

ESTRATÉGIAS DE PRODUÇÃO PARA PLATAFORMAS DE PRODUTO NA CONSTRUÇÃO INTEGRADA MODULAR: OPORTUNIDADES E DIRETRIZES INICIAIS

Production strategies for product platforms in modular integrated construction:
opportunities and initial guidelines

Kaio Pimentel Rêgo de Oliveira

Universidade Estadual de Campinas | Campinas, São Paulo | kaiopimentel1@gmail.com

Nicolas Watanabe Tsu Wan Kwok

Universidade Estadual de Campinas | Campinas, São Paulo | n206977@dac.unicamp.br

Elisa Atalia Daniel Muianga

Universidade de São Paulo | São Paulo, São Paulo | emuianga@usp.br

Ariovaldo Denis Granja

Universidade Estadual de Campinas | Campinas, São Paulo | adgranja@m.unicamp.br

RESUMO

Construção integrada Modular (CiM) é uma abordagem da construção que permite a entrega de produtos com melhor custo, prazo e qualidade por meio da industrialização e padronização. Entretanto, clientes podem solicitar customizações para atingir soluções inovadoras e valores desejados. Neste sentido, Plataformas de Produto (PPs) são recomendadas para fornecer variedade de produtos para diferentes demandas do mercado, utilizando sistemas de produção em escala. Implementações exitosas de PPs requerem que as estratégias de produção migrem do tradicional e dominante *Engineer-to-order* (ETO) para outras variantes. Porém, estratégias de produção distintas do ETO são comuns em outras indústrias, mas ainda pouco utilizadas na construção civil. Assim, o objetivo deste artigo é levantar as diferentes estratégias de produção para PPs na CiM e propor diretrizes para sua aplicação na indústria da construção, focando na relação com fornecedores da cadeia de suprimentos. Para isso, foi realizado um Mapeamento Sistemático da Literatura, processo recomendado para coleta e síntese de evidências de tópicos de pesquisa ainda pouco explorados. Posteriormente, as informações coletadas na literatura foram discutidas com gestores de empresas que adotam a CiM, para proposição das diretrizes. Os resultados contribuem para a estruturação do processo de adoção da CiM por empresas incorporadoras e construtoras.

Palavras-chave: Construção modular; Plataforma de produto; Cadeia de suprimentos; Estratégia de produção.

ABSTRACT

Modular integrated Construction (MiC) is an approach to modular construction that allows products to be delivered at a better cost, time and quality through industrialization and standardization. However, customers can request customization to achieve innovative solutions and desired values. In this sense, Product Platforms (PPs) are recommended to provide product variety for different market demands using scaled production systems. Successful PP implementations require production strategies to migrate from the traditional and dominant Engineer-to-Order (ETO) to other variants. However, production strategies other than ETO are common in other industries, but still few in the construction industry. Therefore, the aim of this paper is to summarize the different production strategies for PPs in MiC and to propose guidelines for their application in the construction industry, focusing on the relationship with suppliers in the supply chain. To this end, a systematic literature mapping was carried out, a process recommended for collecting and synthesizing evidence on research topics that have not yet been explored. Subsequently, the information gathered from the literature was discussed with managers of companies that implement MiC in order to propose guidelines. The results contribute to structuring the process of adopting MiC by building and real estate development companies.

Keywords: Modular construction; Product platform; Supply chain; Production strategy.

1 INTRODUÇÃO

A Construção integrada Modular (CiM) é uma abordagem que transiciona as atividades fragmentadas de construção, realizadas no canteiro, para atividades de produção e montagem de módulos pré-acabados, realizados em fábrica, com foco no valor para os clientes (Pan; Hon, 2018). A CiM tem mostrado resultados positivos no alcance dos objetivos de investimento da construção (projetos inovadores, melhor custo, prazo e qualidade dos produtos, e foco no uso, operação e manutenção) (Peltokorpi *et al.*, 2018; Steinhardt *et al.*, 2020; Wuni; Shen, 2022; Shahzad *et al.*, 2023). Por meio da CiM, produtos modulares são produzidos e montados em fábricas, e posteriormente transportados para o canteiro de obra para instalação e acabamento (Smith, 2016). A CiM incorpora os conceitos de Construção Modular e amplia essa abordagem ao considerar não somente o uso de módulos tridimensionais, mas também partes menores, como componentes e subcomponentes que podem, inclusive, ser integrados a outros sistemas construtivos na composição do produto final (Pan; Hon, 2018). Ainda, a CiM considera a perspectiva de empresas que integram componentes e subcomponentes modulares fornecidos pela cadeia de suprimentos, ao invés de fabricação própria (Pan; Hon, 2018).

A padronização de processos e reprodução de produtos em massa são fundamentais para a efetividade da CiM e do alcance dos objetivos de investimento da construção (Jonsson; Rudberg, 2014; Pan; Hon, 2018; Langston; Zhang, 2021). Entretanto, estratégias para atender as necessidades específicas dos clientes podem ser adotadas por meio de customização de produtos, para alcançar soluções inovadoras, variedade e valores desejados (Lampel; Mintzberg, 1996; Bonev; Wörösch; Hvam, 2015). Customização significa desenvolver produtos em respostas às necessidades específicas de um cliente (Pine; Pepper; Rogers, 1995). Neste trabalho, delimita-se que a customização ocorre antes da entrega do produto, enquanto a personalização é feita pelo cliente após a entrega do produto (Noguchi, 2004; Taube; Hirota, 2017).

Neste sentido, Plataformas de Produto (PPs) são recomendadas para fornecer variedade de produtos para diferentes demandas do mercado, utilizando sistemas de produção em escala (Jansson; Johnsson; Engström, 2014). PPs são definidas como um conjunto de recursos (componentes, processos, conhecimento, pessoas e relações) que são compartilhados por um conjunto de produtos (Robertson; Ulrich, 1998). PPs permitem o balanceamento entre padronização e customização por meio da padronização de elementos compartilhados, não visíveis para o cliente (como estruturas), e customização de elementos visíveis e desejados pelos clientes, como acabamentos (Robertson; Ulrich, 1998). A definição da quantidade padronizada e customizada do produto direciona a definição das estratégias de produção.

Neste trabalho, o entendimento de estratégia de produção está ligado ao ponto de desacoplamento do pedido do cliente, momento em que ocorre a entrada do cliente no processo de desenvolvimento do produto (PDP) (Winch, 2003). Por exemplo, na estratégia *Engineer-to-order* (ETO), o cliente participa ativamente do projeto desde a sua concepção, puxando produtos únicos, com baixa padronização e elevado grau de customização (Jansson; Johnsson; Engström, 2014; Bonev; Wörösch; Hvam, 2015). Em contrapartida, na estratégia “Seleção de Variante” (SV), o cliente entra no PDP somente na fase de montagem e acabamento, escolhendo um produto, pouco ou nada customizável, do catálogo de opções (Jensen; Olofsson; Johnsson, 2012). O ponto de entrada do cliente no PDP determina a possibilidade de estratégias intermediárias que equilibrem padronização e customização (Bonev; Wörösch; Hvam, 2015).

A construção é um dos setores que mais utilizam a estratégia de produção ETO. Porém, essa abordagem tende a restringir os benefícios associados à padronização (Vrijhoef; Koskela, 2000; Voordijk; Mijboom; De Haan, 2006). Além disso, o ETO eleva os níveis da cadeia de suprimentos, provocando instabilidades e aumento da complexidade nas relações (Jansson; Johnsson; Engström, 2014). Por isso, empresas de CiM têm percebido a necessidade de migrar do tradicional e dominante ETO para outras estratégias de produção em que o cliente entra mais tardiamente no PDP (Bonev; Wörösch; Hvam, 2015; Peltokorpi *et al.*, 2018). Entretanto, a adoção de SV pode dificultar a aceitabilidade do produto pelo cliente, pois não atende de forma direta aos seus desejos individuais de customização (Popovic; Schauerte; Elgh, 2022). Por este motivo, é defendido que estratégias intermediárias sejam uma opção viável (Jensen; Olofsson; Johnsson, 2012; Peltokorpi *et al.*, 2018).

A mudança da estratégia de produção impacta diretamente no relacionamento com a cadeia de suprimentos, principalmente com fornecedores (Jiang *et al.*, 2023). Quanto maior a padronização e grau de acabamento dos módulos antes da entrada do cliente, maior a necessidade de integração com os fornecedores (Peltokorpi *et al.*, 2018). Construtoras e incorporadoras que desejam adotar a CiM e não almejam possuir suas próprias fábricas, dependem horizontalmente dos fornecedores de módulos (Voordijk; Mijboom; De Haan, 2006; Jiang *et al.*, 2023). Porém, para assumir o controle das características de seus módulos e desenvolvê-los para atender diretamente às necessidades do projeto, empresas optam por verticalizar a sua produção

(Popovic; Schauerte; Elgh, 2022). De todo modo, o relacionamento da empresa com seus fornecedores afeta significativamente o projeto de CiM (Jiang *et al.*, 2023).

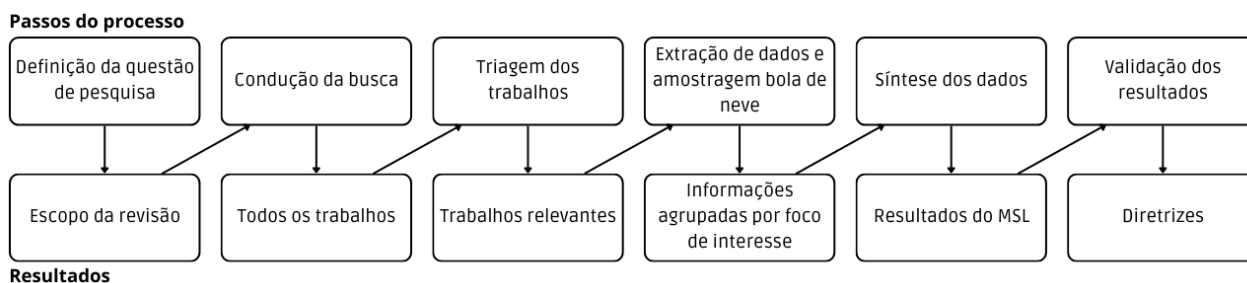
Diante do que foi apresentado, desdobram-se as seguintes questões de pesquisa: Quais estratégias de produção são mais adequadas para a adoção de plataformas de produto na CiM? Como essas estratégias de produção podem ser aplicadas para alcançar os objetivos de investimento da construção de incorporadoras e construtoras? Quais os impactos dessas estratégias no relacionamento com fornecedores de componentes e módulos?

Para responder às questões de pesquisa, a pesquisa busca levantar as diferentes estratégias de produção para PPs na CiM e propor diretrizes para sua aplicação na indústria da construção, focando na relação com fornecedores de componentes e módulos da cadeia de suprimentos.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Para atender ao objetivo e responder às questões de pesquisa, realizou-se uma busca na literatura para identificar estratégias de produção utilizadas em PPs na CiM. A estratégia metodológica utilizada na busca foi o Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL). O MSL é um processo que identifica, avalia e interpreta trabalhos disponíveis na literatura e que respondam a uma questão de pesquisa, contribuindo para um tópico de interesse (Kitchenham, 2012). Comparado com revisões de literatura tradicionais, o MSL propõe um método de busca bem definido que reduz viés, aumenta o raio de busca e potencializa conclusões mais generalizadas por meio de meta-análises (Petersen *et al.*, 2008). Seus resultados sintetizam evidências acerca de um tema e fornecem bases sólidas para direcionar novas atividades de pesquisa dentro de um tópico de interesse (Kitchenham, 2012). A Figura 1 apresenta o processo de condução realizado no MSL.

Figura 1: Delineamento metodológico



Fonte: Autores, com base em Petersen *et al.* (2008); Kitchenham (2012)

O uso de ferramentas que auxiliam e aceleram os passos do processo é recomendado para que os resultados possam ir além de bibliometrias quantitativas, sintetizando qualitativamente os resultados obtidos (Petersen *et al.*, 2008). Neste trabalho, foi utilizado o *software* StArt, desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software da Universidade Federal de São Carlos.

2.1 CONDUÇÃO DA BUSCA

As buscas foram realizadas em bases de dados que reúnem eletronicamente trabalhos acadêmicos. Além do processo interno de avaliação dos trabalhos pelas editoras e conferências, as bases de dados possuem critérios de qualidade para aceitar a indexação desses trabalhos publicados por editoras e conferências. Assim, é pressuposto que os trabalhos coletados nas bases passaram por um crivo de qualidade anterior.

A busca em base de dados é realizada utilizando *strings* de busca. As *strings* são compostas por termos que se relacionam diretamente com o tópico de pesquisa, ao mesmo tempo que permitem responder às questões (Petersen *et al.*, 2008). Esses termos são relacionados na *string* por meio de operadores booleanos que auxiliam em uma busca mais focada (Petersen *et al.*, 2008; Kitchenham, 2012).

Inicialmente, foram realizadas buscas exploratórias no *Google Scholar* para identificar os termos mais recorrentes em trabalhos que abordam o problema de pesquisa. Nestas buscas, identificou-se que a CiM possui diferentes denominações em diferentes locais do mundo (Pan; Zhang; Yang 2020). Além disso, observou-se que as estratégias de produção não são frequentemente abordadas nos campos em que as bases buscam os termos (título, resumo e palavras-chave), mas sim ao longo do texto. Observou-se, ainda, que as estratégias são comumente discutidas dentro de trabalhos que abordam Plataformas de Produto e Cadeia de Suprimentos. Todas essas informações foram consideradas na definição da *string*.

A *string* foi buscada nas bases (A) Scopus, (B) Web of Science, (C) Engineering Village e (D) Scielo. As bases (A), (B) e (C) permitem a combinação de operadores booleanos mais complexos, o que aumenta o foco da busca. A base (A) indexa os trabalhos do *International Group for Lean Construction* (IGLC), uma das conferências mais relevantes na área de *Lean Construction* e que possui um *track* dedicado à Construção Modular. Por fim, a base (D) indexa trabalhos da América Latina, o que auxilia na coleta de trabalhos com contextos brasileiros ou próximos geograficamente. Os metadados dos trabalhos capturados em cada uma das bases foram exportados no formato RIS, importados no *software* StArt e agrupados para formar a amostra inicial.

2.2 TRIAGEM DOS TRABALHOS

A partir da amostra inicial, o *software* StArt automaticamente identificou os trabalhos duplicados entre bases e realizou a exclusão das duplicidades. A triagem foi então realizada nos trabalhos restantes, aplicando critérios de exclusão para excluir trabalhos que não são relevantes para responder à questão de pesquisa (Petersen *et al.*, 2008). Devido ao pequeno número de trabalhos capturados nas buscas, nesta etapa, o critério de exclusão adotado foram somente trabalhos fora da área de construção. Para isso, foram avaliados individualmente os títulos, resumo e palavras-chave dos trabalhos. Após as exclusões, a amostra inicial foi reduzida aos trabalhos relevantes.

2.3 EXTRAÇÃO DE DADOS E AMOSTRAGEM BOLA DE NEVE

Os trabalhos relevantes passaram por uma leitura completa para realizar a extração de dados. O *software* StArt foi utilizado para documentar as informações extraídas. Para cada trabalho, foram extraídas as (i) estratégias citadas; (ii) definições das estratégias; (iii) vantagens e desvantagens das estratégias; e (v) relação com a cadeia de suprimentos. Nesta etapa, um novo critério de exclusão foi aplicado, excluindo trabalhos que não abordavam estratégias de produção em seu escopo.

Durante a extração de dados, novos trabalhos foram somados à amostra por meio da amostragem bola de neve, que utiliza a cadeia de referências dos trabalhos para capturar trabalhos adicionais que não foram capturados nas bases (Wohlin, 2014). Assim, evita-se que trabalhos seminais fiquem de fora da amostra final (Petersen *et al.*, 2008; Kitchenham, 2012; Wohlin, 2014).

2.4 SÍNTESE DOS DADOS

A síntese dos dados resume e consolida os resultados obtidos a partir da extração dos dados (Petersen *et al.*, 2008). Assim, os dados coletados foram confrontados e analisados para propor, com base na literatura, as principais estratégias de produção, suas definições, conceitos e relacionamento com a cadeia de suprimentos.

2.5 VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Para entender como as diferentes estratégias de produção podem ser aplicadas para alcançar os objetivos de investimento da construção, os resultados do MSL foram apresentados e discutidos, individualmente, com gestores de três incorporadoras e construtoras que desenvolvem produtos de CiM (Figura 2). Esse processo foi realizado por meio de entrevistas semi-estruturadas, realizadas de forma online. As questões da entrevista foram desenvolvidas a partir dos elementos teóricos coletados no MSL. As evidências coletadas na literatura e na prática permitiram a proposição de diretrizes para aplicação das estratégias de produção na construção, com foco no relacionamento com fornecedores de componentes e sistemas modulares.

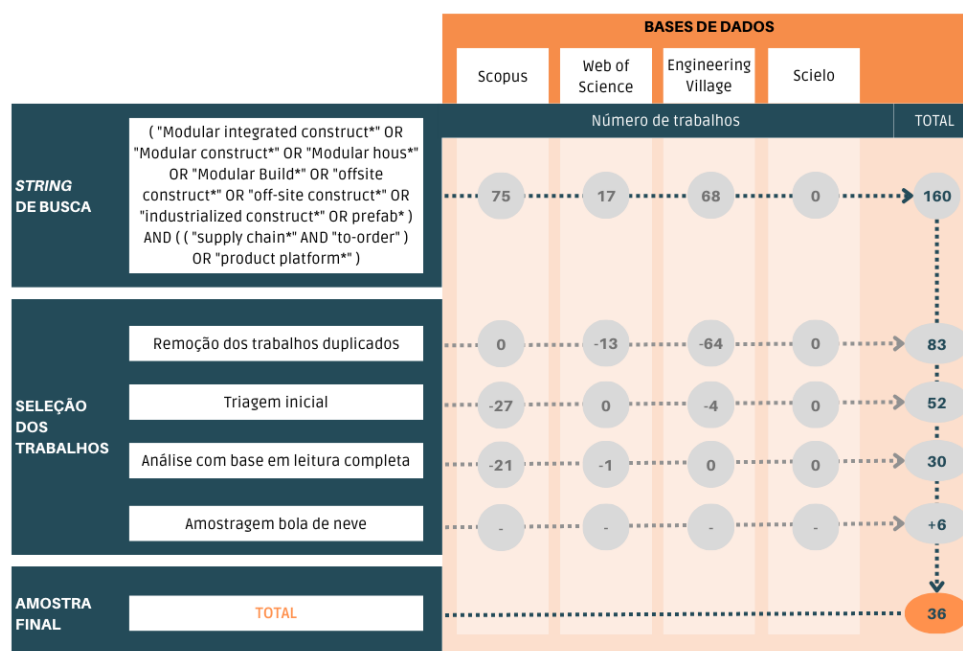
Figura 2: Perfil dos entrevistados

Empresa A	UF de atuação principal Santa Catarina	Desenvolve empreendimentos verticais de alto padrão, com foco na entrega de alta qualidade e superação das expectativas dos clientes utilizando predominantemente componentes customizados e poucos componentes padronizados. A empresa possui um centro de produção de componentes fora do canteiro.	Gestor entrevistado	Engenheiro Civil com mais de 23 anos de experiência em gestão de projetos, processos, inovação e transformação digital. Atualmente, ocupa o cargo de Engenheiro de inovação, estabelecendo estratégias para prospecção, implementação e mensuração de novas tecnologias.	Duração: 85 min
Empresa B	UF de atuação principal São Paulo	Desenvolve empreendimentos de médio e alto padrão, com foco na entrega de qualidade, custo e prazo. Utiliza coleta de requisitos dos clientes para alimentar a definição de componentes padronizados e customizados, adquiridos com a cadeia de suprimentos. A empresa presta consultoria para empresas que querem adotar a CiM.	Gestor entrevistado	Engenheiro Civil, mestre e professor de cursos profissionalizantes com mais de 40 anos de experiência na indústria de produtos para construção. Atualmente, é CEO da empresa entrevistada, atuando com foco na promoção de mudanças operacionais e organizacionais em mercados competitivos e ambientes com condições adversas.	Duração: 100 min
Empresa C	UF de atuação principal Paraná	Desenvolve bairros integrados, desde a infraestrutura até as torres habitacionais. Oferece aos clientes produtos padronizados e não customizáveis. Possui uma fábrica, fora do canteiro, para produzir os componentes e sistemas modulares utilizados nos empreendimentos.	Gestor entrevistado	Engenheira Civil com 23 anos de experiência nas áreas comercial, produção de pré-fabricados, planejamento, incorporação e construção. Atualmente, é Engenheira Superintendente da empresa entrevistada, atuando na incorporação e construção dos empreendimentos.	Duração: 50 min

Fonte: Autores

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussões foram gerados a partir da síntese e análise dos dados presentes em 36 trabalhos. A Figura 3 sintetiza os resultados obtidos a partir da condução do processo do MSL.

Figura 3: Composição da amostra de trabalhos


Fonte: Autores

A partir da extração, análise e síntese das informações levantadas na amostra final dos trabalhos, a Figura 4 consolida as estratégias de produção abordadas, juntos às suas descrições. As estratégias foram agrupadas em 3 grupos, de acordo com o foco entre produção customizada e padronizada.

Figura 4: Estratégias de produção para a Construção integrada Modular

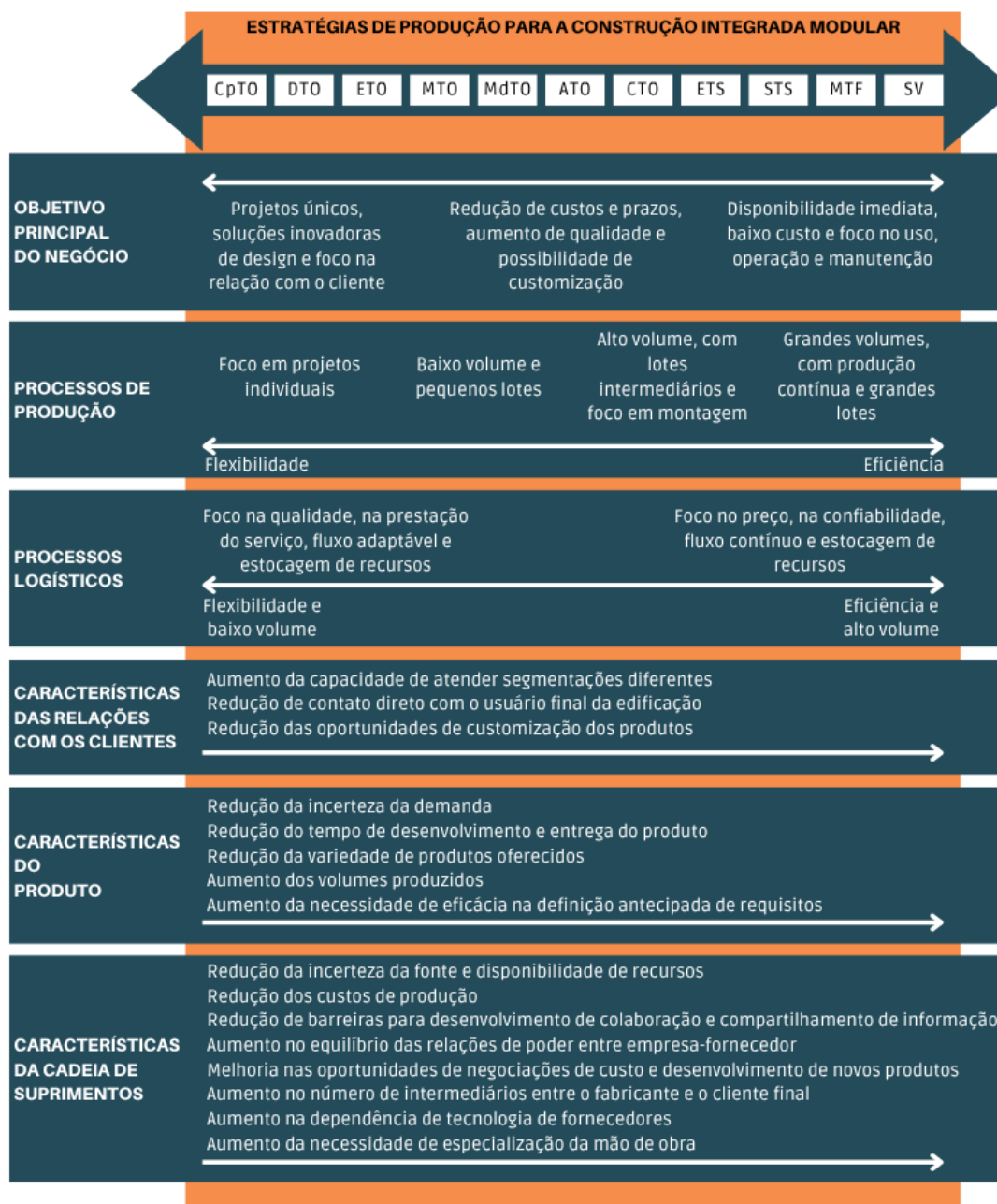
GRUPO 1: FOCO NA CUSTOMIZAÇÃO			
Concept-To-Order CpTO	Design-To-Order DTO	Engineer-To-Order ETO	
<p>Similares ao ETO, porém com maior ênfase na fase inicial de design conceitual e detalhamento do projeto em colaboração com o cliente, antes da engenharia de produção específica para a fabricação modular.</p>	<p>Abordagem em que o produto (neste caso, o módulo ou edificação modular) é projetado e fabricado sob medida para atender às necessidades específicas de cada cliente. O PDP se inicia somente após o pedido do cliente.</p>		
<p>Winch, 2003; Vrijhoef; Koskela, 2005; Forsman et al., 2012; Jansson; Johnsson; Engström, 2014</p>	<p>Winch, 2003; Vrijhoef; Koskela, 2005; Forsman et al., 2012; Johnsson, 2013</p>	<p>Vrijhoef; Koskela, 2005; Forsman et al., 2012; Jensen; Olofsson; Johnsson, 2012; Johnsson, 2013; Johnsson; Jansson; Jensen, 2013; Jansson; Johnsson; Engström, 2014; Matt; Dallasega; Rauch, 2014; Powell et al., 2014; Matt; Dallasega; Rauch, 2015; Markworth Johnsen; Kristjansdottir; Hvam, 2017; Viana; Tommelein; Formoso, 2017; Elgh et al., 2018; Montali et al., 2018; POPOVIC; Raudberget; Elgh, 2020; Thajudeen; Lennartsson; Elgh, 2020; Cao et al., 2021; Popovic; Elgh; Heikkinen, 2021; Chen et al., 2022; Lennartsson; André; Elgh, 2023</p>	
GRUPO 2: EQUILÍBRIO ENTRE CUSTOMIZAÇÃO E PADRONIZAÇÃO			
Make-To-Order/ Made-To-Order - MTO	Modify-To-Order – MdTO / Adapt-To-Order - AdTO	Assembly-To-Order - ATO	Configure-To-Order - CTO
<p>O produto final (módulo ou edificação) baseia-se em um pré-projeto, com a maioria das definições finais realizadas somente após o pedido do cliente, o que possibilita a incorporação de maior grau de customização.</p>	<p>Abordagem em que módulos ou componentes possuem parâmetros padronizados (alturas, piso padronizado, soluções técnicas, acabamento para paredes externas e internas e tipos de janelas) antes da fabricação. Algumas modificações ou customizações podem ser realizadas para atender requisitos específicos do cliente.</p>	<p>Abordagem em que os componentes são produzidos antecipadamente e estocados, com a montagem final do produto (módulo ou edificação) somente após o recebimento do pedido do cliente. A montagem dos componentes predefinidos possibilita diferentes combinações e algumas customizações, mas limitado a um leque de possibilidades de configuração.</p>	<p>Uma evolução do conceito ATO. A principal diferença entre elas é que na ATO os componentes e subcomponentes são estocados pela construtora, enquanto na CTO a estocagem é responsabilidade da cadeia de suprimentos.</p>
<p>Winch, 2003; Jansson; Johnsson; Engström, 2014; Matt; Dallasega; Rauch, 2014; Powell et al., 2014; Matt; Dallasega; Rauch, 2015; Markworth Johnsen; Kristjansdottir; Hvam, 2017; Montali et al., 2018; Jiang et al., 2023</p>	<p>Jensen; Olofsson; Johnsson, 2012; Johnsson, 2013; Elgh et al., 2018; Montali et al., 2018; Popovic; Raudberget; Elgh, 2020; Thajudeen; Lennartsson; Elgh, 2020; Cao et al., 2021; Popovic; Elgh; Heikkinen, 2021; Popovic; Schauerte; Elgh, 2022; Lennartsson; André; Elgh, 2023</p>	<p>Vrijhoef; Koskela, 2005; Jansson; Johnsson; Engström, 2014; Matt; Dallasega; Rauch, 2014; Powell et al., 2014; Matt; Dallasega; Rauch, 2015; Markworth Johnsen; Kristjansdottir; Hvam, 2017; Montali et al., 2018; Popovic; Raudberget; Elgh, 2020; Thajudeen; Lennartsson; Elgh, 2020</p>	<p>Jensen; Olofsson; Johnsson, 2012; Elgh et al., 2018; Peltokorpi et al., 2018; Cao et al., 2021; Popovic; Elgh; Heikkinen, 2021; Popovic; Schauerte; Elgh, 2022; Lennartsson; André; Elgh, 2023</p>
GRUPO 3: FOCO NA PADRONIZAÇÃO			
Make-To-Stock – MTS / Engineer-To-Stock - ETS	Ship-To-Stock - STS	Make-To-Forecast - MTF	Select Variants - SV
<p>Abordagem em que produtos acabados e até mesmo mobiliados (módulos tridimensionais ou edificações completas) são fabricados com base em previsões de demanda e mantidos em estoque para pronta entrega. Geralmente, há pouca ou nenhuma customização para clientes individuais. O cliente escolhe entre um conjunto de produtos existentes.</p>			
<p>Johnsson, 2013; Jansson; Johnsson; Engström, 2014; Matt; Dallasega; Rauch, 2014; Powell et al., 2014; Matt; Dallasega; Rauch, 2015; Markworth Johnsen; Kristjansdottir; Hvam, 2017; Jiang et al., 2023</p>	<p>Jansson; Johnsson; Engström, 2014</p>	<p>Winch, 2003</p>	<p>Winch, 2003; Jensen; Olofsson; Johnsson, 2012; Elgh et al., 2018; Popovic; Raudberget; Elgh, 2020; Thajudeen; Lennartsson; Elgh, 2020; Cao et al., 2021; Popovic; Schauerte; Elgh, 2022; Lennartsson; André; Elgh, 2023</p>

Fonte: Autores

O uso de estratégias do Grupo 1 dificulta a implementação de PPs totalmente parametrizadas devido ao predomínio de projetos únicos (Jansson; Johnsson; Engström, 2014). Em contrapartida, estratégias dos Grupos 2 e 3 elevam o potencial de utilização das PPs, bem como seus benefícios para alcançar os objetivos de investimento da construção (Jansson; Johnsson; Engström, 2014; Bonev; Wörösch; Hvam, 2015; Peltokorpi *et al.*, 2018). Neste sentido, as estratégias MdTO, AdTO, ATO e CTO fazem um bom equilíbrio entre eficiência produtiva e atendimento das necessidades específicas dos clientes, sendo estratégias favoráveis para a aplicação de PPs (Bonev; Wörösch; Hvam, 2015). Na construção, mesmo aplicando PPs, alguns componentes e sistemas ainda permanecem ETO, como as fundações. Com isso, empresas podem aplicar diferentes estratégias de produção em partes diferentes do produto. Ainda, empresas de construção podem adotar uma estratégia na etapa de engenharia do produto e outra na produção do produto (Bonev; Wörösch; Hvam, 2015). Por exemplo, desenvolver componentes e sistemas por meio de ETO (engenharia), padronizar esses componentes e sistemas, e produzir produtos por meio de ATO ou CTO a partir dos elementos padronizados.

A partir da amostra do MSL, as informações extraídas de cada estratégia de produção foram agrupadas em 6 dimensões que têm interface com o PDP de CiM. Estudos anteriores abordam esses elementos de forma isolada ou em pares. A síntese apresentada na Figura 5 contribui no agrupamento dessas informações.

Figura 5: Elementos associados à escolha da estratégia de produção na Construção integrada Modular



Fonte: Autores

Os conceitos levantados na literatura foram discutidos com 3 gestores de empresas que atuam no mercado brasileiro de CiM, objetivando a proposição de diretrizes para aplicação das estratégias por empresas incorporadoras e construtoras de CiM. A empresa A utiliza a estratégia ETO, representando o Grupo 1; a empresa B utiliza a estratégia CTO, representando o Grupo 2; e a empresa C utiliza a estratégia SV, representando o Grupo 3. As diretrizes propostas, com as empresas que forneceram as suas evidências entre parênteses, são apresentadas a seguir:

- Estratégias do Grupo 1 são direcionadas para empresas que priorizam a entrega de projetos únicos, inovadores e altamente customizados, com oportunidade de incorporar módulos padronizados em partes menores da construção, como kits de instalações e esquadrias prontas (EMPRESA A).
- Estratégias do Grupo 2 são direcionadas para empresas que buscam entregar produtos mais padronizados, voltados para entrega de melhor custo, prazo e qualidade, sendo diferenciados por elementos customizáveis (normalmente configurações e acabamentos). Nestas estratégias, há oportunidade de usos de painéis, como paredes prontas, e módulos tridimensionais, como banheiros prontos. Esses elementos são configurados para atingir as definições de projeto (EMPRESA B).
- Estratégias do Grupo 3 são direcionadas para empresas que buscam entregar produtos padronizados, em escala e com baixo custo. Nestas estratégias, há oportunidade de uso de diferentes tipos de módulos em habitações padronizadas. Com pouca ou nenhuma customização, o cliente final escolhe qual modelo de casa ou apartamento deseja adquirir (EMPRESA C).
- Considerando uma adoção gradual da CiM, empresas podem iniciar em uma estratégia ETO para desenvolver componentes e sistemas modulares junto aos fornecedores e estabelecer padrões. A partir dos padrões definidos, abre-se a possibilidade de migrar para outras estratégias com base nos componentes que estão padronizados (EMPRESAS A e B).
- Em todas as estratégias, sobretudo MdTO, ATO e CTO, é preciso estabelecer relações estáveis, confiáveis e duradouras com os fornecedores para desenvolver alternativas de customização de elementos e sistemas padronizados para possibilitar que os requisitos arquitetônicos sejam alcançados (EMPRESA B).
- A implementação exitosa das estratégias de produção em CiM dependem do desenvolvimento de projetos para industrialização ao invés de projetos que serão adaptados para a industrialização (EMPRESAS B e C).
- A estratégia CTO é adequada para construtoras e incorporadoras que dependem de fornecedores de componentes e sistemas industrializados, uma vez que o projeto será concebido a partir da configuração de componentes e sistemas já existentes (EMPRESA B).
- O uso de MdTO, ATO e CTO permitem uma flexibilidade que entrega diferentes funcionalidades para o cliente final, utilizando um mesmo produto com espaço padrão (áreas sob lajes planas, por exemplo) (EMPRESA B).
- Incorporadoras e construtoras de uma mesma região podem estabelecer padrões básicos para os componentes industrializados (por exemplo, o pé direito de banheiros prontos, sistemas de juntas de fachadas e conectores de kits hidráulicos e elétricos). Isso possibilita redução de custos e prazo de entrega por parte dos fornecedores, por meio do aumento da escala e repetição da produção (EMPRESAS B e C).
- O uso efetivo de estratégias do Grupo 2 depende da disponibilidade de fornecedores de diferentes componentes e sistemas industrializados. Quanto maior a quantidade de fornecedores e soluções disponíveis, maiores as opções de configuração possíveis (EMPRESA B).
- Empresas que adotam maior grau de padronização (Grupo 3), podem verticalizar a sua produção por meio de fábricas próprias para melhorar o controle sobre custos e tecnologia (EMPRESA C).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho levanta as diferentes estratégias de produção para PPs na CiM e propõe diretrizes para sua aplicação na indústria da construção. Para isso, foi realizado um Mapeamento Sistemático da Literatura para levantar, agrupar, analisar e sintetizar informações disponíveis na literatura, com posterior discussão dessas informações com gestores de empresas para proposição de diretrizes práticas de aplicação dos conceitos teóricos.

Os resultados obtidos apontam que diferentes estratégias de produção podem ser adotadas, a depender dos objetivos de investimento da construção de empresas construtoras e incorporadoras. São apresentados, ainda, os impactos na escolha de cada estratégia nos processos de produção e logísticos, nas relações com os clientes, nas características do produto e na relação com a cadeia de suprimentos. Por fim, as diretrizes fornecem implicações práticas para aplicação das estratégias de produção e fornecem oportunidades para o desenvolvimento da cadeia de suprimentos, em especial fornecedores de componentes e sistemas modulares.

Em relação a trabalhos anteriores, este artigo aborda uma maior quantidade de estratégias de produção e as relaciona com as principais dimensões relacionadas ao PDP de CiM, o que eleva o espectro de possibilidades para definição de estratégias de negócio de construtoras e incorporadoras. Estudos futuros podem integrar a definição da estratégia de produção com outras dimensões que compõem o processo de adoção da CiM, estruturando estratégias e modelos de negócio.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de fomento à pesquisa: O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001; Bolsa de Iniciação Científica através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – SAE (Serviço de Apoio ao Estudante) da Unicamp; CNPq – bolsa Produtividade em Pesquisa – processo 314760/2023-7.

REFERÊNCIAS

- BONEV, M.; WÖRÖSCH, M.; HVAM, L. Utilizing platforms in industrialized construction: A case study of a precast manufacturer. **Construction Innovation**, v. 15, n. 1, p. 84–106, 2015.
- CAO, J. et al. Cross-phase product configurator for modular buildings using kit-of-parts. **Automation in Construction**, v. 123, 2021.
- CHEN, Q. et al. Exploiting digitalization for the coordination of required changes to improve engineer-to-order materials flow management. **Construction Innovation**, v. 22, n. 1, p. 76–100, 2022.
- ELGH, F. et al. Platform models for agile customization – what’s beyond modularization? (Peruzzini M. et al., Eds.) *Adv. Transdiscipl. Eng. Anais...* Em: **ADVANCES IN TRANSDISCIPLINARY ENGINEERING**. IOS Press BV, 2018.
Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85057963770&doi=10.3233%2f978-1-61499-898-3-371&partnerID=40&md5=783fc397d1eb81d7cdee2e6066faa0f1>>
- FORSMAN, S. et al. Need for innovation in supplying engineer-to-order joinery products to construction: A case study in Sweden. **Construction Innovation**, v. 12, n. 4, p. 464–491, 2012.
- HVAM, Lars et al. A framework for determining product modularity levels. **Advances in Mechanical Engineering**, v. 9, n. 10, p. 168781401771942, out. 2017.
- JANSSON, G.; JOHNSON, H.; ENGSTRÖM, D. Platform use in systems building. **Construction Management and Economics**, v. 32, n. 1–2, p. 70–82, fev. 2014.
- JENSEN, P.; OLOFSSON, T.; JOHNSON, H. Configuration through the parameterization of building components. **Automation in Construction**, v. 23, p. 1–8, maio 2012.
- JIANG, W. et al. Modelling of pricing, crashing, and coordination strategies of prefabricated construction supply Chain with power structure. **PLOS ONE**, v. 18, n. 8, 10 ago. 2023.
- JOHNSON, H. Production strategies for pre-engineering in house-building: Exploring product development platforms. **Construction Management and Economics**, v. 31, n. 9, p. 941–958, 2013.
- JOHNSON, H.; JANSSON, G.; JENSEN, P. Modularization in a housing platform for mass customization. (Smith S.D., Ahiaga-Dagbui D.D., Eds.) *Anais...* Em: **PROCEEDINGS 29TH ANNUAL ASSOCIATION OF RESEARCHERS IN CONSTRUCTION MANAGEMENT CONFERENCE, ARCOM 2013**. Association of Researchers in Construction

Management, 2013. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84981360254&partnerID=40&md5=ee750c1891ecb069b56a78e39f756708>>

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, 1 fev. 2014.

KITCHENHAM, B. A. **Systematic review in software engineering: where we are and where we should be going**. Proceedings of the 2nd international workshop on Evidential assessment of software technologies. **Anais... EAST '12**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 22 set. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2372233.2372235>>. Acesso em: 31 jan. 2025

LAMPEL, J.; MINTZBERG, H. Customizing Customization. **Sloan Manage. Rev.** 1996, 38, 21–30.

LANGSTON, C.; ZHANG, W. DfMA: Towards an Integrated Strategy for a More Productive and Sustainable Construction Industry in Australia. **Sustainability**, v. 13, n. 16, p. 9219, 17 ago. 2021.

LENNARTSSON, M.; ANDRÉ, S.; ELGH, F. PLM support for design platforms in industrialized house-building. **Construction Innovation**, v. 23, n. 2, p. 265–286, 2023.

MARKWORTH JOHNSEN, S. H.; KRISTJANSDDOTTIR, K.; HVAM, L. Improving product configurability in ETO companies. (Kim H. et al., Eds.). **Anais... Em: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN, ICED**. Design Society, 2017. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85029811244&partnerID=40&md5=8cc99f408b9aabe6a7401ee188d31e30>>

MATT, D. T.; DALLASEGA, P.; RAUCH, E. On-site oriented capacity regulation for fabrication shops in Engineer-to-Order companies (ETO). (Teti R., D. of C. University of Naples Federico II Materials and Industrial Production Engineering, Fraunhofer Joint Laboratory of Excellence on Advanced Production Technology (Fh-J_LEAPT), P. le Tecchio 80, Naples, Eds.) **Procedia CIRP. Anais... Em: PROCEDIA CIRP**. Elsevier, 2015. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84939802796&doi=10.1016%2fj.procir.2015.06.036&partnerID=40&md5=0420bccf471d0e69bd7a3f9dfed58962>>

MATT, D. T.; DALLASEGA, P.; RAUCH, E. Synchronization of the manufacturing process and on-site installation in ETO companies. **Procedia CIRP. Anais... Em: PROCEDIA CIRP**. Elsevier B.V., 2014. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84904472010&doi=10.1016%2fj.procir.2014.01.058&partnerID=40&md5=55a32c34173a53bd24ded02fbedad3b9>>

MONTALI, J. et al. Knowledge-Based Engineering in the design for manufacture of prefabricated façades: current gaps and future trends. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 14, n. 1–2, p. 78–94, 2018.

NOGUCHI, M. **A Choice Model for Mass Customization of Lower-Cost and Higher Performance Housing in Sustainable Development**. Montreal, 2004. 367 f. Thesis (Doctor of Philosophy in Architecture) – School of Architecture, McGill University, Montreal, 2004.

PAN, W.; HON, C. K. Modular integrated construction for high-rise buildings. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer**, v. 173, n. 2, p. 64–68, out. 2018.

PAN, W.; ZHANG, Z.; YANG, Y. Briefing: Bringing clarity and new understanding of smart and modular integrated construction. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Smart Infrastructure and Construction**, v. 173, n. 1, p. 175–179, 1 mar. 2020.

PELTOKORPI, A. et al. Categorizing modularization strategies to achieve various objectives of building investments. **Construction Management and Economics**, v. 36, n. 1, p. 32–48, 2 jan. 2018.

PETERSEN, K. et al. **Systematic Mapping Studies in Software Engineering**. Em: 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON EVALUATION AND ASSESSMENT IN SOFTWARE ENGINEERING (EASE). 1 jun. 2008. Disponível em: <<https://scienceopen.com/document?vid=6d552894-2cc3-4e2b-a483-41fa48a37ef8>>. Acesso em: 12 abr. 2023

PINE, B. J.; PEPPER, D.; ROGERS, M. Do You Want to Keep Your Customers Forever? **Harvard Business Review**, 1995

POPOVIC, D.; ELGH, F.; HEIKKINEN, T. Configuration of flexible volumetric elements using product platforms: Information modeling method and a case study. **Automation in Construction**, v. 126, 2021.

POPOVIC, D.; RAUDBERGET, D.; ELGH, F. Product Platforms in Industrialized House Building - Information Modeling Method. (K. Safsten, F. Elgh, Eds.) **Jonkoping University. Anais... Em: SPS2020**. 2020.

POPOVIC, D.; SCHAUERTE, T.; ELGH, F. Product platform alignment in industrialised house building. **Wood Material Science and Engineering**, v. 17, n. 6, p. 572–585, 2022.

POWELL, D. et al. A new set of principles for pursuing the lean ideal in engineer-To-order manufacturers. **Procedia CIRP. Anais... Em: PROCEDIA CIRP**. Elsevier B.V., 2014. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84904460379&doi=10.1016%2fj.procir.2014.01.137&partnerID=40&md5=97300e6d48a4b394179fea089ce5f9c4>>

- ROBERTSON, D.; ULRICH, K. Planning for Product Platforms. **MIT Sloan Management Review**, p. 19–31, 15 jul. 1998.
- SHAHZAD, W. M. et al. Benefits, constraints and enablers of modular offsite construction (MOSC) in New Zealand high-rise buildings. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. ahead-of-print, n. ahead-of-print, 1 jan. 2023.
- SMITH, R. E. Off-Site and Modular Construction Explained. **National Institute of Building Sciences**, 2016.
- STEINHARDT, D. et al. The structure of emergent prefabricated housing industries: a comparative case study of Australia and Sweden. **Construction Management and Economics**, v. 38, n. 6, p. 483–501, 2 jun. 2020.
- TAUBE, J.; HIROTA, E. H. Customização em massa no processo de provisão de Habitações de Interesse Social: um estudo de caso. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 253-268, out./dez. 2017. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000400196>
- THAJUDEEN, S.; LENNARTSSON, M.; ELGH, F. Expanding the Building System into a Product Platform for Improved Design and Manufacture - A Case Study in Industrialised House-Building. (Safsten K., Elgh F., Eds.)Adv. Transdiscipl. Eng. **Anais...** Em: ADVANCES IN TRANSDISCIPLINARY ENGINEERING. IOS Press BV, 2020. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85098639964&doi=10.3233%2fATDE200172&partnerID=40&md5=3fa87916b86d117e218c9e84c06b4627>>
- VIANA, D.; TOMMELEIN, I.; FORMOSO, C. USING MODULARITY TO REDUCE COMPLEXITY OF INDUSTRIALIZED CONSTRUCTION PROJECTS: A CASE STUDY. (Hashemi A., S. of E. and T. University of Brighton Cockcroft Building, Lewes Road, Brighton, Eds.)ZEMCH. **Anais...** Em: ZEMCH INTERNATIONAL CONFERENCE. ZEMCH Network, 2017. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85202030068&partnerID=40&md5=6baa0bb6e84dd0de916464b92792a9c6>>
- VOORDIJK, H.; MEIJBOOM, B.; DE HAAN, J. Modularity in supply chains: a multiple case study in the construction industry. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 26, n. 6, p. 600–618, 1 jun. 2006.
- VRIJHOEF, R.; KOSKELA, L. Revisiting the three peculiarities of production in construction. Int. Group Lean Constr. Conf.: Proc. **Anais...** Em: 13TH INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE: PROCEEDINGS. 2005. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84866076650&partnerID=40&md5=e8137774c8983470ba20faadadeeaff8>>
- VRIJHOEF, R.; KOSKELA, L. The four roles of supply chain management in construction. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 6, n. 3–4, p. 169–178, dez. 2000.
- 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.
- WOHLIN, C. **Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering**. Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering. **Anais...** Em: EASE '14: 18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON EVALUATION AND ASSESSMENT IN SOFTWARE ENGINEERING. London England United Kingdom: ACM, 13 maio 2014. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/2601248.2601268>>. Acesso em: 12 abr. 2023
- WUNI, I. Y.; SHEN, G. Q. Towards a decision support for modular integrated construction: an integrative review of the primary decision-making actors. **International Journal of Construction Management**, v. 22, n. 5, p. 929–948, 15 abr. 2022.