



Industrialização, Digitalização,  
Desempenho

5º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação  
e Comunicação na Construção e 5º Workshop de  
Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos

FLORIANÓPOLIS-SC | 20 a 22 de agosto

# 1 MODELO DE TOMADA DE DECISÃO PARA A ORGANIZAÇÃO DA PRODUÇÃO EM EMPRESAS DE CONSTRUÇÃO OFF-SITE

## Decision-Making Model for Production Organization in Off-Site Construction Companies

Ellen Tacconi Ferraz de Campos

UFSC | Florianópolis, SC | ellentacconi.f.c@gmail.com

Prof. Dr. Ricardo Juan José Oviedo

UFSC | Florianópolis, SC | ricardo.oviedo.haito@ufsc.br

### RESUMO

A indústria da construção civil enfrenta desafios significativos em produtividade, sustentabilidade e controle dos processos produtivos, o que estimula a busca por inovações capazes de melhorar o desempenho do setor. A construção modular off-site desponta como uma alternativa promissora, mas sua plena implementação depende da sistematização das decisões estratégicas que organizam a produção. Este artigo investiga quais são as decisões estratégicas que orientam a organização da produção na construção modular e *off-site*. Para tanto, adota-se uma abordagem qualitativa, combinando revisão bibliográfica com entrevistas com especialistas do setor, para mapear as escolhas em cada etapa do processo construtivo: projeto, planejamento, fabricação e logística. Os resultados evidenciam a importância do emprego de tecnologias como *Building Information Modeling* (BIM) e *Design for Manufacture and Assembly* (DfMA), bem como a definição clara dos níveis de pré-fabricação e as estratégias de customização e padronização adotadas. Como contribuição principal, propõe-se um modelo de tomada de decisão que integra esses elementos, oferecendo uma ferramenta prática para orientar as estratégias produtivas e promover maior eficiência e sustentabilidade na construção civil.

**Palavras-chave:** Construção modular, Construção off-site, Pré-fabricação, Industrialização da construção, Tomada de decisão.

### ABSTRACT

*The construction industry faces significant challenges related to productivity, sustainability, and control over production processes, which drives the search for innovations capable of improving the sector's performance. Off-site modular construction emerges as a promising alternative; however, its full implementation depends on the systematization of strategic decisions that guide production. This article investigates the strategic decisions that shape production organization in modular and off-site construction. To this end, a qualitative approach is adopted, combining a literature review with interviews with industry experts to map choices at each stage of the construction process: design, planning, manufacturing, and logistics. The results highlight the importance of employing technologies such as Building Information Modeling (BIM) and Design for Manufacture and Assembly (DfMA), as well as clearly defining prefabrication levels and the customization and standardization strategies adopted. As its main contribution, the study proposes a decision-making model that integrates these elements, offering a practical tool to guide production strategies and promote greater efficiency and sustainability in the construction sector.*

**Keywords:** Modular construction, Off-site construction, Prefabrication, Construction industrialization, Decision-making.

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil representa uma das atividades mais relevantes para a economia brasileira, contribuindo com 5,8% do Produto Interno Bruto (CBIC, 2023) e empregando milhões de trabalhadores. Contudo, o setor enfrenta desafios históricos relacionados à baixa produtividade, altos índices de desperdício e significativo impacto ambiental, consumindo aproximadamente metade da energia e das matérias-primas global (Hossain Nadeem, 2019; Labaran et al., 2022). Esse cenário, aliado à projeção de um déficit habitacional que pode chegar a 30,7 milhões de moradias até 2030 (ABMI, 2020), ressalta a urgência de inovações nos métodos construtivos.

A industrialização da construção civil surge como resposta para superar tais entraves, transferindo atividades tradicionalmente realizadas in loco para ambientes fabris mais controlados e eficientes (Baú, 2021). Nesse contexto, a construção *off-site* se destaca, ao possibilitar a fabricação de componentes, painéis, módulos e

<sup>1</sup>CAMPOS, T. F. E.; OVIEDO-HAITO, R. J. J. Modelo de tomada de decisão para a organização da produção em empresas de construção off-site. In: V WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS, 2025, Florianópolis. *Anais [...]*. Porto Alegre: ANTAC, 2025.

até edifícios completos em fábricas especializadas, com subsequente transporte e montagem no local da obra (Ferreira, 2024). Tal abordagem baseia-se em princípios de padronização, modularização e produção em série, promovendo melhorias em qualidade, segurança e sustentabilidade (Kamali e Hewage, 2016)

No âmbito da construção modular, as decisões estratégicas assumem papel fundamental logo na etapa de projeto, quando são definidos o grau de padronização e a modularidade dos componentes (Hyun, Kim e Kim, 2022), além dos limites para customização. Segundo Emmatty e Sarmah (2012), o uso de tecnologias como o *Building Information Modeling* (BIM) e o *Design for Manufacture and Assembly* (DfMA) tem se mostrado crucial para a integração entre disciplinas e antecipar possíveis interferências, facilitando a compatibilização dos sistemas e a mitigação de retrabalhos. Dessa forma, o projeto é elevado a uma dimensão estratégica, influenciando diretamente os rumos da produção e da montagem dos sistemas construtivos.

Outrossim, o planejamento da produção demanda a definição de estratégias que alinhem os objetivos organizacionais às decisões técnicas, equilibrando a eficiência com a flexibilidade. Abordagens como o *Concept-to-Order* (CtO), em que o desenvolvimento do produto inicia a partir de uma ideia ou necessidade específica do cliente; o *Design-to-Order* (DtO), que envolve a elaboração de um projeto exclusivo com base nos requisitos do cliente; o *Make-to-Order* (MTO), no qual a produção é iniciada somente após a confirmação do pedido; e o *Make-to-Forecast*, que se baseia na produção antecipada com base em previsões de demanda (Winch, 2003), ilustram diferentes níveis de customização e antecipação na cadeia produtiva. Além disso, o Ponto de Desacoplamento do Pedido do Cliente (CODP) (Rudberg e Wikner, 2004) representa o ponto da cadeia produtiva a partir do qual o produto passa a ser personalizado conforme o pedido do cliente.

A consideração dos níveis de pré-engenharia (Jensen, Lidelöw e Olofsson, 2015) também contribui para evidenciar a importância de um planejamento que oriente a fabricação, considerando o *trade-off* entre personalização e padronização dos produtos. Tais escolhas refletem diretamente nos prazos, custos e na escalabilidade da produção modular e devem ser bem estabelecidas para o sucesso da produção e dos objetivos organizacionais. Na etapa de fabricação, as decisões estratégicas envolvem a definição do nível de pré-fabricação, o modo de fabricação adotado e a escolha do sistema de produção, impactando diretamente a eficiência, a qualidade e a flexibilidade do processo construtivo (Slack, Brandon-Jones e Johnston, 2018). A classificação dos componentes segundo Lawson, Ogden e Goodier (2014), adaptada por Bastos (2015), demonstra uma progressão nos níveis de industrialização, partindo da fabricação de elementos como painéis e kits até a construção modular completa, como banheiros prontos ou unidades habitacionais inteiras. Ainda, a escolha entre métodos tradicionais, racionalizados ou intensivos em tecnologia, que incluem práticas industrializadas, como a pré-fabricação, mecanização, automação, robotização e reprodução, classificado por Richard (2005). Nesse contexto, a escolha entre métodos construtivos tradicionais, racionalizados e industrializados também assume papel decisivo. Enquanto o modo tradicional depende fortemente do canteiro de obras e de mão de obra artesanal, o racionalizado introduz planejamento sistemático, mão de obra semi-especializada e a pré-fabricação parcial. Já o industrializado, considerado o ápice da evolução construtiva, podendo incorporar práticas de automação e robotização, com alta especialização da mão de obra e produção seriada em ambiente fabril controlado (Kamar et al., 2011; Rosso, 1980; Sabbatini, 1989).

Complementarmente, a definição do sistema de produção é essencial para alinhar o processo fabril às demandas de volume e variedade da construção modular e *off-site*. Segundo Miltenburg (2005), os sistemas de produção podem ser classificados em seis estratégias principais: *jobbing* (produção sob encomenda), lotes, linha de fluxo (produção em massa), sistema flexível de manufatura, *just in time* e fluxo contínuo. Cada uma dessas estratégias representa diferentes níveis de flexibilidade e padronização. O sistema de *jobbing*, por exemplo, é ideal para produtos altamente customizados em pequena escala, enquanto a linha de fluxo busca eficiência na produção em larga escala com produtos padronizados. O sistema *just in time* visa eliminar estoques e produzir conforme a demanda, já o fluxo contínuo é característico de produções ininterruptas (Slack, Brandon-Jones e Johnston, 2018). A escolha entre esses sistemas depende, portanto, do grau de industrialização adotado, do layout fabril, que pode ser posicional, funcional, celular ou em linha (Slack, Brandon-Jones e Johnston, 2018) e da capacidade da empresa em integrar recursos humanos e tecnológicos para alcançar uma produção mais enxuta, ágil e com menor desperdício (Ferreira, 2024; Slack, Brandon-Jones e Johnston, 2018). Assim, a estratégia de fabricação adotada por uma construtora modular não apenas define sua capacidade produtiva, mas também determina seu posicionamento competitivo no setor da construção industrializada.

Na etapa de logística, a gestão integrada da cadeia de suprimentos se apresenta como elemento estratégico imprescindível para a construção modular. Segundo Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), o *Supply Chain*

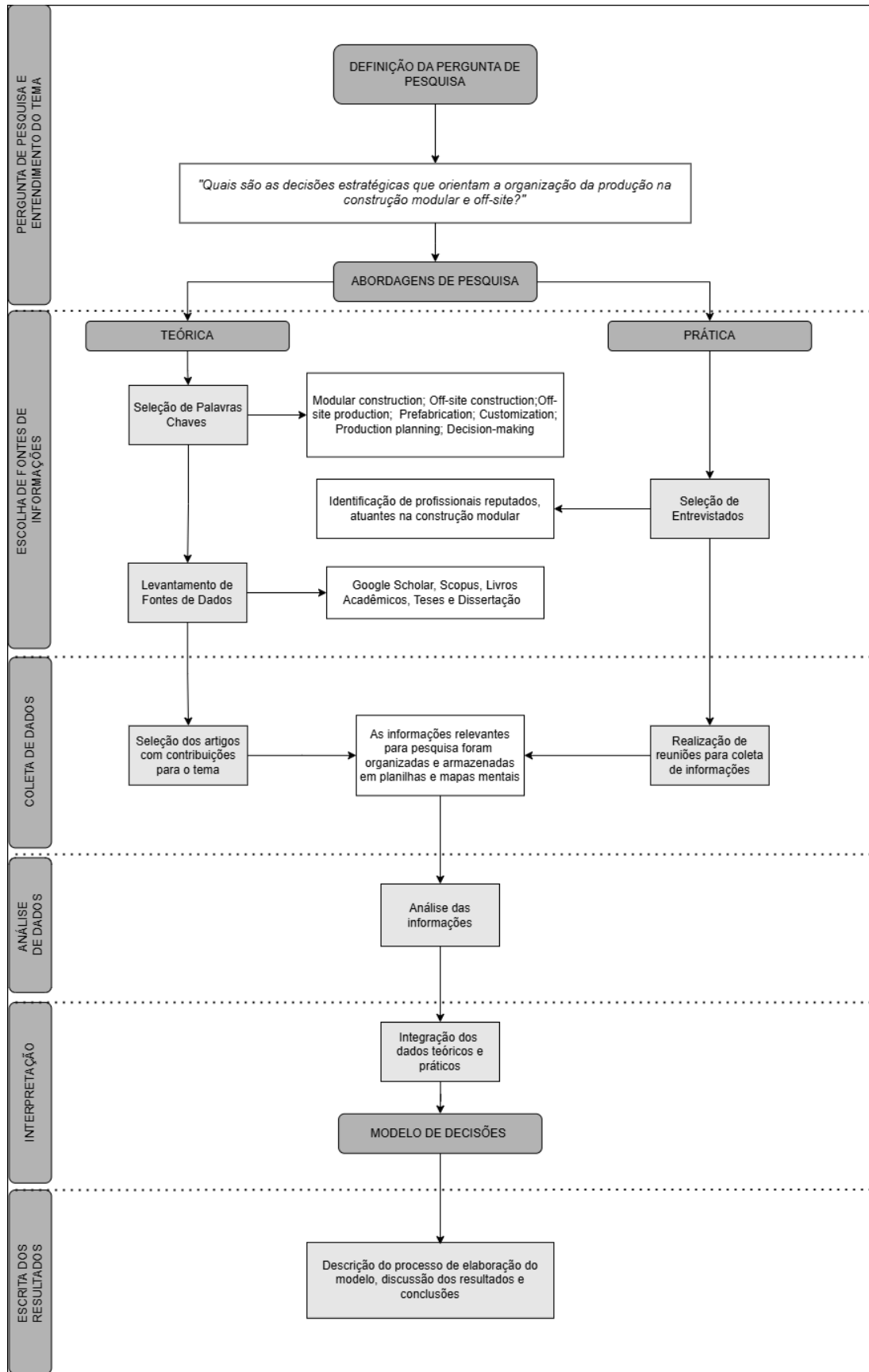
*Management* abrange a administração dos fluxos de materiais, o relacionamento com fornecedores e a estratégia de transporte, alinhado o processo ao longo de toda a cadeia produtiva, sendo vital para garantir entregas pontuais e reduzir os custos operacionais. Além disso, a centralidade do relacionamento com os fornecedores e a definição de estratégias de fornecimento (múltiplas, únicas, delegadas ou paralelas) são determinantes para manter a fluidez do processo até o canteiro de obras (Oviedo Haito, 2015; Coyado Petrella, 2016). Estudos anteriores sobre o tema, como o de Ferreira (2024), abordam a organização da produção de empresas de construção modular volumétrica, não ampliando a abordagem para diferentes níveis de pré-fabricação *off-site* e com foco em processos produtivos e práticas operacionais, porém sem esclarecer de forma sistematizada as decisões estratégicas que orientam essa organização ao longo das diferentes etapas do processo construtivo.

Em síntese, apesar dos avanços tecnológicos e das práticas inovadoras na construção *off-site*, persiste uma lacuna na sistematização das decisões estratégicas que orientam a organização da produção modular e *off-site*. A complexidade inerente à definição dos níveis de pré-fabricação, à escolha entre produção interna e terceirização, a estratégia de customização, modos de fabricação e aos arranjos físicos, bem como os desafios de gerenciar a cadeia de suprimentos, evidenciam a necessidade de um modelo estruturado que integre tais decisões (Slack; Brandon-Jones; Johnston, 2018; Bastos, 2015; Ferreira, 2024; Kamali; Hewage, 2016; Rosso, 1980). Diante desse cenário, nesta pesquisa propõe-se um modelo, elaborado a partir de uma revisão bibliográfica e entrevistas com profissionais do mercado, com o objetivo de mapear as principais decisões estratégicas que devem ser tomadas em cada etapa do processo construtivo: projeto, planejamento, fabricação e logística, e responder à seguinte pergunta: *Quais são as decisões estratégicas que orientam a organização da produção na construção modular e off-site?*

## 2 METODOLOGIA

A metodologia foi estruturada com base nas diretrizes de Bryman (2008) e está representada na Figura 1.

Figura 1: Metodologia de pesquisa



Fonte: Os autores

A pesquisa foi guiada pela seguinte pergunta: “*Quais são as decisões estratégicas que orientam a organização da produção na construção modular e off-site?*” Para respondê-la, foram utilizadas duas fontes principais de informação: revisão bibliográfica e entrevistas com profissionais do setor.

A revisão bibliográfica foi realizada a partir da seleção de artigos em bancos acadêmicos, com foco em temas como construção industrializada, modularização, produção off-site e processos decisórios estratégicos. As publicações selecionadas foram organizadas em mapas mentais e planilhas, servindo de base para o desenvolvimento do modelo final.

A etapa empírica envolveu entrevistas com quatro profissionais atuantes no mercado de construção modular, indicados pelo professor orientador. Os entrevistados possuem mais de 10 anos de experiência e ocupam ou ocuparam cargos de liderança técnica e gerencial em empresas brasileiras. As entrevistas, de caráter semiestruturado, foram realizadas remota ou presencialmente e buscaram captar desafios, escolhas estratégicas e práticas relacionadas à organização da produção. No Quadro 1 a seguir apresenta-se algumas informações sobre os entrevistados com relação a função, atuação da empresa e tempo de experiência.

**Quadro 1: Entrevistados**

ENTREVISTADO	FUNÇÃO	ATUAÇÃO	TEMPO DE EXPERIÊNCIA
Entrevistado A	Engenheiro Civil, Fundador e Diretor Geral	Empresa de Serviços de Engenharia para Construção Industrializada	12 anos
Entrevistado B	Engenheiro Civil e CEO	Empresa de Construção Modular	30 anos
Entrevistado C	Engenheiro Civil, CEO e Diretor Técnico	Empresa de Construção Modular	24 anos
Entrevistado D	Engenheiro Civil e Diretor Geral	Serviços de Patologia com experiência em Coordenação Modular	11 anos

Fonte: Os autores

Os dados foram analisados qualitativamente, com foco na identificação de padrões decisórios e categorias emergentes nas falas dos entrevistados. O conteúdo empírico foi confrontado com a literatura especializada, resultando na formulação de um modelo conceitual que sintetiza as principais decisões estratégicas que impactam a produção modular, como grau de pré-fabricação, estratégias de customização, padronização, logística e relacionamento com fornecedores.

Os resultados foram organizados em duas frentes: análise qualitativa das entrevistas e construção do modelo de decisão, integrando teoria e prática.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A organização da produção na construção modular e *off-site* envolve múltiplas decisões estratégicas que orientam o negócio e impactam diretamente na viabilidade da operação, desde a concepção do projeto até a montagem no canteiro de obras. Nesta seção, apresentam-se os resultados divididos em duas etapas: 1) Entrevistas com profissionais do setor; 2) Modelo de decisões estratégicas que orientam a produção, sintetizando as principais decisões que orientam produção *off-site* em uma empresa.

### 3.1 Entrevistas com Profissionais do Setor

Diante do caráter teórico do modelo estudado e sua relevância prática, optou-se por entrevistar profissionais atuantes no mercado para enriquecer a discussão com percepções aplicadas. O objetivo foi complementar o embasamento acadêmico com percepções do setor, proporcionando uma compreensão mais abrangente sobre as tomadas de decisões estratégicas no contexto da construção modular. Quatro profissionais foram entrevistados, conforme descrito na metodologia, cujas contribuições apresentam-se a seguir.

### 3.2 Entrevistado A

O Entrevistado A destacou a importância do modelo como ferramenta estratégica para mapear diferentes abordagens produtivas, considerando que as decisões variam conforme o nicho de mercado de atuação da empresa. Ele enfatizou que não há um modelo único aplicável a todas as situações, sendo necessário ajustar as estratégias conforme as demandas específicas.

Um dos pontos centrais da entrevista foi a diferenciação entre linha de produtos e linha de componentes. Segundo o entrevistado, as linhas produtivas convergem para a fabricação de módulos completos, sendo que as linhas de componentes, como as de paredes e painéis de lajes, são alimentadas por células autônomas que entregam produtos semiacabados. Nessas configurações, a linha principal realiza apenas a fixação final, e a posição do ponto de desacoplamento pode variar dependendo das características da produção e do fluxo de trabalho. Essa diferenciação permite ajustar a flexibilidade da produção para atender melhor às exigências do cliente. Portanto, a decisão que envolve as linhas de componentes que serão incorporadas a linha de produto é fundamental para orientar estrategicamente a produção.

O conceito de células produtivas, tradicionalmente associado ao *layout* de fabricação, foi ampliado pelo entrevistado para incluir atividades especializadas que abastecem a linha principal. Ele explicou que a linha central da fábrica é controlada por um sistema *takt time*, que regula as ordens de produção das estações preparatórias, garantindo um fluxo eficiente de materiais. Esse mecanismo auxilia na otimização dos processos produtivos e no abastecimento contínuo das linhas de montagem.

Outro aspecto relevante abordado foi o conceito de *setup* múltiplo. O entrevistado explicou que um mesmo arranjo produtivo pode contemplar diferentes layouts de fabricação, dependendo das necessidades da empresa. Ele citou como exemplo a produção interna de chicotes elétricos e hidráulicos em células específicas, que posteriormente alimentam a linha de produção de paredes, a qual se integra ao sistema modular final. Embora essa abordagem seja incomum no Brasil, ele afirmou ter visto sua aplicação em alguns casos.

Sobre o conceito de industrialização, o entrevistado fez uma crítica à associação direta entre industrialização e automação. Segundo ele, a eficiência dos processos é o fator determinante na industrialização, e não necessariamente o nível de automação empregado. Ele argumentou que, em algumas operações, a automação pode não ser viável, mas isso não significa que a produção seja menos industrializada.

No que se refere à logística de transporte, o entrevistado apontou que a distância entre a fábrica e o canteiro de obras influencia diretamente o nível de finalização dos módulos antes do envio. Obstáculos como meios-fios elevados ou barreiras urbanas podem dificultar o transporte de módulos de grande porte, levando algumas empresas a optar pela segmentação dos elementos para facilitar o encaixe no destino final. Além disso, ele destacou que estratégias de transporte multimodal, combinando diferentes meios de transporte, podem ser mais viáveis do que depender exclusivamente de um único modal, especialmente em longas distâncias.

A relação entre volume de produção e escalabilidade também foi abordada. Segundo o entrevistado, empresas de menor porte conseguem operar com instalações mais compactas e maior diversificação de atividades, enquanto empresas com alta demanda necessitam de parques fabris robustos para absorver o volume produtivo. Nesse contexto, ele destacou a painelização como uma solução eficiente para produção e transporte em larga escala, permitindo reduzir o tamanho dos canteiros de obras e, em alguns casos, viabilizar linhas de produção no próprio local da construção, principalmente em regiões de difícil acesso.

Por fim, o entrevistado abordou os desafios da terceirização na produção industrializada. Ele ressaltou que a compatibilização de projetos com fornecedores externos pode ser complexa, especialmente em sistemas proprietários. Como exemplo, citou uma situação em que sua empresa optou por internalizar a produção de chicotes elétricos devido à inadequação dos produtos oferecidos pelos fornecedores disponíveis. A decisão de verticalizar a produção foi baseada no princípio do *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA), buscando reduzir o número de componentes e processos de montagem no canteiro de obras. Essa abordagem permitiu aumentar o controle sobre a produção e superar os desafios impostos pela terceirização.

O entrevistado concluiu que a aplicação prática do modelo de decisões estratégicas que orientam a produção pode ser útil para identificar padrões organizacionais e produtivos no setor, contribuindo para o desenvolvimento da construção modular. Ele destacou que a análise dessas decisões pode revelar gargalos produtivos e permitir a implementação de estratégias mais eficientes. De maneira geral, a entrevista reforçou a importância de alinhar as estratégias de produção às necessidades específicas de cada operação, demonstrando a flexibilidade do modelo de decisões para contemplar diferentes configurações produtivas e aprimorar a eficiência do setor.

### 3.3 Entrevistado B

O Entrevistado B, da mesma forma que o Entrevistado A, ressaltou a importância de segmentar o modelo por nichos de atuação, destacando que as decisões, demandas, processos e níveis de industrialização variam consideravelmente entre os diferentes segmentos de mercado. Ele concorda que essa segmentação é crucial para contextualizar e estruturar os dados e percepções do modelo e da comparação entre diferentes negócios. No caso de sua operação, focada no nicho residencial, ele atualmente adota a terceirização da produção de módulos volumétricos. Segundo o entrevistado, essa decisão é justificada pela viabilidade financeira, pelo fluxo de caixa e pelas limitações de espaço fabril.

O entrevistado observou também o crescente movimento de incorporação de elementos industrializados por construtoras tradicionais no Brasil. Ele citou, como exemplo, a utilização de módulos de banheiros, kits elétricos e sistemas de vedação externa, práticas que contribuem para a industrialização da construção no canteiro de obras e que podem reduzir o tempo de execução. Ele ainda afirmou que, embora os sistemas de produção de algumas dessas empresas ainda não sejam totalmente avançados, a adoção de componentes pré-fabricados já representa um diferencial competitivo. Por tanto, a escolha entre operar na industrialização de um módulo completo, de um módulo que compõem um ambiente ou uma instalação específica, por exemplo, é fundamental na viabilidade do negócio e pode ser avaliada quanto a recepção e incorporação desse produto no mercado.

O Entrevistado B argumentou sobre a importância da segmentação do cliente, enfatizando que a forma de industrialização varia significativamente dependendo do tipo de cliente (governo ou construtora). Por exemplo, para clientes públicos (como o governo), pode ser necessário um modelo de industrialização fechado, com processos mais centralizados, enquanto no caso de clientes privados, como as construtoras, a abordagem pode ser mais aberta e exigir uma coordenação maior entre os diferentes produtos industrializados. Isso afeta diretamente as estratégias de produção, incluindo a logística e a forma de abordagem do processo.

Sobre a evolução da industrialização, o Entrevistado B propôs uma abordagem gradual, dividida em três etapas: padronização dos processos, escalabilidade da produção e automação seguida de robotização. Ele destacou que a adoção de tecnologias como automação e robotização só é viável quando o volume de produção justifica o investimento. Segundo ele, "*ninguém inicia uma operação modular já automatizada ou robotizada*", o que reforça a necessidade de amadurecimento operacional antes de implementar tecnologias mais avançadas.

Em suma, o Entrevistado B reforçou a importância da segmentação por nicho e a adoção gradual da industrialização na construção, apontando que a robotização e automação são etapas posteriores ao aumento da escala da produção. Também destacou a integração de elementos pré-fabricados em construtoras tradicionais como um passo relevante para o avanço da industrialização no setor.

### 3.4 Entrevistado C

O Entrevistado C atua na venda de chassis metálicos e terceiriza sua fabricação em empresas especializadas em metalurgia. Ele ressaltou os desafios estratégicos para viabilizar a produção modular no Brasil, destacando barreiras significativas para a fabricação de módulos volumétricos 3D. Segundo ele, o mercado brasileiro enfrenta entraves como logística de transporte, custos elevados e questões fiscais e políticas que dificultam a expansão da construção modular em larga escala.

Ele também analisou o impacto da pandemia no setor, apontando um crescimento expressivo na demanda por construção modular devido à necessidade emergencial de hospitais. Esse "boom" momentâneo gerou um período de altos investimentos, mas não se sustentou a longo prazo, resultando em uma retração significativa do setor após o pico da pandemia. Esse movimento revelou a vulnerabilidade do mercado modular às oscilações de demanda e à ausência de uma estrutura consolidada para expansão contínua.

Outro ponto abordado foi a falta de uniformidade na definição do conceito de "módulo" no Brasil. O Entrevistado C criticou a tendência de confundir módulos volumétricos 3D com componentes ou sistemas pré-fabricados, o que pode levar a inconsistências na formulação de estratégias industriais. Ele mencionou que, em sua experiência no Japão, a distinção entre esses conceitos é mais clara, o que facilita a definição de modelos de industrialização mais eficientes. Sua análise está alinhada com definições adotadas por especialistas internacionais, como Ginigaddara et al. (2022), reforçando a necessidade de maior padronização terminológica no Brasil.

Ademais, o Entrevistado C reforçou que a industrialização da construção não se limita à adoção de módulos volumétricos, mas também inclui a incorporação de componentes pré-fabricados em construtoras tradicionais. Ele corroborou a visão do Entrevistado B sobre a tendência crescente da adoção de elementos industrializados, como sistemas de vedação externa e kits elétricos, que contribuem para a otimização da produtividade e redução de prazos no canteiro de obras.

Dessa forma, sua análise reforça a importância de decisões estratégicas que considerem tanto os desafios regulatórios e logísticos que viabilizem o negócio dentro do contexto do país quanto a necessidade de uma padronização conceitual para impulsionar a industrialização da construção modular no Brasil.

### 3.5 Entrevistado D

O Entrevistado D, destacou o valor do modelo proposto como uma ferramenta para a análise de negócios e novos empreendimentos. Segundo ele, o modelo ajuda a resumir os principais aspectos organizacionais e a tomada de decisão, permitindo uma visão inicial clara do sistema modular, facilitando o entendimento para novos entrantes na área.

Com relação à logística, o entrevistado ressalta as barreiras enfrentadas, como a dependência das rodovias, limitações em altura de viadutos, perdas de espaço em decorrência da recapagem do asfalto e os custos elevados com transporte especializado, incluindo automóveis rebaixados. A distância foi apontada como um fator determinante, sendo fundamental considerar o raio de atuação da fábrica na etapa de viabilidade do projeto. Quando o transporte excede o raio logístico, pode ser necessário reposicionar a fábrica ou adequar vias para viabilizar o deslocamento dos módulos, o que impacta diretamente nos custos e no prazo de entrega. O entrevistado também mencionou a possibilidade de uso do transporte hidroviário, eficiente em alguns contextos, mas limitado pela disponibilidade de infraestrutura adequada.

Por fim, sobre a padronização e a customização, o entrevistado apontou que a cultura brasileira de valorização do cliente, em relação à customização, é uma barreira significativa para a implementação de produtos padronizados ou "de prateleira". Ele afirmou que a falta de demanda por produtos padronizados impede o avanço de uma maior escala de produção, afetando a competitividade e a industrialização do setor.

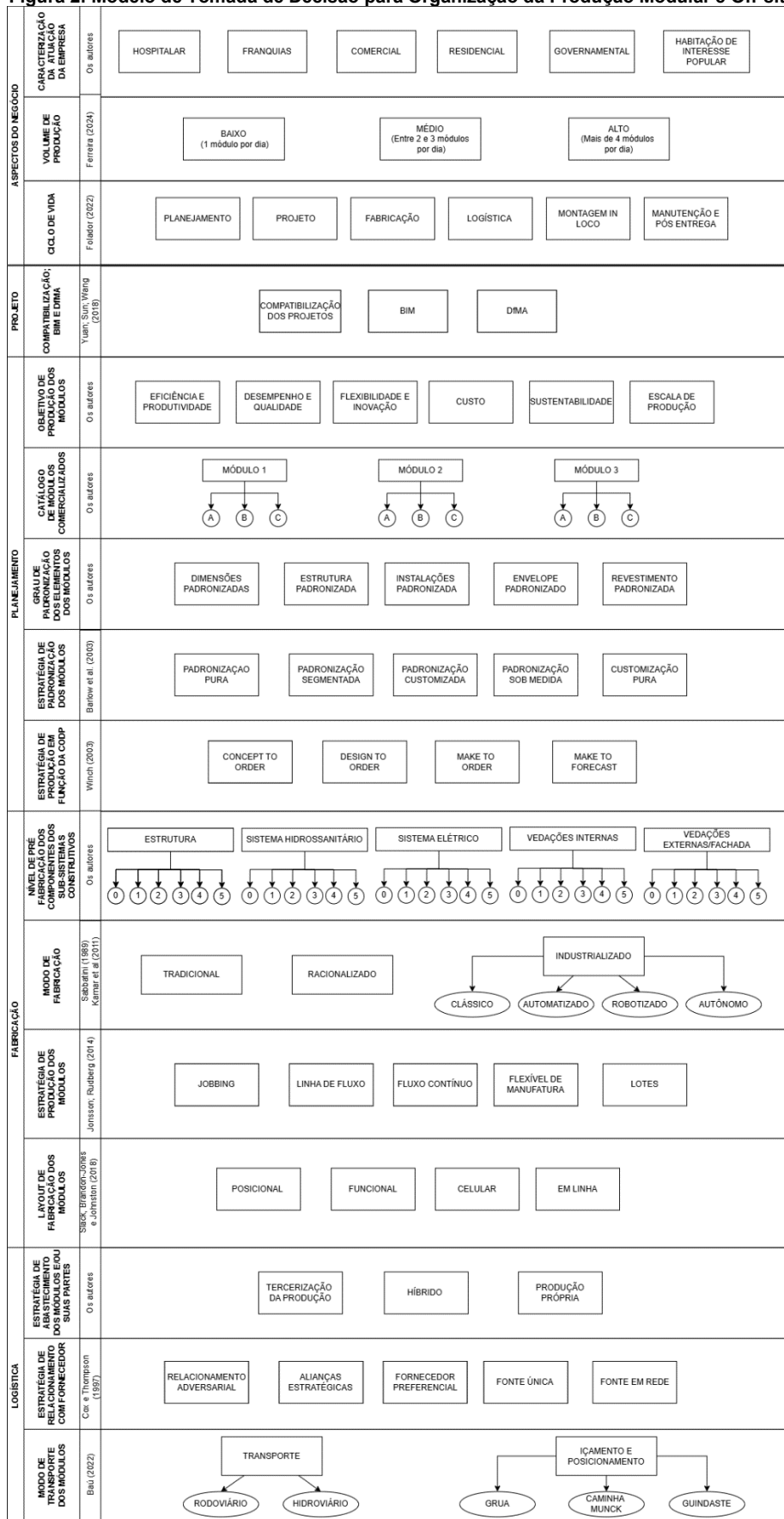
---

### 3.6 **Modelo para sistematizar as decisões estratégicas relacionadas à produção modular e off-site**

Apresenta-se nesta seção o modelo proposto para sistematizar as decisões estratégicas relacionadas à produção modular e *off-site*. Esse modelo foi desenvolvido com base nos dados coletados por meio de entrevistas com profissionais do setor, combinados à revisão da literatura nacional e internacional, conforme discutido na metodologia.

A proposta visa fornecer um referencial prático para identificar as principais decisões ao longo do processo produtivo. A estrutura do modelo está organizada em quatro colunas principais, sintetizada na Figura 2, que contempla as etapas: aspectos do negócio, projeto, planejamento, fabricação e logística.

**Figura 2: Modelo de Tomada de Decisão para Organização da Produção Modular e Off-site**



Fonte: Os autores

Na primeira coluna, são apresentadas as categorias decisórias, organizadas conforme essas cinco etapas produtivas. A segunda coluna explicita as decisões que devem ser tomadas em cada etapa. A terceira coluna reúne os autores e as referências que fundamentam essas decisões, enquanto a quarta apresenta exemplos de alternativas possíveis, identificadas tanto na literatura quanto nas entrevistas, para cada decisão estratégica. Esse quadro, quando completamente preenchido, pode ser utilizado tanto para orientar tomadas de decisão como para comparar diferentes práticas e estratégias adotadas por empresas do setor.

O modelo também busca preencher lacunas identificadas na literatura. Um exemplo disso é a ausência de padronização na classificação dos níveis de pré-fabricação na etapa de fabricação. Embora autores como Lawson, Ogden e Goodier (2014), Bastos (2015) e Gibb e Isack (2003) proponham diferentes formas de categorizar o grau de pré-fabricação, não há um consenso consolidado. Para superar essa limitação, foi elaborada uma categorização própria, apresentada na **Figura 3**.

**Figura 3: Níveis de Pré-Fabricação**

NÍVEIS DE PRÉ FABRICAÇÃO						
Os autores adaptado de Lawson, Ogden e Goodier (2014); Bastos (2015) e Gibb e Isack (2003)						
	NÍVEL 1	NÍVEL 2	NÍVEL 3	NÍVEL 4	NÍVEL 5	NÍVEL 6
	COMPONENTES LINEARES	COMPONENTE 2D	ELEMENTO 3D	PAINELIZADOS (2D)	MÓDULOS VOLUMÉTRICOS (3D)	EDIFICAÇÕES MODULARES
EXEMPLO	Perfis metálicos, cabos elétricos, tubos de PVC, elementos individuais para instalações hidráulicas.	Painéis com isolamento térmico, kits de instalação de portas, placas de drywall com acabamento.	Chassi metálico para estruturas, chassi com sistemas de vedação integrados, caixas d'água moldadas.	Fachadas completas, lajes de cobertura pré-moldadas, painéis de piso com acabamento integrado.	Banheiros modulares pré-fabricados com tubulações, louças e acabamentos.	Casas ou edificações modulares prontas para instalação.

Fonte: Os autores

Essa classificação compreende seis níveis crescentes de pré-fabricação, que vão desde o nível mais básico (material bruto) até o mais avançado (edificação modular completa). A adoção dessa categorização permite avaliar com maior precisão a maturidade e o grau de industrialização das soluções adotadas pelas empresas entrevistadas, funcionando como um instrumento de diagnóstico e como base para a definição de estratégias logísticas, de suprimentos e de cadeia produtiva.

Além disso, o modelo contempla outras variáveis identificadas como fundamentais para a análise da organização produtiva, tais como o modo de fabricação (tradicional, racionalizado ou industrializado), as estratégias de padronização de produtos, os layouts de produção e as estratégias de fabricação. Essas variáveis permitem uma análise mais holística das práticas operacionais adotadas pelas empresas que atuam com construção *off-site*.

Essa abordagem estruturada torna o modelo uma ferramenta útil para apoiar a tomada de decisão por gestores, projetistas e formuladores de estratégias no setor da construção modular. Ao tornar visíveis os caminhos possíveis para a organização da produção e seus impactos operacionais, o modelo contribui diretamente para o avanço da industrialização da construção civil no Brasil, especialmente em um cenário marcado por escassez de mão de obra e pela busca por maior eficiência produtiva.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo investigar e sistematizar as decisões estratégicas que orientam a organização da produção na construção modular e *off-site*. Por meio de uma abordagem qualitativa, que combinou revisão bibliográfica e entrevistas com especialistas do setor, foi proposto um modelo integrador que abrange as etapas de projeto, planejamento, fabricação e logística. Os resultados evidenciaram a importância do uso de tecnologias, como o *Building Information Modeling* (BIM) e o *Design for Manufacture and Assembly* (DfMA), além da definição dos níveis de pré-fabricação e da adoção de estratégias de customização versus padronização, para aprimorar a eficiência e a competitividade das construções modulares (Slack; Brandon-Jones; Johnston, 2018; Bastos, 2015; Ferreira, 2024).

Os entrevistados confirmaram que a sistematização das decisões estratégicas pode, de fato, oferecer uma ferramenta prática para a organização da produção em empresas de construção modular *off-site*, contribuindo para a sua modernização. O modelo proposto não apenas estrutura o processo produtivo em quatro grandes etapas, mas também integra a lógica de produção de componentes e produtos finais, respeitando os diferentes graus de industrialização presentes nas empresas. Isso permite uma leitura mais flexível e realista da diversidade de estratégias para a organização da produção deste tipo de produtos adotadas no setor.

Este trabalho avança em relação a estudos anteriores ao propor um modelo adaptável que não se restringe a um único tipo de produto modular. Enquanto autores como Baú (2021) se concentraram em sistemas construtivos com chassis metálicos e Ferreira (2024) explorou a customização em massa em empresas britânicas focadas em módulos volumétricos 3D, o presente estudo amplia o escopo ao considerar também a realidade brasileira, caracterizada por desafios logísticos, restrições de escala produtiva e maior variabilidade no grau de pré-fabricação. Essa ampliação contribui para preencher lacunas da literatura ao abordar contextos produtivos menos estudados e ao propor uma abordagem sistêmica que considera tanto fatores estratégicos quanto operacionais.

Além disso, este trabalho oferece uma contribuição relevante ao destacar que os conceitos tradicionais da manufatura, como produção enxuta e automação, não podem ser aplicados diretamente à construção modular sem considerar suas particularidades. A coexistência entre customização e padronização, evidenciada nas entrevistas, reforça a necessidade de estratégias híbridas que articulem flexibilidade com eficiência. Com isso, o modelo final se posiciona como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão, especialmente útil para empresas em processo de transição entre métodos construtivos tradicionais e sistemas industrializados.

Entretanto, o presente estudo possui limitações inerentes à abordagem qualitativa adotada, como o número restrito de entrevistas e a ausência de aplicação prática do modelo em empresas reais. Ainda assim, os resultados obtidos podem ser usados em pesquisas futuras que avancem na validação e refinamento do modelo. Recomenda-se, portanto, que novos estudos explorem sua aplicação em estudos de caso e que abordagens quantitativas sejam utilizadas para mensurar os impactos das decisões estratégicas na eficiência produtiva, na qualidade do produto final e na sustentabilidade do processo.

Dessa forma, espera-se que este trabalho contribua não apenas para a consolidação teórica do campo, mas também para a prática da construção modular *off-site* no Brasil e em outros contextos, oferecendo subsídios para uma produção mais organizada, adaptável e compatível com os desafios contemporâneos da industrialização da construção civil.

## REFERÊNCIAS

ABDUL NABI, M.; EL-ADAWAY, I. H. Modular Construction: Determining Decision-Making Factors and Future Research Needs. *Journal of Management in Engineering*, v. 36, n. 6, p. 04020085, 1 nov. 2020.

ABMI. País precisará de 30,7 milhões de novas moradias até 2030, revela estudo. Disponível em: <<https://abmi.org.br/pais-precisara-de-307-milhoes-de-novas-moradias-ate-2030-revela-estudo/>>. Acesso em: 5 dez. 2024.

ABRAMAT. Perfil da cadeia da construção e da indústria de materiais e equipamentos Ed. 2022. Disponível em: <[https://abramat.org.br/wp-content/uploads/2023/03/Perfil-da-Cadeia-resumo-2022\\_c-serie-5-anos-v2.pdf](https://abramat.org.br/wp-content/uploads/2023/03/Perfil-da-Cadeia-resumo-2022_c-serie-5-anos-v2.pdf)>. Acesso em: 25 fev. 2023.

- AZHAR, S.; LUKKAD, M. Y.; AHMAD, I. An Investigation of Critical Factors and Constraints for Selecting Modular Construction over Conventional Stick-Built Technique. *International Journal of Construction Education and Research*, v. 9, n. 3, p. 203–225, 1 jul. 2013.
- BALAGUER, C. et al. FutureHome: An integrated construction automation approach. *IEEE Robotics Automation Magazine*, v. 9, n. 1, p. 55–66, mar. 2002.
- BALDWIN, C. Y.; CLARK, K. B. Managing in an Age of Modularity. *Harvard Business Review*, 1 set. 1997.
- BARBOSA, F. et al. Reinventing construction: A route to higher productivity. [s.l.] McKinsey Global Institute, 2017. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution>>. Acesso em: 8 jul. 2020.
- BARLOW, J. et al. Choice and delivery in housebuilding: lessons from Japan for UK housebuilders. *Building Research & Information*, v. 31, n. 2, p. 134–145, 1 jan. 2003.
- BASTOS, R. DE C. S. C. [UNESP. Da coordenação modular à construção modular: estudos de caso. *Aleph*, p. 88 f., 8 dez. 2015.
- BAÚ, G. Construções modulares: Mapeamento do processo executivo de edificações em chassi de aço. TCC (graduação)—Florianópolis, Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Engenharia Civil, 7 maio 2021.
- BRANDENBURGER, A. M.; NALEBUFF, B. J. *Co-Opetition*. 1 edition ed. New York: Currency Doubleday, 1996.
- BRYMAN, A. *Social Research Methods*. Third ed. [s.l.] Oxford University Press, 2008.
- CARDOSO, F. *Stratégies d'entreprises et nouvelles formes de rationalisation de la production dans le bâtiment au Brésil et en France*. phdthesis—[s.l.] Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 29 jan. 1996.
- CBIC. CBIC revisa projeção de crescimento e construção deve crescer 1,5% em 2023. CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 31 jul. 2023. Disponível em: <<https://cbic.org.br/cbic-revisa-projecao-de-crescimento-e-construcao-deve-crescer-15-em-2023/>>. Acesso em: 23 nov. 2023
- CHAUHAN, K. et al. Deciding Between Prefabrication and On-Site Construction: A Choosing-by-Advantage Approach. . Em: 27TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC). Dublin, Ireland: 2019. Disponível em: <<https://iglc.net/Papers/Details/1686>>. Acesso em: 28 fev. 2021
- CHAUHAN, K. et al. The Monetary and Non-Monetary Impacts of Prefabrication on Construction: The Effects of Product Modularity. *Buildings*, v. 12, n. 4, p. 459, abr. 2022.
- COREYNEN, W.; MATTHYSSENS, P.; GEBAUER, H. Are You Ready for Servitization? A Tool to Measure Servitization Capacity. Em: KOHTAMÄKI, M. et al. (Eds.). *Practices and Tools for Servitization: Managing Service Transition*. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 25–39.
- COX, A.; THOMPSON, I. 'Fit for purpose' contractual relations: determining a theoretical framework for construction projects. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, v. 3, n. 3, p. 127–135, 1 set. 1997.
- COYADO PETRELLA, D. Barriers to modularity in the Brazilian construction industry and the relationship between modularity and supply chain integration. 21 dez. 2016.
- DENG, P. et al. Lateral behavior of panelized CLT walls: A pushover analysis based on minimal resistance assumption. *Engineering Structures*, v. 191, p. 469–478, 15 jul. 2019.
- DORAN, D.; GIANNAKIS, M. An examination of a modular supply chain: a construction sector perspective. *Supply Chain Management: An International Journal*, v. 16, n. 4, p. 260–270, 1 jan. 2011.
- DURAY, R. Mass customization origins: mass or custom manufacturing? *International Journal of Operations & Production Management*, v. 22, n. 3, p. 314–328, 1 jan. 2002.
- EMMATY, F. J.; SARMAH, S. P. Modular product development through platform-based design and DFMA. *Journal of Engineering Design*, v. 23, n. 9, p. 696–714, 1 set. 2012.
- FERREIRA, T. C. Produção e customização na construção volumétrica offsite: estudos de caso no Reino Unido. 1 abr. 2024.
- FOLADOR, B. M. Potenciais aplicações de tecnologias da Construção 4.0 em sistemas construtivos modulares em estrutura de aço. TCC (graduação)—Florianópolis, Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Engenharia Civil, 16 set. 2022.
- GERSHENSON, J. K.; PRASAD, G. J.; ZHANG, Y. Product modularity: Definitions and benefits. *Journal of Engineering Design*, v. 14, n. 3, p. 295–313, 1 set. 2003.
- GIBB, A. G. F. *Off-site Fabrication: Prefabrication, Pre-assembly and Modularisation*. [s.l.] John Wiley & Sons, 1999.
- GIBB, A. G. F. Standardization and pre-assembly- distinguishing myth from reality using case study research. *Construction Management and Economics*, v. 19, n. 3, p. 307–315, 1 abr. 2001.

- GIBB, A. G. F. et al. Towards adaptable buildings: pre-configuration and re-configuration - two case studies. [s.l.] © CIRIA, 2007.
- GIBB, A.; ISACK, F. Re-engineering through pre-assembly: client expectations and drivers. *Building Research & Information*, v. 31, n. 2, p. 146–160, 1 jan. 2003.
- GIBB, A.; PENDLEBURY, M. *Buildoffsite Glossary of terms*. 2nd Edition ed. London: Construction Industry Research & Information Association (CIRIA), 2006.
- GINIGADDARA, B. et al. Development of an Offsite Construction Typology: A Delphi Study. *Buildings*, v. 12, n. 1, p. 20, jan. 2022.
- GINIGADDARA, B.; PERERA, P. S. Typologies of offsite construction. *Proceedings of the 8th World Construction Symposium*, Colombo, Sri Lanka, 1 jan. 2019.
- GOSLING, J. et al. Defining and Categorizing Modules in Building Projects: An International Perspective. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 142, n. 11, p. 04016062, 1 nov. 2016.
- GRAY, C.; FLANAGAN, R. *The changing role of specialist and trade contractors*. United Kingdom: Ascot: Chartered Institute of Building (CIOB), 1989.
- HASSAN, M. A. et al. Improving structural performance of timber wall panels by inexpensive FRP retrofitting techniques. *Journal of Building Engineering*, v. 27, p. 101004, 1 jan. 2020.
- HITOMI, K. *Manufacturing Systems Engineering: A Unified Approach to Manufacturing Technology, Production Management and Industrial Economics*. 2. ed. London: Routledge, 1996.
- HOSSAIN, A.; NADEEM, A. Towards digitizing the construction industry: state of the art of construction 4.0. *Proc. of the International Structural Engineering and Construction*. Anais...ISEC Press, 2019. Disponível em: <[https://www.isec-society.org/ISEC\\_PRESS/ISEC\\_10/html/CON-13.xml](https://www.isec-society.org/ISEC_PRESS/ISEC_10/html/CON-13.xml)>. Acesso em: 23 dez. 2022
- HUANG, C.-C.; KUSIAK, A. Overview of Kanban systems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, v. 9, n. 3, p. 169–189, 1 jan. 1996.
- HYUN, H. et al. Integrated Design Process for Modular Construction Projects to Reduce Rework. *Sustainability*, v. 12, n. 2, p. 530, jan. 2020.
- HYUN, H.; KIM, H.-G.; KIM, J.-S. Integrated Off-Site Construction Design Process including DfMA Considerations. *Sustainability*, v. 14, n. 7, p. 4084, jan. 2022.
- JENSEN, P.; LIDELÖW, H.; OLOFSSON, T. Product configuration in construction. *International Journal of Mass Customisation*, v. 5, n. 1, p. 73–92, 1 jan. 2015.
- JONSSON, H.; RUDBERG, M. Classification of production systems for industrialized building: a production strategy perspective. *Construction Management and Economics*, v. 32, n. 1–2, p. 53–69, fev. 2014.
- KAMALI, M.; HEWAGE, K. Life cycle performance of modular buildings: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 62, p. 1171–1183, 1 set. 2016.
- KAMALI, M.; HEWAGE, K.; MILANI, A. S. Life cycle sustainability performance assessment framework for residential modular buildings: Aggregated sustainability indices. *Building and Environment*, v. 138, p. 21–41, 15 jun. 2018.
- KAMAR, K. A. M. et al. Industrialized Building System (IBS): Revisiting Issues of Definition and Classification. *International journal of emerging sciences*, v. 1, n. 2, p. 120–132, 2011.
- KEMPTON, J.; SYMS, P. Modern methods of construction: Implications for housing asset management in the RSL sector. *Structural Survey*, v. 27, n. 1, p. 36–45, 3 abr. 2009.
- LABARAN, Y. H. et al. Carbon footprint management: A review of construction industry. *Cleaner Engineering and Technology*, v. 9, p. 100531, 1 ago. 2022.
- LAWSON, M.; OGDEN, R.; GOODIER, C. *Design in Modular Construction*. London: CRC Press, 2014.
- LAWSON, R. M.; OGDEN, R. G.; BERGIN, R. Application of Modular Construction in High-Rise Buildings. *Journal of Architectural Engineering*, v. 18, n. 2, p. 148–154, 1 jun. 2012.
- LI, X. et al. Integrating Building Information Modeling and Prefabrication Housing Production. *Automation in Construction*, v. 100, p. 46–60, 1 abr. 2019.
- LOPEZ, D.; FROESE, T. M. Analysis of Costs and Benefits of Panelized and Modular Prefabricated Homes. *Procedia Engineering*, ICSDEC 2016 – Integrating Data Science, Construction and Sustainability. v. 145, p. 1291–1297, 1 jan. 2016.
- LU, Q. et al. Semi-automatic geometric digital twinning for existing buildings based on images and CAD drawings. *Automation in Construction*, v. 115, p. 103183, 1 jul. 2020.

- MACCARTHY, B. L.; FERNANDES, F. C. F. A multi-dimensional classification of production systems for the design and selection of production planning and control systems. *Production Planning & Control*, v. 11, n. 5, p. 481–496, 1 jan. 2000.
- MILLER, T. D.; PEDERSEN, P. E. E. *Defining Modules, Modularity and Modularization: 13th Integrated Productions Systems Research Seminar (IPS'98)*. Lyngby: IKS, 1998.
- MILTENBURG, J. *Manufacturing strategy : how to formulate and implement a winning plan*. [s.l.] Portland, Or. : Productivity Press, 2005.
- MINTZBERG, H. The Fall and Rise of Strategic Planning. *Harvard Business Review*, n. January–February 1994, 1 jan. 1994.
- MORELLI, M.; BRANDT, E. A Performance Assessment of Prefabricated Bathrooms Installed in the 1990s. Em: DELGADO, J. M. P. Q. (Ed.). *Recent Developments in Building Diagnosis Techniques*. Singapore: Springer, 2016. p. 105–126.
- NIELSEN, K. et al. Utilization of Mass Customization in Construction and Building Industry. (J. Bellemare et al., Eds.) *Managing Complexity. Anais...* Cham: Springer International Publishing, 2017.
- OVIEDO HAITO, Ricardo Juan Jose. *Estratégias para desenvolver empresas de execução especializada de serviços de obra*. Tese (doutorado)—São Paulo: Universidade de São Paulo, 16 jun. 2015.
- PAN, W.; ARIF, M. Manufactured construction: Revisiting the construction-manufacturing relations. *Procs 27th Annual ARCOM Conference. Anais...* Bristol, UK: Association of Researchers in Construction Management - ARCOM, 2011. Disponível em: <[http://www.arcom.ac.uk/-docs/proceedings/ar2011-0105-0114\\_Pan\\_Arif.pdf](http://www.arcom.ac.uk/-docs/proceedings/ar2011-0105-0114_Pan_Arif.pdf)>. Acesso em: 13 maio. 2016
- PAN, W.; GIBB, A. G. F.; DAINITY, A. R. J. Leading UK housebuilders' utilization of offsite construction methods. *Building Research & Information*, v. 36, n. 1, p. 56–67, 1 jan. 2008.
- PINE, B. J. *Mass customization : the new frontier in business competition*. [s.l.] Boston, Mass. : Harvard Business School Press, 1993.
- PINE, B. J.; PEPPERS, D.; ROGERS, M. *Do You Want to Keep Your Customers Forever?* [s.l.] Harvard Business Press, 1995.
- PRYKE, S. D. An analytical Anglo-French comparative study of construction procurement and management strategies. *RICS Research paper series*, v. 7, n. 5, 2007.
- QI, B.; COSTIN, A. BIM and Ontology-Based DfMA Framework for Prefabricated Component. *Buildings*, v. 13, n. 2, p. 394, fev. 2023.
- RAAB, J.; KENIS, P. Heading Toward a Society of Networks Empirical Developments and Theoretical Challenges. *Journal of Management Inquiry*, v. 18, n. 3, p. 198–210, 9 jan. 2009.
- RICHARD, R.-B. Industrialised building systems: reproduction before automation and robotics. *Automation in Construction, 20th International Symposium on Automation and Robotics in Construction: The Future Site*. v. 14, n. 4, p. 442–451, ago. 2005.
- ROCHA, C. G. DA. *A conceptual framework for defining customisation strategies in the house-building sector*. 2011.
- ROSSO, T. *Racionalização Da Construção*. 1a. Edição ed. [s.l.] Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, 1980.
- RUDBERG, M.; WIKNER, J. Mass customization in terms of the customer order decoupling point. *Production Planning & Control*, v. 15, n. 4, p. 445–458, 1 jun. 2004.
- SABBATINI, F. H. *Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia*. Tese (doutorado)—São Paulo: Universidade de São Paulo, 18 ago. 1989.
- SALAMA, T. et al. Near optimum selection of module configuration for efficient modular construction. *Automation in Construction*, v. 83, p. 316–329, 1 nov. 2017.
- SICMO. *SICMO – Sistema Industrializado de Construcción Modular*. Disponível em: <<http://www.sicmosystem.com/>>. Acesso em: 5 dez. 2024.
- SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. Tradução: Daniel Vieira. 8 ed. ed. São Paulo: Atlas, 2018.
- SMITH, R. E.; QUALE, J. D. *Offsite Architecture: Constructing the future*. [s.l.] Taylor & Francis, 2017.
- SOARES, G. S. *Desafios para a adoção da Indústria 4.0 na Construção: Uma Revisão Sistemática de literatura e Análise PESTEL*. TCC (graduação)—Florianópolis, Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Engenharia Civil, 19 jun. 2024.
- TATUM, C. B. Improving Constructibility during Conceptual Planning. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 113, n. 2, p. 191–207, 1 jun. 1987.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. Product design and development. [s.l.] McGraw-Hill, 2016.

WARSZAWSKI, A. Industrialized and Automated Building Systems: A Managerial Approach. 2. ed. London: Routledge, 1999.

WASIM, M.; VAZ SERRA, P.; NGO, T. D. Design for manufacturing and assembly for sustainable, quick and cost-effective prefabricated construction – a review. *International Journal of Construction Management*, v. 22, n. 15, p. 3014–3022, 28 nov. 2022.

WENG, Y. et al. Comparative economic, environmental and productivity assessment of a concrete bathroom unit fabricated through 3D printing and a precast approach. *Journal of Cleaner Production*, v. 261, p. 121245, 10 jul. 2020.

WINCH, G. Models of manufacturing and the construction process: the genesis of re-engineering construction. *Building Research & Information*, v. 31, n. 2, p. 107–118, jan. 2003.

YUAN, Z.; SUN, C.; WANG, Y. Design for Manufacture and Assembly-oriented parametric design of prefabricated buildings. *Automation in Construction*, v. 88, p. 13–22, 1 abr. 2018.

ZIMMERMANN, J. Caracterização das fontes de vantagem competitiva vinculadas com a Construção 4.0. TCC (graduação)—Florianópolis, Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Engenharia Civil, 16 dez. 2022.