benefício. A intenção é, com isso, identificar formas de impulsionar e aprimorar o mercado da construção civil, garantindo que as escolhas em relação aos métodos construtivos sejam estrategicamente alinhadas com as necessidades e os desafios do setor, promovendo, assim, sua contínua evolução e sucesso.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é conhecida como a quarta revolução industrial e refere-se a um conceito que impulsiona o desenvolvimento de "Fábricas Inteligentes". Essas fábricas possuem estruturas flexíveis e modulares, permitindo que módulos sejam acoplados ou desacoplados de acordo com a demanda prevista. Os sistemas ciber-físicos monitoram os processos físicos, criam uma representação virtual do mundo físico e tomam decisões descentralizadas. Em resumo, a Indústria 4.0 representa a realidade em que a tecnologia industrial se torna cada vez mais eficiente: mais inteligente, ágil e precisa, como mostra a Figura 2 (Oliveira, 2021a).

Figura 2: Pilares da Indústria 4.0.



Fonte: Tecnicon Sistemas Gerenciais (2022).

No Brasil, a adoção da Indústria 4.0 ainda é bastante limitada. De acordo com uma pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) sobre a adoção de tecnologias digitais na manufatura avançada, constatou-se que a indústria brasileira ainda está explorando discretamente a digitalização e não está aproveitando os ganhos de produtividade que ela oferece.

Estudos realizados pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), mostram que a implementação da Indústria 4.0 poderia levar a uma redução anual mínima de R\$73 bilhões nos custos industriais no Brasil. Desse total, 48% seriam provenientes de ganhos de eficiência, 42% da redução dos custos

de manutenção de máquinas e 10% da redução do consumo de energia. Essa melhoria na eficiência teria um impacto significativo na posição do país no ranking global de competitividade.

Além de impulsionar a modernização do setor da construção no Brasil e enfrentar desafios que requerem ganhos de produtividade excepcionais, a adoção de novas abordagens traz uma série de outros benefícios. Entre eles, destaca-se a produção em um ambiente controlado, dentro de fábricas com processos padronizados. Isso resulta em uma melhoria significativa na qualidade e desempenho das construções, reduzindo retrabalho e diminuindo os custos de operação e manutenção ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos. Com a aplicação dessas abordagens, é possível compactar prazos em até 50% e reduzir os custos em até 20% (Oliveira, 2021b).

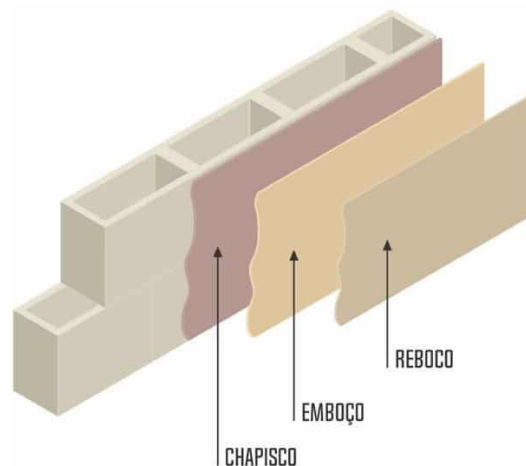
Em conclusão, ao investir em programas de difusão tecnológica e aprimorar a infraestrutura, é possível criar um ambiente de trabalho mais favorável e levar o Brasil a um novo patamar econômico. Essas medidas também resultam na redução dos custos de manutenção de equipamentos e consumo de energia, além de aumentar a eficiência no trabalho e garantir maior segurança para os profissionais envolvidos na fabricação e montagem, assim como para as pessoas e edificações próximas ao local do canteiro de obras.

2.2 Conceitos da Construção Tradicional

De acordo com Vasques (2014, p.3):

O sistema convencional é formado por pilares, vigas e lajes de concreto armado, sendo que os vãos são preenchidos com tijolos cerâmicos para vedação (...) Após a construção das paredes, é preciso rasgá-las para embutir as instalações hidráulicas e elétricas. A etapa de revestimento, como ilustrada na Figura 3, caracterizada pela aplicação do chapisco, massa grossa (emboço), massa fina (reboco) e pintura, deve ser iniciada em seguida.

Figura 3: Revestimento de paredes em alvenaria de bloco cerâmico.



Fonte: Total Construção (2020).

Então, entende-se como construção tradicional um método de construção que é baseado em técnicas e materiais que têm sido utilizados ao longo de muitos séculos e que são frequentemente passadas de geração em geração. A utilização de tijolos como elementos fundamentais para o desenvolvimento vertical das edificações, possui uma história milenar e continua a desempenhar um papel significativo no setor da construção civil até os dias de hoje (Oliveira, 2021b).

Prudêncio (2013) aponta que o sistema construtivo em questão é inteiramente artesanal, apresentando características de baixa produtividade e desperdício significativo de materiais. Isso ocorre devido à execução de todas as etapas construtivas *in loco*, o que acaba tornando a conclusão do projeto um processo bastante demorado, como pode se ver na Figura 4. Além disso, é importante ressaltar que uma parcela considerável da

mão de obra empregada nesse sistema é despreparada, resultando em excesso de desperdício de materiais e retrabalho.

Figura 4: Sistema Construtivo Tradicional.



Fonte: Entenda Antes - O Mundo da Construção (2021).

No Brasil, a estrutura tradicional continua sendo a mais amplamente utilizada devido à sua enorme popularidade. Dados coletados pela Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílio (PNAD – Contínua), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), mostram que a alvenaria é encontrada em mais de 80% das residências brasileiras, variando apenas o tipo de revestimento utilizado, ou seja, mais de 62 milhões de brasileiros usam esse material para construir suas casas.

Essa predominância do uso de alvenaria de tijolo cerâmico é devido à uma questão cultural e pelo baixo custo de produção do tijolo, visto que a matéria prima do referido material é de fácil acesso em quase todas as regiões do país, ou seja, apesar de apresentar diversas falhas, o sistema tradicional ainda é confiável e continua sendo responsável por grande parte das obras residenciais, comerciais e industriais, por uma questão de hábito (Borges, 2019).

Segundo Leite (2015), é cada vez mais crescente as exigências em relação aos prazos, isso ocorre devido ao fato de se tratar de um processo permeado por incertezas e imprevisibilidades, se tornando um dos fatores determinantes para a competitividade das empresas. Ademais, as questões ambientais e energéticas são consideradas como grandes desafios enfrentados pelo setor.

Dessa forma, a metodologia convencional de construção apresenta sua velocidade comprometida em razão do seu baixo nível de industrialização e ao uso de ferramentas de baixa tecnologia, como colheres de pedreiro para a projeção de argamassa, níveis de bolha, prumos de face, entre outros. Vale ressaltar também que a implementação desse sistema requer um tempo de espera prolongado devido às características dos materiais utilizados, como concretos e argamassas, que demandam tempo de secagem e cura. Além disso, existe uma dependência entre as etapas, o que implica na finalização de uma etapa para o início de outra (Alvez, 2015).

Portanto, devido à alta quantidade de resíduos gerados, retrabalho frequente, lentidão no sistema de produção, baixa eficiência energética e impacto ambiental, bem como os atrasos nos projetos e cronogramas das obras, torna-se imperativo que o setor da construção civil busque por melhorias significativas. Isso pode ser alcançado por meio da adoção de novas técnicas construtivas, utilização de materiais mais eficientes e implementação de processos mais industrializados. Ao otimizar esses métodos, será possível garantir a qualidade das construções e minimizar os impactos negativos causados por esses problemas.

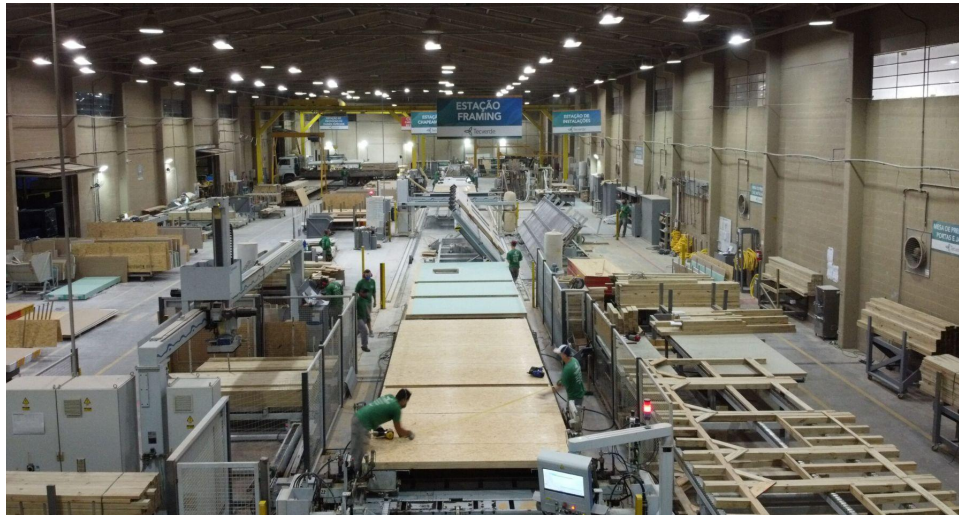
2.3 Conceitos da Construção Modular

Segundo o Modular Building Institute (MBI), a construção modular é caracterizada como um método ou processo de construção em que os módulos individuais são produzidos de forma independente e

posteriormente montados em conjunto para formar estruturas maiores. Então, pode-se entender que a Construção Modular é um sistema *off-site*, no qual peças ou seções são produzidas em fábrica e posteriormente conduzidas ao local da obra.

Conforme mencionado anteriormente, o sistema *off-site* concentra a maior parte de suas etapas de produção em ambientes fabris, tal como ilustrado na Figura 5, o que se traduz em uma notável vantagem em termos de velocidade na execução da obra. No entanto, devido à natureza construtiva desse sistema, que envolve a conexão de diversas partes do edifício, a gestão cuidadosa na fase de projeto é de fundamental importância. O desenho deve ser seguido à risca no processo produtivo a fim de garantir que não haja problemas na etapa de montagem (Pereira, 2022).

Figura 5: Fabricação de placas modulares em madeira (Wood Frame).



Fonte: TecVerde Construções Eficientes (2021).

Além disso, uma vez que a execução requer mão-de-obra qualificada, é relativamente incomum que ocorram problemas na fase de montagem dos módulos ou painéis. No entanto, um dos aspectos mais críticos do processo reside no transporte das peças para o local da obra. Nesse sentido, é necessário um planejamento cuidadoso e logística eficaz para garantir que as peças sejam entregues de forma segura e oportuna, evitando atrasos no cronograma da construção.

Conseqüentemente, quando há um controle mais rigoroso de todo o processo construtivo, é possível notar não apenas uma maior eficácia na redução dos custos de produção, mas também na minimização do desperdício, o que acarreta impactos positivos em termos de sustentabilidade (Peretti *et al.*, 2013). Essa abordagem integrada e eficiente se traduz em benefícios econômicos e ambientais, contribuindo para uma construção mais sustentável e responsável.

De acordo com Oliveira (2020b), a construção modular oferece uma série de vantagens comparado à construção tradicional, tais como:

- Melhor controle e redução dos prazos de projeto e construção, graças à fabricação e montagem compactadas;
- Rapidez e segurança, resultando em previsibilidade no cumprimento de custos e prazos;
- Montagem rápida no local, com poucos trabalhadores especializados, minimizando atrasos causados por condições climáticas desfavoráveis e reduzindo a necessidade de gerenciar uma grande quantidade de mão de obra direta;
- Possibilidade de adicionar novos espaços e módulos de forma fácil no futuro;
- Qualidade e desempenho superiores, reduzindo riscos, retrabalho e custos de operação e manutenção;
- Redução do desperdício de materiais e a geração de resíduos no canteiro de obras, resultando em um ambiente de trabalho mais limpo e organizado, como ilustrado na Figura 6.

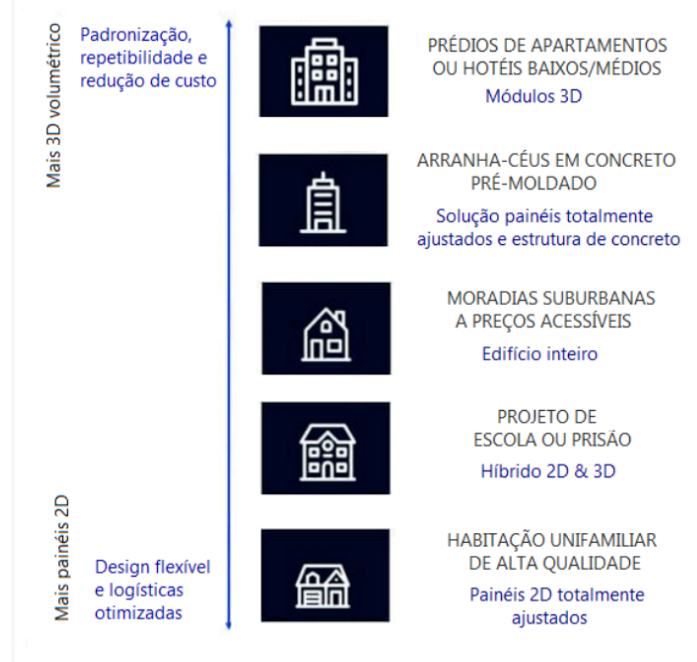
Figura 6: Construção civil utilizando sistemas modulares industrializados de aço.



Fonte: González (2011).

Existem três classes principais que categorizam a construção modular, levando em conta a complexidade dos elementos envolvidos. A Figura 7 apresenta opções mais adequadas com base nas premissas de diferentes tipos de projetos. Cabe ao construtor avaliar a classe que melhor se adapta à sua realidade, levando em consideração os custos, a eficiência e os prazos a serem alcançados.

Figura 7: Especificações do projeto e respectivas soluções modulares.



Adaptado de: Bertram *et al.*, (2019).

2.4 Sistema em painéis (2D)

De modo geral, os painéis pré-fabricados são equipados com as instalações, revestimento e acabamento necessários no local onde serão utilizados, após a sua instalação (Tzourmakliotou, 2021). Durante o processo de fabricação, são providenciados orifícios para permitir a passagem posterior de conduítes, tubulações e conectores. Isso simplifica a montagem das unidades em comparação com o método convencional (Bertram *et al.*, 2019).

2.5 Sistema volumétrico (3D)

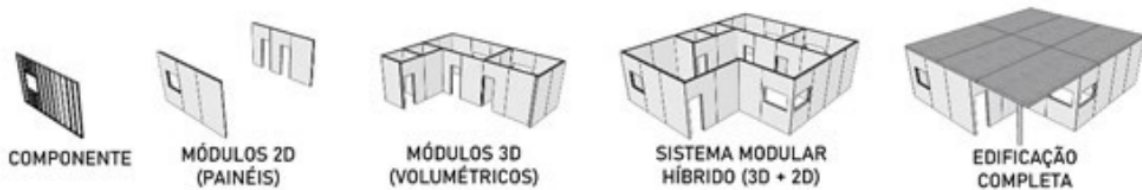
Os módulos pré-projetados e pré-fabricados, principalmente feitos de madeira e aço, podem ser utilizados isoladamente ou em conjunto, formando uma estrutura tridimensional. Após o transporte, eles são fixados e encaixados entre si para compor o projeto final (Tzourmakliotou, 2021). Esses módulos já recebem as instalações prediais, incluindo os itens do banheiro, e também possuem o revestimento das paredes e pisos aplicados na fábrica.

Essa abordagem é particularmente interessante para unidades que possuem designs repetíveis, como casas familiares, prédios universitários e faculdades (Tzourmakliotou, 2021). A principal desvantagem é o desperdício de espaço durante o transporte, já que o interior dos módulos contém ar livre. No entanto, a montagem é significativamente mais rápida e eficiente, o que resulta em um custo final mais baixo em comparação com a construção tradicional (Bertram *et al.*, 2019).

2.6 Sistema híbrido (2D + 3D)

Ao combinar painéis com unidades volumétricas, é possível aproveitar os benefícios de ambas as modalidades. A proposta é padronizar ambientes que se repetem, como banheiros, por meio das unidades volumétricas, enquanto se permite flexibilidade no design de outros cômodos, utilizando painéis (Bertram *et al.*, 2019). O desafio está em gerenciar a cadeia de produção e estabelecer a conexão entre os diferentes elementos (Tzourmakliotou, 2021).

Figura 8: Métodos de Construção Modular.



Fonte: *Construção Modular: Uma Visão Sobre Conceitos, Sistemas Construtivos e Barreiras à Industrialização da Construção*

No período compreendido entre 2017 e 2019, consultorias internacionais de renome, a exemplo da Deloitte e McKinsey, direcionaram uma atenção significativa para a construção modular, destacando-a como a próxima grande revolução no setor da construção. O que essas consultorias reconhecem é que a construção modular possui um potencial substancial para solucionar questões prementes que afligem a construção tradicional, em particular, problemas relacionados à qualidade, incertezas no cumprimento de prazos e ao controle dos custos planejados. Essas questões têm sido apontadas como fonte de inúmeras insatisfações entre os clientes, afetando adversamente a reputação do setor e, adicionalmente, afastando investidores que preferem alocar seus recursos em setores onde a incerteza em relação ao retorno esperado do capital investido seja menor. A construção modular, de acordo com essas consultorias, oferece uma alternativa que aborda diretamente essas preocupações, promovendo, assim, a renovação do setor da construção.

3 METODOLOGIA

A execução do trabalho inicia-se com uma pesquisa exploratória e descritiva fazendo estudos e levantamentos de dados sobre a realidade de mercado da construção civil atual, tanto em nível nacional, quanto local, além de abordar conceitos e teorias referente à indústria modular, as possibilidades, benefícios e vantagens, a fim de fundamentar teoricamente a investigação proposta. Para isso, foram analisadas pesquisas bibliográficas, estudos divulgados, dados oficiais e acadêmicos. Esse embasamento inicial foi necessário para a contextualização do tema em discussão.

Após a primeira etapa do trabalho concluída, foi realizado um estudo comparativo, que de acordo com Moretti (2023), esta abordagem de pesquisa se concentra, como o próprio nome já aponta, na análise comparativa, a qual, tem como finalidade examinar e contrastar uma variedade de fenômenos, eventos, ações,

sociedades, instituições, etc., a fim de ampliar o conhecimento, embasar decisões, reconhecer dados específicos e traçar uma compreensão mais aprofundada do tema abordado.

Tal análise ocorreu em cima de um orçamento de uma obra de um edifício corporativo da região do Estado do Pará, cujo início ocorreu no ano de 2019. Ao longo da construção do empreendimento foi utilizado os dois métodos construtivos pesquisados e explorados durante todo o trabalho, que por esse motivo é caracterizado como um edifício misto e, junto a isso, foram utilizados outros estudos e materiais que também abordam a temática e ajudaram a fundamentar todo o processo de análise e discussões. Posteriormente a isso, itens foram selecionados para serem minuciosamente analisados para assim, dar início ao estudo comparativo.

Dessa forma, a simulação comparativa do custo, do prazo, do ganho ou perda de economia e de tempo tanto da Construção Tradicional quanto da Construção Modular, foi amplamente examinada para que conseguisse descrever as variáveis citadas de forma mais detalhada. Vale salientar que ao longo do desenvolvimento deste projeto, não foi autorizada a divulgação dos dados específicos da obra, resultando na menção genérica das informações sem fornecer detalhes mais específicos.

Para iniciar o estudo comparativo, foram coletados dados quantitativos sobre o tijolo cerâmico e o drywall, extraídos do orçamento fornecido para a pesquisa. A análise foi fundamentada na avaliação da implementação de sistemas de vedação das paredes internas referentes a ambos os métodos. Além disso, a consideração da duração, em dias, de cada serviço também foi fundamental para a realização deste estudo.

Dessa forma, a análise do empreendimento foi inicialmente realizada considerando um único pavimento como referência, o que serviria posteriormente como parâmetro para os 28 pavimentos tipo e o método de vedação a ser adotado. É fundamental ressaltar que, por se tratar de um estudo comparativo, a análise quantitativa será mantida na mesma escala de proporção.

Em seguida, para garantir uma análise de custos mais alinhada com a realidade regional, foram empregados dados provenientes da planilha de referência da Secretaria de Obras Públicas do Estado - SEOP (Estado do Pará, 2023). Os serviços selecionados para comparação foram a instalação de Divisória em gesso acartonado (*drywall*), com espessura de 11cm, e a de Alvenaria de tijolo de barro a cutelo, com dimensões de 14x19x9cm, apresentados nas Figuras 9 e 10. Essa abordagem permitiu calcular o custo da área de vedação dado pelo orçamento.

Figura 9: Vedação em Gesso Acartonado.



Fonte: Divi&Arte (2023).

Figura 10: Vedação em Bloco Cerâmico.



Fonte: Revista Digital Ad Normas (2018).

Assim, a partir da coleta de dados obtidos por meio do estudo comparativo, foi possível extrair o percentual de impacto que cada tipo de modalidade de vedação exerce no contexto abrangente da obra como um todo e também avaliar criteriosamente sobre a temática abordada, entendendo as vantagens e desvantagens de cada metodologia construtiva e, conseqüentemente, a permanência da utilização da construção tradicional. Com isso, torna-se possível apresentar a melhor alternativa para quebrar essa barreira.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da alocação de recursos no orçamento selecionado para o estudo, procedeu-se à realização de uma análise comparativa dos custos e dos prazos associados à implementação de sistemas de vedação das paredes internas do pavimento, envolvendo tanto a utilização de alvenaria cerâmica quanto de painéis de drywall. A avaliação contemplou uma escala proporcional idêntica à de execução de um único pavimento, que serviu como parâmetro para os 28 pavimentos do empreendimento em questão, que estão ilustrados na Tabela 1. Este procedimento permitiu aprofundar a compreensão do impacto de ambos os tipos de vedação no que concerne ao orçamento e ao cronograma da obra.

Tabela 1: Tabela de levantamento quantitativo.

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	QTD. 1 PAV. TIPO	QTD. 28 PAV. TIPO
Tijolo cerâmico	m ²	385,99	10.807,72
Drywall	m ²	385,99	10.807,72

Fonte: Autores (2023).

Para obter uma apuração minuciosa dos custos destinada ao estudo comparativo, foi adotada a tabela da Secretaria de Obras Públicas - SEOP, detalhada nos Quadros 1 e 2. Este recurso dispõe de valores atualizados no mercado que englobam os preços de materiais, custos de mão de obra, despesas com equipamentos e os gastos referentes à execução. A tabela SEOP é amplamente reconhecida como um padrão de referência para a avaliação de custos em projetos habitacionais e em obras realizadas por entidades governamentais em todo o Estado do Pará. Atualmente, a referida tabela representa um instrumento fundamental para a análise precisa de custos. A sua utilização como base de cálculo neste artigo se mostrou de importância ímpar, assegurando a exatidão na estimativa dos custos envolvidos.

Quadro 1: Composição de serviço de Divisória em Gesso Acartonado.

Composição	061358	Divisória em gesso acartonado e=11cm	m ²	1,0000	178,86	178,86
Composição Auxiliar	280020	MONTADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,5000	23,26	11,63
Composição Auxiliar	280003	AJUDANTE DE MONTADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1000	18,57	1,86
Insumo	D00431	Chapa St 1200x1800x12,5mm	Pç	0,9540	45,00	42,93
Insumo	D00434	Fita p/ junta telada 50x45m	RI	0,0799	53,76	4,30
Insumo	D00435	Perfil para teto RS F-47 3000mm	Pç	0,2875	35,10	10,09
Insumo	D00433	Fita p/ junta 50x150m	RI	0,0096	64,50	0,62
Insumo	D00436	Parafuso (Gn 25) 3,5x25mm	KG	0,1917	56,00	10,74
Insumo	D00440	Guia R Rs 110x30x3000mm	Pç	0,2875	87,30	25,10
Insumo	D00438	Massa p/ junta max	KG	0,8700	3,50	3,05
Insumo	D00437	Prego de aço 2,7x30	KG	0,0479	16,50	0,79
Insumo	D00439	Montante M RS 110x35x3000 mm	Pç	0,9167	73,93	67,77

Fonte: Estado do Pará (2023).

Quadro 2: Composição de serviço de Alvenaria de Tijolo de Barro.

Composição	060046	Alvenaria tijolo de barro a cutelo	m ²	1,0000	103,76	103,76
Composição Auxiliar	280026	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,0000	19,70	19,70
Composição Auxiliar	280023	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	2,0000	24,61	49,22
Composição Auxiliar	110764	Argamassa de cimento, areia e adit. plast. 1:6	m ³	0,0200	502,70	10,05
Insumo	D00036	Tijolo de barro 14x19x9	UN	37,0000	0,67	24,79

Fonte: Estado do Pará (2023).

Com base nas informações fornecidas pelas Figuras 7 e 8, foi possível extrair os dados quantitativos referentes aos custos e à duração, expressa em dias, associados a cada modalidade de vedação destinada a um único pavimento, conforme detalhado na Tabela 2, e em sequência os valores para os 28 pavimentos, mostrados na Tabela 3. O valor referente ao tijolo cerâmico não inclui os custos de revestimento como chapisco, emboço, e reboco.

Tabela 2: Tabela comparativa entre Tijolo cerâmico e *Drywall* para 1 pavimento tipo.

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	QTD.	SEOP OUT 2023	PREÇO/PAV.	DURAÇÃO (EM DIAS)
Tijolo cerâmico	m ²	385,99	R\$ 103,76	R\$ 40.050,32	7,68
Drywall	m ²	385,99	R\$ 178,86	R\$ 69.038,17	2,28

Fonte: Autores (2023).

Tabela 3: Tabela comparativa entre Tijolo cerâmico e *Drywall* para 28 pavimentos tipo.

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	QTD.	SEOP OUT 2023	PREÇO TOTAL	DURAÇÃO (EM DIAS)
Tijolo cerâmico	m ²	10.807,72	R\$ 103,76	R\$ 1.121.409,03	215,04
Drywall	m ²	10.807,72	R\$ 178,86	R\$ 1.933.068,80	63,84

Fonte: Autores (2023).

Adicionalmente, procedeu-se à extração das informações referentes ao custo total e à duração global do empreendimento, conforme apresentados na Tabela 4. Esses dados serviram de base para calcular e analisar os percentuais de impacto que cada método de vedação exerce no contexto abrangente da obra como um todo.

Tabela 4: Tabela do preço e da duração total do edifício.

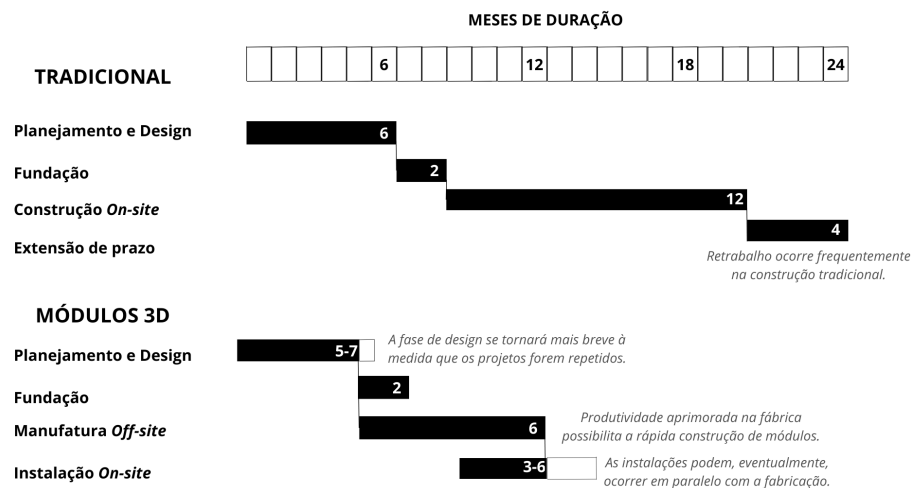
DESCRIÇÃO	PREÇO TOTAL	DURAÇÃO (EM DIAS)
Vedação em Tijolo cerâmico	R\$ 15.370.912,62	1164
Vedação em Drywall	R\$ 16.182.572,39	1013

Fonte: Autores (2023).

Após toda coleta e análise dos dados, constatou-se que, no contexto específico deste empreendimento, a escolha de utilizar drywall para a vedação, apesar de implicar inicialmente em um custo 72% superior, proporciona uma redução de 29,7% no prazo de execução da obra em comparação com a vedação em alvenaria cerâmica. Lembrando que, a análise de custo não inclui a etapa de revestimento e acabamento final, na qual para a alvenaria cerâmica os materiais utilizados são notavelmente mais caros que para os painéis em drywall.

Dessa maneira, ao comparar o sistema construtivo tradicional e o sistema off-site, segundo pesquisa de Bertram *et al.*, (2019), fica evidente que a implementação do segundo pode resultar em uma diminuição do prazo de execução de 20 a 50%, conforme representado na Figura 11. Isso ocorre principalmente porque a fase mais demorada se encontra na fabricação de elementos no próprio local da obra.

Figura 11: Cronograma de Obra Tradicional e Modular.



Adaptado de: Bertram *et al.*, (2019).

Além disso, é relevante ressaltar ainda, que no sistema off-site, durante o andamento da construção, é possível a realização simultânea de outras tarefas, visto que, por exemplo, a fundação não está condicionada à etapa de fabricação externa, o que permite que ambas as fases sejam iniciadas em conjunto.

No que concerne ao âmbito global da obra, constata-se um acréscimo de 5% no custo total, compensado por uma redução de 15% no prazo total. Essa perspectiva, embora represente um investimento financeiro adicional, traduz-se em benefícios significativos no que tange à eficiência temporal, proporcionando uma otimização geral do projeto.

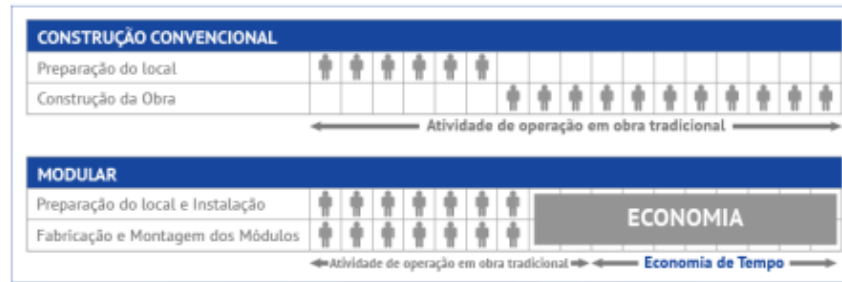
No estudo realizado por Vargas (2015), foi constatado que a prática da construção modular claramente concentra as atividades em um período de tempo mais curto, resultando em uma economia considerável de tempo em comparação com o método tradicional de construção, demonstrado na Figura 12 e na Figura 13.

Figura 12: Comparativo entre a construção tradicional e a construção modular.



Fonte: Eurobras Construções Metálicas Moduladas Ltda (2015).

Figura 13: Comparativo de equipes entre a construção tradicional e a construção modular.



Fonte: Eurobras Construções Metálicas Moduladas Ltda (2015).

Além de que, conforme apontado por Oliveira (2022), quando se trata de edificações e empreendimentos que se caracterizam pela repetição de unidades, como é comum em hotéis, hospitais, escolas e edificações comerciais e residenciais, os ganhos são maximizados. Isso se deve à aplicação da economia de escala, uma situação observada no empreendimento específico abordado neste estudo. Nesse contexto, a padronização e replicação de determinadas unidades arquitetônicas e funcionais não apenas otimizam os custos de construção, mas também contribuem para a eficiência operacional, gerando ganhos significativos ao longo do tempo. Este modelo de repetição, além de proporcionar uma maior rentabilidade, pode resultar em um desenvolvimento mais ágil e sustentável, consolidando a importância da análise estratégica na concepção de projetos desse porte.

Em resumo, a diminuição dos prazos é uma característica notável e esperada da construção modular, estando em contraste com a construção tradicional, que frequentemente experimenta diversas extensões de cronograma. Essa discrepância se deve, em grande parte, à minimização da necessidade de retrabalho na esfera da construção off-site, uma característica assegurada pela natureza industrializada desse processo.

4 CONCLUSÃO

A demanda por avanços tecnológicos na construção civil está em constante ascensão, visando proporcionar vantagens superiores aos métodos convencionalmente empregados. O sistema modular, de acordo com Degani (2022), já é muito utilizado nos Estados Unidos, Europa, Japão e Austrália. Além de tratar-se de um sistema ambientalmente consciente, e adaptável a diversas opções de revestimento, como o gesso acartonado (*Drywall*) e as placas cimentícias, por exemplo, esse método é reconhecido como uma inovação significativa na indústria da construção civil brasileira, apresentando substanciais benefícios em comparação com abordagens tradicionais.

Dessa maneira, a partir do estudo realizado, notou-se que, embora seja verdade que os custos iniciais podem ser ligeiramente mais elevados no método off-site, possivelmente devido à limitada popularidade dos produtos, uma análise abrangente de todas as variáveis comprova que o custo-benefício de uma obra construída por esse método é, em muitos aspectos, mais vantajoso. Essa circunstância é resultado da excelência do produto final, da otimização do tempo de execução e do compromisso com a sustentabilidade, uma vez que a natureza industrializada do processo minimiza consideravelmente o desperdício, garantindo esses aspectos de forma sólida.

O setor da construção civil encara o desafio não só de seguir o ritmo do avanço tecnológico, mas também de se ajustar de maneira eficiente para satisfazer uma demanda em constante crescimento. Diante desse cenário, a transição no cenário da construção civil para um modelo de fabricação externa com a construção modular emerge como mais do que simplesmente uma alternativa para resolver os desafios associados à construção tradicional. Ela se posiciona como um caminho estratégico para a transformação da indústria da construção em uma entidade moderna e eficaz. Ao adotar a construção modular, o setor da construção está não apenas respondendo às demandas atuais por eficiência e qualidade, mas também alinhando-se com a visão de um futuro em que a construção se torne uma indústria ágil, sustentável e altamente produtiva, capaz de atender às necessidades da sociedade de maneira eficaz e inovadora.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, Leticia Pereira. Comparativo do custo benefício entre o sistema construtivo em alvenaria e os sistemas Steel Framing e Wood Framing. **Revista Especialize On-line IPOG - Goiânia**, Edição nº 10 v. 01, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INCORPORADORAS IMOBILIÁRIAS, Abrainc: **Brasil terá demanda por mais 30,7 milhões de novas residências até 2030**. 2020. Disponível em: <<https://www.abrainc.org.br/abrainc/2020/09/29/abrainc-brasil-tera-demanda-por-mais-307-milhoes-de-novas-residencias-ate-2030/>>. Acesso em: 27 mar. 2023.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. MONTEIRO, Luiz Carlos. (coord.). **Fundamentos da Qualidade**. INMETRO. Brasília: MDIC, 2016. Disponível em: <<http://rweb01s.inmetro.gov.br/qualidade/iaac/pdf/fundamentos-qualidade.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2023
- BERTRAM, N., et al, **Modular Construction: From projects to products, Capital Projects & Infrastructure**, Reino Unido, 2019. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights/modular%20construction%20from%20projects%20to%20products%20new/modular-construction-from-projects-to-products-full-report-new.pdf>>. Acesso em: 19 mai. 2023.
- CARVALHO, Bruno Soares de. **Um método de entrega de projeto para construção modular baseado nos princípios lean**. 2020. 188 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Construção Civil, Construção Civil, Universidade Federal do Pará, Curitiba, 2020. Disponível em: <<https://siga.ufpr.br/siga/visitante/trabalhoConclusaoWS?idpessoal=3730&idprograma=40001016049P2&anobase=2020&idtc=125>>. Acesso em: 27 jun. 2023.
- DEGANI, Jonathan. **Construção Modular: o que é e 10 motivos para implementar**. 2022. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/construcao-modular/>>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- DIV&ARTE (Brasil). **Divisórias e Forro: parede acartonado**. Parede Acartonado. Disponível em: https://www.diviearte.com.br/produto/20/Categoria/7/parede_acartonado. Acesso em: 11 nov. 2023.
- ESTADO DO PARÁ. SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS DO ESTADO DO PARÁ (SEOP). **Planilha de Custo de Outubro de 2023**. Disponível em: <<https://www.seop.pa.gov.br/planilha-de-custo-0>>. Acesso em: 05 nov. 2023.
- FABRICIO, Márcio Minto. Industrialização das construções: revisão e atualização de conceitos. **PosFAUUSP**, [S. l.], v. 20, n. 33, p. 228-248, 2013. DOI: 10.11606/issn.2317-2762.v20i33p228-248. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/posfau/article/view/80930>> . Acesso em: 26 mar. 2023.
- GONZÁLEZ, Josep. **Tekdom ofrece soluciones constructivas que aunan diseño arquitectónico, funcionalidad y eficiencia**. Disponível em: <<https://www.lavanguardia.com/monograficos/tendencias-industria-progreso/tekdom-ofrece-soluciones-constru-tivas-que-aunan-diseno>>. Acesso em: 11 nov 2023.
- MBI. **Modular Building Institute**. Disponível em: <<http://www.modular.org/>>. Acesso em: 19 mar. 2023.
- OLIVEIRA, Paulo. **Construção Modular: uma visão de conceitos, sistemas construtivos e barreiras à industrialização da construção**. 2020a. Disponível em: <<https://brasilviavel.com.br/EbookConstru%C3%A7%C3%A3oModular.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- OLIVEIRA, Paulo. **A construção modular pode entregar edificações 50% mais rápido**. 2020b. Disponível em: <<https://blogdaliga.com.br/a-construcao-modular-pode-entregar-edificacoes-50-mais-rapido/>>. Acesso em: 03 nov. 2023.
- OLIVEIRA, Paulo. **A quarta revolução industrial e a indústria 4.0**. 2021a. Disponível em: <<https://c3club.com.br/aquartarevolucaoindustrialeaindustria40/>>. Acesso em: 22 mar. 2023.

OLIVEIRA, Paulo. **Era da modularidade**. 2021b. Disponível em:
<<https://c3clube.com.br/a-era-da-modularidade/>>. Acesso em: 22 mar. 2023.

OLIVEIRA, Paulo. **Fundamentos da Construção Modular: Pré-construção, Fast-construction e BIM**. 2022. Disponível em:
<<https://www.arataumodular.com/app/2022/06/03/fundamentos-da-construcao-modular-pre-construcao-fast-construction-e-bim/>> Acesso em: 27 ago 2023.

PACHECO JUNIOR, Wilson. **A indústria 4.0 aplicada à construção civil**. 2021. Blog Obra Prima. Disponível em: <<https://blog.obraprima.eng.br/a-industria-4-0-aplicada-a-construcao-civil/>> . Acesso em: 26 mar. 2023.

PRUDÊNCIO, Marcos Vinícius Martins Vargas. **Projeto e Análise comparativa de custo de uma residência unifamiliar utilizando os sistemas construtivos convencionais e light steel framing**. 2013. 66f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Graduação em Engenharia de Produção Civil) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013. Disponível em:
<<http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/6223>>. Acesso em: 26 mar. 2023.

TECNICON SISTEMAS GERENCIAIS. **4 exemplos práticos da adoção da Indústria 4.0 nas fábricas**, 2022. Disponível em:
<https://www.tecnicon.com.br/blog/476-4_exemplos_praticos_da_adocao_da_industria_4_0_nas_fabricas>. Acesso em: 11 nov. 2023.

TOTAL CONSTRUÇÃO. **Emboço**: o guia completo, saiba tudo sobre o assunto. O guia completo, saiba tudo sobre o assunto. 2020. Disponível em:< https://www.totalconstrucao.com.br/emboco/#google_vignette>. Acesso em: 11 nov. 2023.

TZOURMAKLIOTOU, Dimitra. Modular Disruption in Construction Industry—The Environmental Benefits. **Journal Of Civil Engineering And Architecture**, [S.L.], v. 15, n. 6, p. 318-329, 28 jun. 2021. David Publishing Company. <http://dx.doi.org/10.17265/1934-7359/2021.06.004>. Disponível em:
<https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/68347442/4_JCEA_E_20210304_1-libre.pdf?1627445108=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DModular_Disruption_in_Construction_Indus.pdf&Expires=1701016816&Signature=cBfKhlXfpJCi5AlHagGRO4w2KYxpYoaoIpI0UzkL9~3kI6E2znRY35v0beoLe3U0D1rBIFRHHegUHVWwudszXExTXzi2yhFHfB4yv616Lj8oESUNy3CFsZtIZtd2tz-d6PhxwEWF6z0aoIXBlzcr3n24G28QNbJrnqBiGbrd8Gmm9u4usm3PYw2EUifyhpML8I7OJSF~jNOQMlp4i6I~t8LLVAZAA-NuIVjOpiyiapbR1mS0YEK~iFFrt1vVw~Gmt2i~NT7OJMIPrhyjH-RJ8UyOPfWUEfrV11qy~dlb45ALzmW27T4F9hSb4BAzYhd2OUuyvhM4rGsjQeKfz4f~UO_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA> . Acesso em: 05 mai. 2023.

VARGAS, Fabrício Berger de. **Módulos de banheiros e cozinhas pré-fabricados que visam a economia de água com foco em edificações**. 2015. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/publication/323990990_MODULOS_DE_BANHEIROS_E_COZINHAS_PRE-FABRICADOS_QUE_VISAM_A_ECONOMIA_DE_AGUA_COM_FOCO_EM_EDIFICACOES>. Acesso em: 10 nov. 2023.

VASQUES, Caio Camargo Penteado Correa Fernandes; PIZZO, Luciana Maria Bovino Figueiredo. **Comparativo de Sistemas Construtivos, Convencional e Wood Frame em Residências Unifamiliares**. 2014. Disponível em: < <http://revista.unilins.edu.br/index.php/cognitio/article/view/193/188>>. Acesso em: 22 nov. 2017.