

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO NA
IMPLEMENTAÇÃO DO BUILDING INFORMATION MODELING PELO
SETOR DE PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO**

ARTHUR HENRIQUE VIEIRA DE MELO

São Carlos
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO NA
IMPLEMENTAÇÃO DO BUILDING INFORMATION MODELING
PELO SETOR DE PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO**

ARTHUR HENRIQUE VIEIRA DE MELO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Sheyla Mara Baptista Serra

São Carlos
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Arthur Henrique Vieira de Melo, realizada em 01/03/2023.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Sheyla Mara Baptista Serra (UFSCar)

Prof. Dr. Marcelo de Araujo Ferreira (UFSCar)

Prof. Dr. Sergio Scheer (UFPR)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Agradecimentos

A Deus, pela oportunidade e pela força para enfrentar os desafios e realizar meus sonhos.

À minha mãe, Edilene, que, como professora, sempre acreditou e me ensinou a acreditar no poder transformador da educação de qualidade.

À minha família, em especial, ao meu pai, Antônio, e ao meu irmão, Joaquim.

À minha companheira, Deborah, pelo amor, compreensão e resiliência para enfrentarmos a distância que esse desafio nos impôs.

À minha orientadora, Professora Sheyla, pelo carinho, amizade e empatia. Seu exemplo de docência será sempre um balizador para minha carreira profissional.

Às amigas, Gabriela Dias e Danielle Leão, pelo apoio mútuo.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGECiv) da UFSCar, em especial, aos docentes José Paliari, Itamar Lorenzon e Clarissa Biotto.

Aos colegas pesquisadores do Núcleo de Pesquisa em Racionalização e Desempenho de Edificações (NUPRE) da UFSCar.

Aos Professores Sérgio Scheer e Marcelo Araújo, membros da banca, pela atenção, carinho e valorosas contribuições.

À Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC), em especial, à Íria Doniak e Jôze Ferreira.

Aos amigos maceioenses residentes em São Carlos, Arthur Brasil, Danielle Leão, Gabriela Dias, Kamyla Barros e Lorena Jucá.

À CAPES, pela bolsa de estudo que oportunizou a realização deste sonho.

Ao poder da educação pública de qualidade.

Resumo

MELO, Arthur Henrique Vieira de. **Identificação dos Fatores Críticos de Sucesso na Implementação do Building Information Modeling pelo Setor de Pré-moldados de Concreto**. 2023. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2023.

A industrialização da construção é percebida como uma solução para os problemas do método convencional de construção, melhorando a produtividade do setor e a qualidade dos produtos, e racionalizando o uso dos recursos humanos, financeiros e ambientais. Uma das estratégias utilizadas pelo setor de pré-fabricados é a implementação do *Building Information Modeling* (BIM) devido à confiabilidade das informações dos modelos e a integração entre sistemas e tecnologias. Apesar da sinergia entre o BIM e a construção pré-fabricada, a implementação da metodologia BIM é um processo complexo e apresenta barreiras para o sucesso. Nesse sentido, esta dissertação tem como objetivo principal a definição e análise dos Fatores Críticos de Sucesso (FCS) relacionados à implantação do BIM no setor de pré-moldados de concreto no Brasil. O método de pesquisa adotado é exploratório e foi iniciado com uma revisão sistemática da literatura (RSL) onde foram identificadas as 25 barreiras principais abordadas na literatura. Posteriormente, ocorreu a aplicação de questionários em nove empresas do setor, onde os respondentes expuseram as suas percepções sobre o processo de implantação do BIM nas respectivas empresas. Na amostra analisada, as principais melhorias apontadas pela adoção do BIM concentram-se na melhoria no gerenciamento das informações e na otimização do processo de projeto, produção e montagem. No entanto, nas empresas analisadas, observou-se certa dificuldade no planejamento do processo de implantação, desde a definição de objetivos, prazos e responsáveis, contribuindo para uma utilização parcial do BIM e redução dos benefícios da adoção. Os respondentes também avaliaram 25 barreiras identificadas na RSL em relação ao seu grau de importância para o sucesso da implementação do BIM por meio de uma escala de Likert. Com base na nota recebida por cada barreira, definiu-se dez FCS: alto custo inicial; falta de profissionais capacitados para BIM; resistência ao trabalho integrado e colaborativo; incompreensão dos benefícios do BIM; falta de plano de implementação BIM; problemas de interoperabilidade; falta de comunicação entre o modelo e o sistema de produção; falta de suporte técnico; falta de liderança da alta administração; resistência ao compartilhamento de dados. Apesar da pequena amostra para análise fatorial, as inter-relações entre os FCS foram analisadas por meio da Análise de Componentes Principais (ACP) de forma a estabelecer um roteiro para futuras pesquisas. Assim, os FCS foram avaliados qualitativamente por meio da ACP, considerando o agrupamento dos FCS em dois componentes principais: fatores relacionados a pessoas e organização e fatores relacionados a processos e tecnologia.

Palavras-chave: *pré-moldado de concreto; modelagem de informações da construção; implementação do BIM; adoção do BIM; fatores críticos de sucesso; Brasil.*

Abstract

MELO, Arthur Henrique Vieira de. **Identification of Critical Success Factors (CSF) in Building Information Modeling (BIM) Implementation in the Precast Concrete Sector.** 2023. 126f. Dissertation (Master in Civil Engineering) - Federal University of São Carlos, São Carlos, 2023.

The industrialization of construction is perceived as a solution to the problems of the conventional method of building, improving the sector's productivity and the quality of products and rationalizing the use of human, financial and environmental resources. One of the strategies used by the prefabricated sector is the Building Information Modeling (BIM) implementation due to the reliability of the models' information and the integration between systems and technologies. Despite the synergy between BIM and prefabricated construction, the BIM implementation is a complex process and presents barriers to success. In this sense, this dissertation has as its main objective the definition and analysis of the Critical Success Factors (CSF) related to the implementation of BIM in the precast concrete sector in Brazil. The research method adopted is exploratory and was initiated with a systematic literature review (RSL) where the 25 main barriers addressed in the literature were identified. Subsequently, questionnaires were applied to nine companies in the sector, where the respondents exposed their perceptions about the BIM implementation process in their respective companies. In the sample analyzed, the main improvements pointed out by the BIM adoption focus on improving information management and optimizing the design, production and assembly process. However, in the companies analyzed, there was some difficulty in planning the implementation process, from the definition of objectives, deadlines and responsible, contributing to a partial use of BIM and reduction of the benefits of adoption. Respondents also assessed 25 barriers identified in the RSL in relation to their degree of importance for the successful implementation of BIM using a Likert scale. Based on the score received by each barrier, ten FCS were defined: high initial cost; lack of trained BIM professionals; resistance to integrated and collaborative work; misunderstanding of the benefits of BIM; lack of BIM implementation plan; interoperability problems; lack of communication between the model and the production system; lack of technical support; lack of leadership from senior management; resistance to data sharing. Despite the small sample, the interrelationships between the FCS were analyzed through Principal Component Analysis (PCA) in order to establish a roadmap for future research. Thus, the FCS were evaluated qualitatively through the PCA, considering the grouping of the FCS into two main components: factors related to people and organization and factors related to processes and technology.

Keywords: *precast concrete; building information modelling; building information modeling; bim implementation; bim adoption; critical success factors; Brazil*

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Publicações sobre construções off-site, BIM e a integração de ambos.....	16
Figura 2.1 - Etapas de (a) produção, (b) estocagem, (c) transporte e (d) montagem dos elementos.....	20
Figura 2.2 - Processo de (a) pré-moldado de canteiro e (b) pré-moldado de fábrica.....	22
Figura 2.3 - Edifício construído em estrutura pré-moldada de concreto	23
Figura 2.4 - Benefícios da metodologia BIM	25
Figura 2.5 - Estratégia para implementação do BIM	27
Figura 2.6 - Aplicações da metodologia BIM no setor de pré-moldados.....	28
Figura 2.7 - Modelo simplificado de construção pré-moldada	30
Figura 2.8 - Conexão viga-coluna para um edifício industrial pré-moldado (a) real e (b) virtual.....	31
Figura 2.9 - Simulação do processo de montagem (a) pilares, (b) painéis e (c) vigas.....	32
Figura 2.10 - Visualização por meio do modelo BIM da sequência de montagem das paredes internas.....	33
Figura 2.11 - Conflito entre o sistema de condicionamento de ar com (a) estrutura e (b) estrutura do telhado.....	33
Figura 2.12 - Representação do PCBIM <i>Hexagon</i>	37
Figura 3.1 - Fluxograma da Método de Pesquisa.....	50
Figura 4.1 - Análise das participantes em relação à região de instalação fabril e o tipo de sistema de pré-fabricação.....	59
Figura 4.2 - Análise das participantes em relação ao tempo de funcionamento e número de funcionários	60
Figura 4.3 - Análise dos respondentes em relação à formação acadêmica e tempo de experiência no setor de pré-moldados	61
Figura 4.4 - Análise dos respondentes em relação ao departamento de atuação na empresa e nível de conhecimento em BIM.....	61
Figura 4.5 - Análise das participantes em relação ao ano de início da implementação do BIM.....	62
Figura 4.6 - Análise das participantes em relação à realização de estudo	63
Figura 4.7 - Análise dos respondentes em relação aos <i>softwares</i> adotados.....	66
Figura 4.8 - Mapa de Calor do ρ de Spearman	77
Figura 4.9 – Diagrama de Inclinação da análise do componente principal	79
Figura 4.10 - Resumo das relações	85
Figura A.1 - Esquema da Revisão Sistemática da Literatura	101

Figura A.2 - Publicações por ano.....	103
Figura A.3 - Palavras-chave utilizadas.....	105

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Séries de uso potencial do modelo BIM	26
Tabela 2.2 - Barreiras identificadas por meio da RSL	40
Tabela 4.1 – Resultado da avaliação dos respondentes em relação às barreiras de implementação do BIM	70
Tabela 4.2 – Fatores Críticos de Sucesso	72
Tabela 4.3 - Coeficientes de Correlação de Spearman (ρ)	77
Tabela 4.4 - Resultado dos testes de KMO e Bartlett para os FCS.....	78
Tabela 4.5 - Autovalor e variância acumulada dos componentes	79
Tabela 4.6 - Resultado a ACP e componentes principais	80
Tabela 4.7 - Matriz de correlação entre os componentes principais.....	85
Tabela A.0.1 - Quantidade artigos por base.....	102
Tabela A.0.2 - Informações dos artigos	104

Lista de Abreviações e Símbolos

ABCIC	Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACP	Análise de Componentes Principais
AECO	Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar-condicionado
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
BIMe	<i>Building Information Modeling Excellence</i>
BTS	Teste de Esfericidade de Bartlett
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CONEP	Comissão Nacional de Ética em Pesquisa
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
ETO	<i>Engineer-to-order</i>
FCS	Fatores Críticos de Sucesso
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IDT	<i>Innovation Diffusion Theory</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ISM	<i>Interpretive Structural Modeling</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JIT	<i>Just-in-time</i>
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin
MA	Média Aritmética
MN	Média Normalizada
NBR	Norma Brasileira
NETPRE	Núcleo de Estudo e Tecnologia em Pré-Moldados de Concreto
NFC	<i>Near Field Communication</i>
PCA	<i>Principal Component Analysis</i>
PCP	Programação e Controle da Produção
PMC	Pré-moldados de Concreto
PPAC	Painéis Pré-fabricados Arquitetônicos de Concreto
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RSL	Revisão sistemática da Literatura
S	Desvio Padrão
S ²	Variância

TAM	<i>Theory of Acceptance Model</i>
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UFSCar	Universidade Federal de são Carlos
UTAUT	<i>Unified Theory of Acceptance and Use of Technology</i>
VTA	<i>Virtual Trial Assembly</i>

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	14
1.2. JUSTIFICATIVA.....	16
1.3. OBJETIVOS.....	18
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1. CONCRETO PRÉ-MOLDADO.....	19
2.2. BUILDING INFORMATION MODELING (BIM).....	24
2.3. BIM APLICADO NO SETOR DE PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO.....	28
2.4. BARREIRAS À IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NO SETOR DE PMC.....	35
2.4.1 BARREIRAS RELACIONADAS ÀS PESSOAS.....	39
2.4.2 BARREIRAS RELACIONADAS À TECNOLOGIA.....	43
2.4.3 BARREIRAS RELACIONADAS À ORGANIZAÇÃO.....	44
2.4.4 BARREIRAS LIGADAS AOS PROCESSOS.....	45
2.4.5 BARREIRAS LIGADAS À FATORES EXTERNOS.....	46
3. MÉTODO DE PESQUISA.....	50
3.1 COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA.....	51
3.2. IDENTIFICAÇÃO DAS BARREIRAS.....	51
3.3. DEFINIÇÃO DOS FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO.....	51
4.3.1 PESQUISA COM AS EMPRESAS DE PMC.....	51
4.3.2 ESTUDO PILOTO.....	52
4.3.3 IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO.....	53
3.4. IDENTIFICAÇÃO DAS INTER-RELAÇÕES ENTRE OS FCS.....	54
3.4.1. ANÁLISE DA ADEQUACIDADE DA BASE DE DADOS.....	55
3.4.2. DEFINIÇÃO NO NÚMERO DE COMPONENTES.....	56
3.4.3. ANÁLISE FATORIAL POR COMPONENTE PRINCIPAL.....	57
3.5. CONCLUSÃO DA PESQUISA.....	57
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59
4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS PARTICIPANTES.....	59
4.2. DETERMINAÇÃO DOS FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO.....	68
4.3. ANÁLISE DOS FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO.....	73
4.4. ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS.....	76
4.4.1. ANÁLISE DA ADEQUACIDADE DA AMOSTRA.....	76

4.4.2. DEFINIÇÃO DO NÚMERO DE COMPONENTES DA ACP.....	78
4.4.3. DEFINIÇÃO DOS COMPONENTES DA ACP	79
4.4.4. ANÁLISE DOS COMPONENTES DA ACP	81
4.4.5. ANÁLISE DAS CORRELAÇÕES ENTRE COMPONENTES DA ACP.....	84
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	87
REFERÊNCIAS	92
APÊNDICE A – REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA	101
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO APLICADO NA INDÚSTRIA	106
APÊNDICE C – ESTUDO PILOTO	110
APÊNDICE D - RESULTADO DO QUESTIONÁRIO PILOTO	113
APÊNDICE E – RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO APLICADO	117

1. Introdução

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A indústria da arquitetura, engenharia, construção e operação (AECO) é complexa e fundamental ao desenvolvimento social e econômico de um país, uma vez que é responsável pelo projeto, construção e manutenção de toda infraestrutura requerida pela sociedade e demais setores industriais. Contudo, apesar dos avanços ocorridos nas últimas décadas, a construção civil brasileira ainda é caracterizada por seu atraso tecnológico quando comparada aos outros ramos industriais, resultando em índices insatisfatórios de produtividade, consumo de recursos naturais, planejamento e controle de qualidade. Observa-se que o processo de industrialização pode minimizar essa problemática, melhorando a produtividade do setor e a racionalização no uso dos materiais, diminuindo o custo global das obras e a geração de resíduos. Além disso, a pré-fabricação representa o mais alto estágio da racionalização, garantindo controle de qualidade e facilitando a adoção de novas tecnologias (ABDI, 2017; EL DEBS, 2017).

A industrialização na construção civil recebe diversas nomenclaturas, entre elas: pré-fabricados, pré-moldados, construções modulares e *off-site construction* (ABANDA; TAH; CHEUNG, 2017; MOSTAFA *et al.*, 2018; PHANG; CHEN; TIONG, 2020). Todas se referem à produção de elementos construtivos em ambiente fabril, fora do seu local definitivo, e a sua posterior montagem no canteiro, tornando o modo de construir semelhante à montagem de veículos pela indústria automobilística. O Brasil possui potencial para utilizar-se da pré-fabricação visando alcançar melhores soluções em custo, prazo e qualidade para os problemas atuais de habitação e infraestrutura (ABDI, 2017). Nesse sentido, houve crescimento no uso de pré-moldados de concreto (PMC) nas últimas décadas, em que as principais obras estavam relacionadas aos complexos esportivos da Copa do Mundo de 2014 e das Olimpíadas de 2016, também aos projetos de infraestrutura urbana, existindo uma lacuna para adoção desse sistema construtivo nas demais áreas da construção.

Na teoria, a pré-fabricação apresenta-se mais vantajosa que o método convencional em relação ao custo, prazo e qualidade. Além disso, as aplicações observadas na Europa e Estados Unidos corroboram que esses benefícios são alcançáveis na prática e que o sistema pode se tornar mais competitivo no mercado brasileiro (SPADETO, 2011). Apesar de solucionar muitos problemas do método convencional, a industrialização conduz a novas barreiras típicas do sistema, como a necessidade de métodos padronizados para projeto e produção, menor tolerância quanto à variação das características dos componentes e maior planejamento para produção, transporte e montagem dos elementos (ZHANG *et al.*, 2018).

O controle de qualidade sobre os processos, a maior qualificação da mão de obra e a segurança proporcionada pelo ambiente fabril permitem ao setor de pré-fabricados maior facilidade na incorporação de inovações tecnológicas com o objetivo de solucionar os problemas atuais. Nessa perspectiva, observa-se a adoção de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) para melhorar a comunicação entre os *stakeholders* e diminuir erros e incertezas, destacando-se o *Building Information Modeling* (BIM). Nesse sentido, define-se BIM como uma metodologia para gerenciar as informações de um empreendimento ao longo do ciclo de vida por meio de plataformas digitais (SUCCAR, 2009). Sendo assim, a construção civil alcançará melhores indicadores de sustentabilidade, custo e prazo por meio da integração do BIM à pré-fabricação (ABANDA; TAH; CHEUNG, 2017).

Sabendo que é comum mudanças no projeto ao longo da construção, a falta de flexibilidade para mudança é o principal desafio encontrado em empreendimentos pré-fabricados, uma vez que os elementos são produzidos em fase anterior à construção (ZHANG *et al.*, 2018). Desse modo, a aplicação básica do BIM consiste na criação de um modelo 3D da edificação, permitindo uma visualização realista do projeto e evitando erros de interpretação. A verificação de interferências entre as disciplinas (*clash detection*) garante maior confiabilidade ao projeto, diminuindo o número de modificações nas etapas posteriores (LU; KORMAN, 2010; ZHANG *et al.*, 2016).

A pré-fabricação requer a colaboração entre os *stakeholders* desde a concepção do empreendimento, devido à complexidade de seus processos, produzindo grande número de dados, porém, utilizado de forma ineficiente (GBADAMOSI *et al.*, 2020). O maior benefício da implementação do BIM, no entanto, encontra-se na eficiência da gestão da informação que integra as fases de projeto, fabricação, construção e uso e operação da edificação. Para a indústria de PMC, os dados contidos no modelo BIM podem ser utilizados para a otimização das suas atividades, iniciando pelo melhor detalhamento dos projetos, elementos e conexões, eficiente quantificação de materiais e o melhoramento dos processos logísticos, de estocagem e de montagem no canteiro de obra. Portanto, entende-se que o BIM atua de forma a potencializar as vantagens da pré-fabricação ao mesmo tempo que mitiga as suas barreiras (ABANDA; TAH; CHEUNG, 2017).

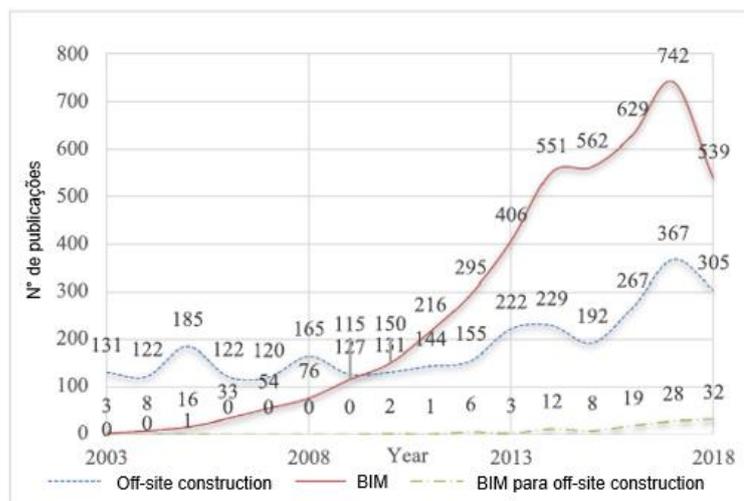
Implementação refere-se à adoção bem sucedida de ferramentas e fluxos de trabalho baseados em BIM numa organização (SUCCAR; KASSEM, 2017). Apesar de todos os benefícios, o processo de implementação da metodologia BIM apresenta alta complexidade por envolver diversos fatores internos e externos à empresa. Percebe-se que o sucesso da adoção está diretamente relacionado à identificação das principais barreiras envolvidas no processo para potencializar o uso dos recursos. Além disso, a criação de guias e manuais de boas práticas atuam por auxiliar o setor no processo de implementação, diminuindo os riscos, evitando erros e aumentando as taxas de sucesso.

Contudo, observa-se que as pesquisas realizadas no assunto foram incapazes de retratar as características e singularidades do mercado brasileiro. Apresentam, portanto, uma lacuna no conhecimento sobre as barreiras envolvidas no processo de adoção do BIM no setor de pré-fabricados no Brasil, em especial, os PMC, que é objeto de estudo deste trabalho. A partir disso, o avanço no emprego da metodologia é prejudicado por esse desconhecimento, dessa forma, este trabalho propõe-se a avaliar o processo de implementação do BIM pelo setor de PMC por meio da determinação dos fatores críticos de sucesso e suas inter-relações.

1.2. JUSTIFICATIVA

Toda a indústria da AECO está passando por mudanças disruptivas devido à introdução do BIM, inclusive o setor de PMC. Yin *et al.* (2019) identificaram que o número de publicações, avaliando o emprego do BIM em construções *off-site*, ainda é baixo em quantidade e restrito a poucos países. Os principais pesquisadores do assunto são os Estados Unidos e a China. O Brasil não foi classificado, o que demonstra que o país se encontra atrasado em relação ao tema. A Figura 1.1 apresenta o número de publicações em cada assunto por ano.

Figura 1.1 - Publicações sobre construções *off-site*, BIM e a integração de ambos



Fonte: Traduzido de Yin *et al.* (2019)

O gráfico demonstra o crescimento no interesse pelo tema a partir de 2016, evidenciando que o campo de pesquisa é recente, porém proeminente. No mais, Yin *et al.* (2019) classificaram as publicações de acordo com o seu objeto de análise em: (1) parametrização de elementos pré-fabricados para projetos em BIM 3D; (2) planejamento logístico por meio do BIM 4D; (3) simulação e planejamento do processo de montagem; (4) utilização do BIM para automatização de projetos *as-built*; e (5) fatores de sucesso para

implementação do BIM. Nota-se, portanto, uma preocupação dos pesquisadores com o sucesso do processo de implementação.

Alguns estudos avaliam a adoção do BIM pelo setor de pré-fabricados, mostrando principalmente os benefícios dessa integração (LU; KORMAN, 2010; VERNIKOS *et al.*, 2014; HONG *et al.*, 2016; HWANG; SHAN; LOOI, 2018; ABANDA; TAH; CHEUNG, 2017; MOSTAFA *et al.*, 2018; TAN *et al.*, 2019; PHANG; CHEN; TIONG, 2020). Diante disso, há um consenso entre pesquisadores e a indústria, que a implementação da metodologia BIM é vantajosa pelas melhorias alcançadas. Contudo, como em qualquer inovação, observam-se obstáculos à adoção, seja do ponto de vista dos colaboradores, tecnologia, organização, processos, sociedade ou governo (PHANG; CHEN; TIONG, 2020).

A China observou crescimento exponencial na adoção da metodologia BIM, contudo, devido à forma desorganizada que ocorreu, resultou em vários casos de insucesso. Para resolver esse problema, o governo empenha-se na elaboração de normatizações, guias e manuais que auxiliem o processo de implementação, incluindo o setor de PMC (ZHANG *et al.*, 2018; KORDESTANI GHALEONEI *et al.*, 2022). Tan *et al.* (2019), Yao, Qin e Wang (2020) e Wu *et al.* (2021) analisaram as barreiras envolvidas no processo de adoção do BIM no setor de pré-fabricados chinês. Além desses, observam-se estudos focados nos mercados australiano (MOSTAFA *et al.*, 2018), singapurense (PHANG; CHEN; TIONG, 2020), canadense (BEN MAHMOUD; LEHOUX; BLANCHET, 2020) e britânico (GBADAMOSI *et al.*, 2020). Kordestani Ghalenoei *et al.* (2022) ressaltam a existência de uma lacuna no conhecimento sobre a integração do BIM e do *off-site construction* em países em desenvolvimento.

Portanto, nota-se o interesse dos pesquisadores em identificar e caracterizar as barreiras envolvidas na adoção do BIM com base nas características do mercado local. Esse maior conhecimento dos fatores que influenciam o sucesso do processo contribui para a elaboração de manuais, guias e políticas públicas mais apropriadas, elevando as chances de sucesso do processo de sua implementação. Dessa forma, percebe-se uma lacuna na avaliação do processo de adoção da metodologia BIM para o setor de PMC no contexto brasileiro.

1.3. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal identificar e avaliar os FCS envolvidos no processo de implementação do BIM em empresas brasileiras do setor de Pré-moldados de Concreto (PMC).

Como objetivos secundários, tem-se:

- Verificar os benefícios da adoção do BIM pelo setor de PMC;
- Identificar as principais barreiras envolvidas na implementação do BIM pelo setor de PMC;
- Identificar os FCS do processo de implementação do BIM pelo setor de PMC;
- Analisar e identificar as inter-relações entre os FCS envolvidos na implementação do BIM pelo setor de PMC.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos. No primeiro, apresenta-se a introdução do trabalho, abordando de forma introdutória a utilização do BIM pelo setor de pré-fabricados. Os objetivos e a justificativa para o desenvolvimento da pesquisa também são descritos.

No capítulo dois é apresentada a revisão bibliográfica, abordando a pré-fabricação na construção civil e o BIM, a utilização da metodologia BIM no setor de pré-fabricados e as barreiras envolvidas no processo de implementação.

No terceiro capítulo, apresenta-se detalhadamente o método de pesquisa, as ferramentas são explicadas e as saídas definidas.

No quarto capítulo, os resultados da pesquisa são apresentados e discutidos.

O quinto capítulo contempla as considerações finais do trabalho.

Em seguida, apresentam-se as referências utilizadas neste trabalho.

Por fim, são apresentados os apêndices gerados nesta pesquisa.

2. Fundamentação teórica

Este capítulo tem como objetivo a fundamentação teórica acerca dos principais assuntos abordados por este trabalho. Inicia-se, no entanto, contextualizando sobre pré-moldados de concreto (PMC) e *Building Information Modeling* (BIM). Posteriormente, apresentam-se as possibilidades de aplicações do BIM em obras que fazem uso de pré-fabricação. Por fim, analisa-se a adoção do BIM e as barreiras que atuam por dificultar o processo de implementação da metodologia BIM no referido setor.

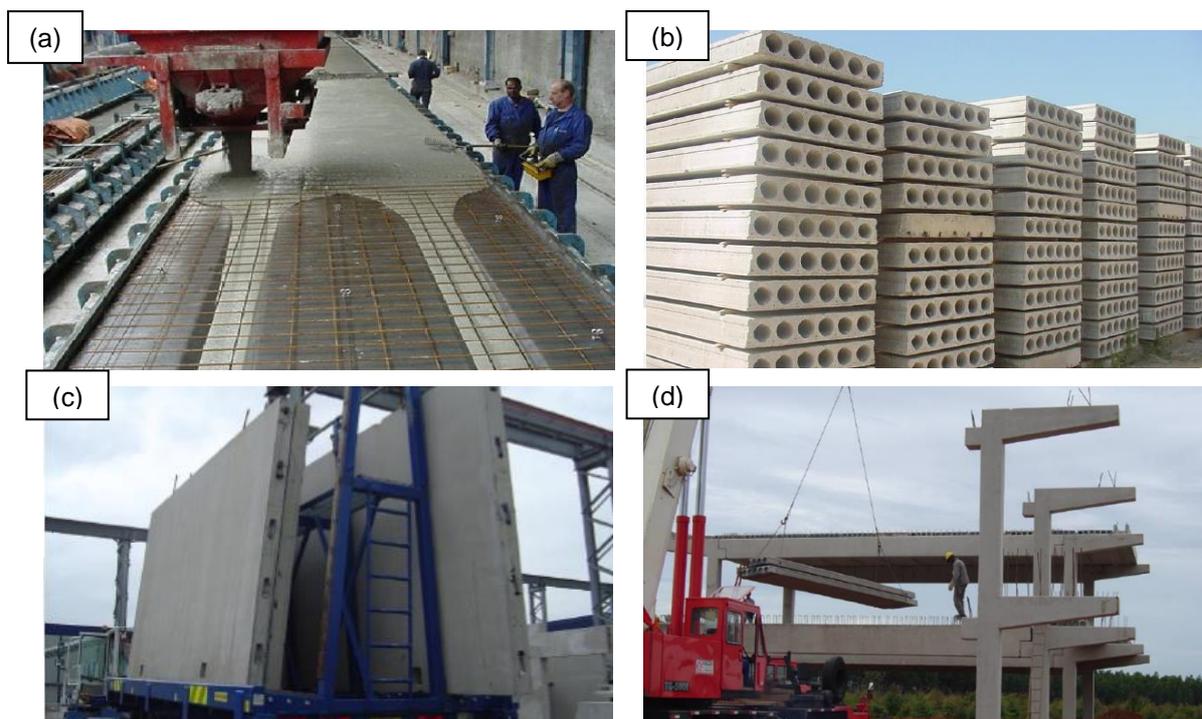
2.1. CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Em relação a sua mecanização, os processos construtivos podem ser classificados em três tipos: convencionais, racionalizados e industrializados. O método convencional caracteriza-se pela aplicação de procedimentos consolidados pelo setor, destacando-se pelo intenso uso de mão de obra, baixa mecanização de seus processos, grande desperdício de materiais e falta de continuidade entre os serviços. A racionalização, por sua vez, configura-se pela melhoria sistemática dos processos convencionais por força da incorporação de técnicas e procedimentos advindos dos ambientes industriais. Ainda que não ocorram de forma profunda, tais mudanças proporcionam redução nos desperdícios e o aumento na produtividade. Isso se deve, sobretudo, às melhorias no processo de planejamento das atividades (SPADETO, 2011; ABDI, 2017).

O sistema industrializado, ou pré-fabricado, caracteriza-se pelo emprego de elementos ou módulos completos produzidos em instalações fabris com alto nível de controle de qualidade sobre os seus processos e produtos, que, posteriormente, são transportados e montados no local (TAM *et al.*, 2007; SPADETO, 2011; ABDI, 2017). Ao contrário da moldagem *in situ*, a pré-fabricação adiciona ao empreendimento as fases de produção, estocagem, transporte e montagem dos elementos no canteiro de obras (MOSTAFA *et al.*, 2018). Essas etapas são apresentadas na Figura 2.1.

As vantagens na aplicação da pré-fabricação na construção civil são amplamente abordadas na literatura (LI *et al.*, 2016; ZHANG *et al.*, 2018; JI *et al.*, 2019; RAZKENARI *et al.*, 2020; SUN *et al.*, 2020). Pelo controle de qualidade fabril, percebe-se uma melhoria no desempenho das edificações, na racionalização da mão de obra e dos materiais e nas condições de trabalho do setor. Além disso, destacam-se a redução do custo global e a simplificação dos processos de construção (ABANDA; TAH; CHEUNG, 2017).

Figura 2.1 - Etapas de (a) produção, (b) estocagem, (c) transporte e (d) montagem dos elementos



Fonte: Ferreira (2018)

Jaillon e Poon (2008) e Zhang *et al.* (2018) analisaram a percepção dos *stakeholders* sobre a pré-fabricação e, apesar da distância cronológica de uma década, ambos indicaram como principais vantagens o aumento na qualidade do ambiente construído, o maior controle de qualidade sobre os produtos e a redução na geração de resíduos. Além disso, a pré-fabricação é lembrada pela melhoria da qualidade ambiental do canteiro e da área circunvizinha à obra, causada, principalmente, pela redução nos níveis de ruído e geração de poeira. Permite, portanto, a melhoria na saúde e segurança dos trabalhadores e redução de conflitos com a vizinhança. A redução na demanda por mão de obra, no tempo de execução e no consumo de materiais, também foi apontada em ambos (JAILLON; POON, 2008; ZHANG *et al.*, 2018).

O sistema pré-fabricado, sobretudo de concreto, foi amplamente utilizado para a reconstrução dos países europeus após a Segunda Guerra Mundial. Depois da crise econômica de 2008, percebeu-se o ressurgimento do interesse nessa tecnologia para atender às crescentes demandas por novas moradias e infraestrutura, principalmente nos países em desenvolvimento (LU *et al.*, 2018). Desta forma, a pré-fabricação é encarada como uma estratégia em nível global para melhorar os indicadores da construção, reduzindo os custos e desperdícios, consequentemente aumentando o retorno de investimento (EASTMAN; SACKS, 2008). Observa-se que seu maior uso está diretamente relacionado ao

desenvolvimento tecnológico e social do país, pela oferta de equipamentos e valorização da mão de obra, respectivamente (EL DEBS, 2017).

Por meio de sete estudos de caso, Jaillon e Poon (2008) calcularam que a adoção da pré-fabricação aumenta o custo da obra em 1,4%, quando comparada com a moldagem *in situ*. Entretanto, por diminuir as atividades no canteiro, o emprego de PMC reduziu 15% do tempo total de obra e, entre 16% e 30%, da mão de obra requerida. Observou-se uma diminuição de 70% no consumo de água no canteiro e de 65% na geração de resíduos de modo geral. Analisando a questão social, constatou-se redução de 63% no número de acidentes no trabalho devido ao uso da pré-fabricação (JAILLON; POON, 2008).

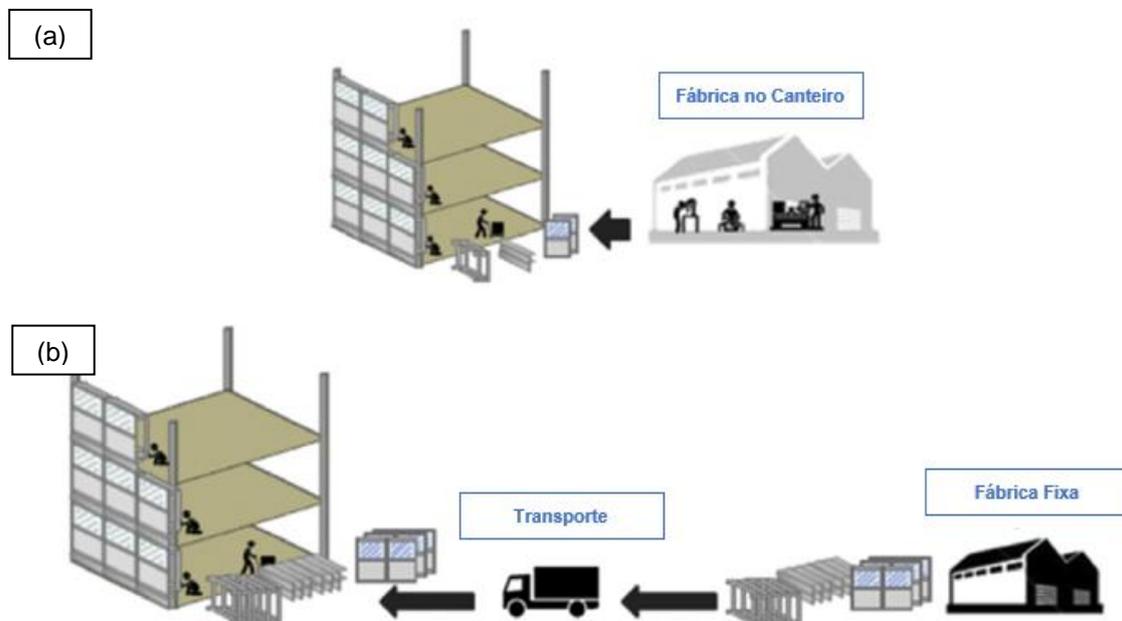
Ao tratar de PMC, Van Acker (2002) afirma que esse sistema se apresenta como uma forma de construir econômica, durável, estruturalmente segura e com versatilidade arquitetônica. No Brasil, essa inovação concentra-se na construção de galpões e produção de alguns elementos. Porém, observa-se aumento no uso de elementos pré-fabricados nas obras em geral, exemplificando o grande potencial do setor para industrializar-se. Essa maior aplicação está permitindo à AECO alcançar melhores soluções para os desafios postos, principalmente a partir da redução do tempo de construção e maior controle sobre o desempenho estrutural e ambiental das edificações (ABDI, 2017; EL DEBS, 2017).

A diferenciação entre elemento pré-moldado e pré-fabricado de concreto, realizada pela ABNT NBR 9062 (2017), baseia-se no controle de qualidade envolvido no processo de produção do elemento. O primeiro faz referência a qualquer elemento moldado previamente, ou seja, fora do local de utilização definitiva na estrutura, sem exigência sobre o controle de qualidade, sugerindo somente a execução de inspeção visual individual ou por lote de peças. Entretanto, o segundo deve ser produzido industrialmente com rigoroso sistema de controle de qualidade, tanto das matérias-primas quanto dos produtos finais. Além disso, deve-se utilizar maquinário para racionalização da produção, a mão de obra precisa ser treinada e qualificada, e o processo de cura deve ocorrer em temperatura controlada. Além disso, a norma define que os procedimentos de inspeção e controle de qualidade devem seguir as normas técnicas vigentes e as inspeções precisam ser registradas em documentos escritos com a identificação do elemento, data de fabricação, tipo de aço e de concreto utilizados, bem como a assinatura dos responsáveis.

Ainda, El Debs (2017) propõe a classificação em pré-moldado de canteiro e de fábrica. O primeiro tem vantagem no processo de transporte, por utilizar instalações provisórias próximas ou no próprio canteiro de obra, entretanto, apresenta baixa capacidade de produção e produtividade. O segundo faz uso de instalações fabris permanentes, geralmente distantes da obra. A produtividade e o nível de produção estão diretamente relacionados às formas e aos equipamentos, possibilitando, portanto, atingir o nível de pré-fabricação estabelecido pela ABNT NBR 9062 (2017). No entanto, nesse caso, deve-se atentar aos custos e adversidades

relativos ao processo de transporte (EL DEBS, 2017). A Figura 2.2 caracteriza os processos relacionados aos pré-moldados de canteiro e de fábrica.

Figura 2.2 - Processo de (a) pré-moldado de canteiro e (b) pré-moldado de fábrica



Fonte: Ji *et al.* (2018)

O maior uso de PMC esbarra na visão distorcida que esse sistema representa, uma variante da moldagem *in situ*. Por se tratar de um sistema construtivo distinto, os projetos devem considerar as suas características desde a concepção (VAN ACKER, 2002). Albuquerque e El Debs (2005) identificaram que 70% das obras analisadas originalmente tinham sido projetadas para moldagem no local, reduzindo os benefícios proporcionados pelo sistema. Zhang *et al.* (2018) identificaram que as principais dificuldades no emprego de pré-fabricados são: inflexibilidade para mudança de projetos; falta de espaço de estocagem nos canteiros; longo tempo para produção dos elementos; longo tempo de projeto; alto custo inicial; e alto custo total.

A subutilização da pré-fabricação de concreto no Brasil se deve a barreiras econômicas e culturais (EL DEBS, 2017). Zhang *et al.* (2018) apontam que o governo local deve atuar com a diminuição de impostos sobre a pré-fabricação e os equipamentos necessários, investindo na elaboração de padronizações e manuais, e incentivando as empresas que adotam esse sistema. Objetivando disseminar padrões de qualidade, tecnologia e desempenho entre a indústria de PMC, a Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC) criou, em 2003, o Selo de Excelência ABCIC para garantir o atendimento às normas e às práticas estabelecidas (DONIAK; FILIPPI, 2010).

O conceito que construções utilizando PMC não possuem flexibilidade arquitetônica é ultrapassado, uma vez que as edificações podem ser projetadas fazendo uso de elementos

pré-fabricados e possuir características modernas, como diversidade de planos de fachadas e variações nos níveis de elevação para edifícios com vinte andares ou mais (VAN ACKER, 2002). A Figura 2.3 apresenta um edifício de múltiplos pavimentos construídos em estrutura PMC, com estética arrojada e moderna.

Figura 2.3 - Edifício construído em estrutura pré-moldada de concreto



Fonte: Ferreira (2018)

Nas últimas décadas, observou-se um crescimento na produtividade da indústria da pré-fabricados devido à introdução novas metodologias para gestão da produção, destacando-se a Construção Enxuta (EASTMAN; SACKS, 2008). O emprego dos princípios do *Just-in-time* (JIT) e *Engineer-to-order* (ETO) atuam minimizando problemas de estocagem (ZHANG *et al.*, 2018). Ambos estabelecem que somente o solicitado pelo cliente seja fabricado e que os insumos sejam fornecidos na linha de produção no momento e na quantidade necessária. Para Kong *et al.* (2018), esses princípios proporcionam que os elementos sejam entregues diretamente para a montagem, eliminando a estocagem no canteiro, reduzindo, portanto, os custos de armazenagem e de movimentações desnecessárias.

Devido ao seu caráter, a indústria de pré-fabricados possui grande vantagem na incorporação de tecnologias emergentes para ingressar no movimento da Indústria 4.0 e vencer os obstáculos (QI *et al.*, 2020; SON; HON, 2023). Eastman e Sacks (2008) afirmam que a produtividade do setor se encontra limitada pela insistência no uso de documentos 2D para registro e comunicação das informações, tornando-se promissor o uso de Tecnologias

da Comunicação e Informação (TIC) para digitalização dos projetos e automação dos processos de fabricação, entre elas, destaca-se o BIM.

2.2. BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

Com intuito de diminuir os erros e aumentar a produtividade do setor e a qualidade dos empreendimentos, a AECO encontra-se numa transformação disruptiva pela adoção da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) para a conversão das informações dos empreendimentos para modelos digitais inteligentes (BRITO, 2019). Entre as TIC, destaca-se o *Building Information Modeling* (BIM), traduzido oficialmente no Brasil como Modelagem da Informação da Construção pela ABNT NBR ISO 12006-2 (2016). Define-se o BIM por conjunto de políticas, processos e tecnologia que, quando combinados, são capazes de gerar uma metodologia para gerenciar as informações de uma edificação ao longo do ciclo de vida por meio de plataformas digitais (SUCCAR, 2009; BIM DICTIONARY, 2022).

Segundo Eastman *et al.* (2011), a metodologia BIM possibilita a construção de um modelo digital do empreendimento com alto nível de precisão, envolvendo parâmetros e variáveis que não seriam consideradas no método convencional. Dessa forma, proporciona benefícios para todas as fases do projeto, desde a concepção do empreendimento, etapa de projeto com a intensa colaboração entre as diferentes disciplinas, construção, a operação e manutenção, entre outros. Ao final, esses modelos devem contemplar, além da geometria exata, os dados necessários de apoio às atividades de construção, fabricação e fornecimento de insumos (EASTMAN *et al.*, 2011).

O mercado observa o BIM como um solucionador de diversos problemas encontrados na AECO devido, principalmente, por servir como plataforma para o trabalho colaborativo entre as equipes de projetos e incentivar o compartilhamento das informações (ABUBAKAR *et al.*, 2014). Para Gbadamosi *et al.* (2020), a eficiência no gerenciamento das informações é o principal benefício do BIM, permitindo a consulta pelos envolvidos dos dados atualizados de forma simples. Além disso, a colaboração requerida pela metodologia BIM atua elevando a produtividade do setor e a qualidade dos empreendimentos, reduzindo os erros e desperdícios, e melhorando o processo de coordenação entre as disciplinas (ABANDA; TAH; CHEUNG, 2017). A Figura 2.4 apresenta os principais benefícios do BIM relacionados às macros fases do ciclo de vida de um empreendimento.

Além de digital e espacial, para atingir uma implementação integrada, Eastman *et al.* (2011) afirmam que o modelo BIM deve ser mensurável, abrangente, acessível e durável. Isto significa que o modelo precisa conter informações quantificáveis e dimensionáveis, capazes de transmitir a ideia do projeto e questões sobre desempenho e gerenciamento da construção.

Todas essas informações devem estar acessíveis aos envolvidos e serem utilizadas em todas as fases da vida da edificação.

Figura 2.4 - Benefícios da metodologia BIM



Fonte: Adaptado de Catelani (2016)

Em relação às informações adicionadas ao modelo digital 3D, o *BIM Excellence (BIME) Initiative* (2022) define 76 usos do modelo BIM categorizados em 07 séries. Nem sempre é possível encontrar um modelo que apresente todas essas séries de forma integrada, inclusive no setor de pré-moldados de concreto. A Tabela 2.1 apresenta as séries do uso potencial do modelo. Apesar de poder ser pensada como uma inovação, o processo de adoção da metodologia BIM apresenta-se muito mais complexo que a introdução de uma tecnologia. Saka e Chan (2020) afirmam que o BIM representa uma verdadeira revolução sociocultural para a construção civil mundial, requerendo modificações profundas sobre todas as soluções técnicas já estabelecidas pelo método convencional. Portanto, o processo de implementação provoca uma mudança nas organizações por inteiro, modificando a forma como os problemas são resolvidos e os produtos desenvolvidos (EASTMAN *et al.*, 2011; ABDI, 2017).

Tabela 2.1 - Séries de uso potencial do modelo BIM

Série de uso do modelo	Descrição
Captura e representação	Uso de <i>softwares</i> e equipamentos para captura e representação dos ambientes físicos no modelo BIM
Planejamento e projeto	Uso de <i>softwares</i> BIM para conceituação, planejamento e projeto do empreendimento no modelo BIM
Simulação e quantificação	Uso de <i>softwares</i> BIM para realização de simulações e quantificações por meio do modelo BIM
Construção e fabricação	Uso dos modelos BIM para fins específicos de construção e fabricação
Operação e manutenção	Uso dos modelos para operar, gerenciar e realizar manutenção de uma instalação
Monitoramento e controle	Uso dos modelos para monitorar a performance do empreendimento ou controlar os espaços, sistemas e equipamentos
<i>Linking</i> e extensão	Vinculação dos modelos BIM e seus componentes a outros bancos de dados

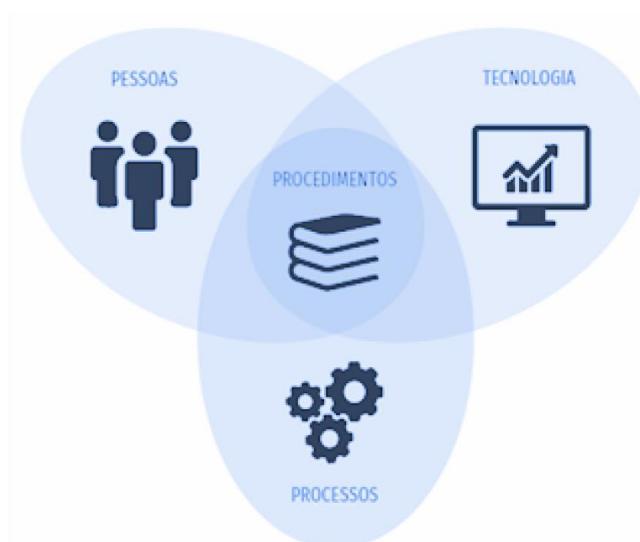
Fonte: Traduzido de *BIM Dictionary* (2022)

Segundo Kassem e Succar (2017), define-se a implementação do BIM como a adoção bem sucedida das ferramentas e fluxos de trabalho baseados na metodologia BIM ao analisar-se apenas uma única organização. Sacks, Gurevich e Shrestha (2016) afirmam que, para alcançar-se o sucesso da adoção, faz-se necessário o desenvolvimento de uma estratégia que contemple as questões internas da organização, os assuntos regulatórios regionais, o treinamento da equipe, a compra de equipamentos e *softwares*, entre outros.

De forma simplista, pode-se dizer que o processo de adoção do BIM permeia três dimensões: tecnologia, pessoas e processos. A instalação da infraestrutura física e aquisição dos *softwares* necessários à implantação são importantes, entretanto, os colaboradores devem ser a prioridade no processo. Desta forma, é primordial a capacitação dos envolvidos para a utilização dos recursos, para o trabalho colaborativo e para a visão transdisciplinar dos projetos. Além disso, os processos precisam ser redefinidos pensando nos novos fluxos de trabalho e especificação de entregáveis, sistema de concentração de dados, arquivos e informações, por exemplo (ABDI, 2017). Essa estratégia está ilustrada na Figura 2.5.

Babatunde *et al.* (2020) afirmam que um problema vivenciado pelas empresas no processo de adoção do BIM é não saber por onde começar. Desta forma, no processo de implementação, as dimensões pessoas, tecnologia e processos estão conectadas por procedimentos, normas e boas práticas. De acordo com Carezzato (2018), a criação de diretrizes claras e objetivas sobre sua implementação contribui positivamente para a maior disseminação e seu uso pelos *stakeholders* da AECO.

Figura 2.5 - Estratégia para implementação do BIM



Fonte: ABDI (2017) adaptado de Succar *et al.* (2012)

A construção do empreendimento virtualmente com todas as disciplinas possibilita analisar a construtibilidade, quantidade de materiais, custos e desempenho antes da construção, possibilitando a identificação de inconsistências e falhas. Ma *et al.* (2020a) afirma que, devido aos seus benefícios, o BIM já se tornou obrigatório em diversos países desenvolvidos, como Dinamarca, Finlândia, Suécia, Reino Unido e Estados Unidos. De acordo com Chan, Olawumi e Ho (2019), 75% dos empreendimentos norte-americanos já empregam a metodologia BIM e, no Reino Unido, esse índice é de 55%. Nos países em desenvolvimento, como o Brasil, existem iniciativas governamentais para a disseminação do BIM. No caso da China, Zhang *et al.* (2016) afirmam que a metodologia BIM chegou em 2002, porém, aumentou sua expressão em 2012 a partir do incentivo do governo chinês, com o objetivo de melhorar a performance da construção civil de modo a atender as necessidades de habitações e infraestrutura.

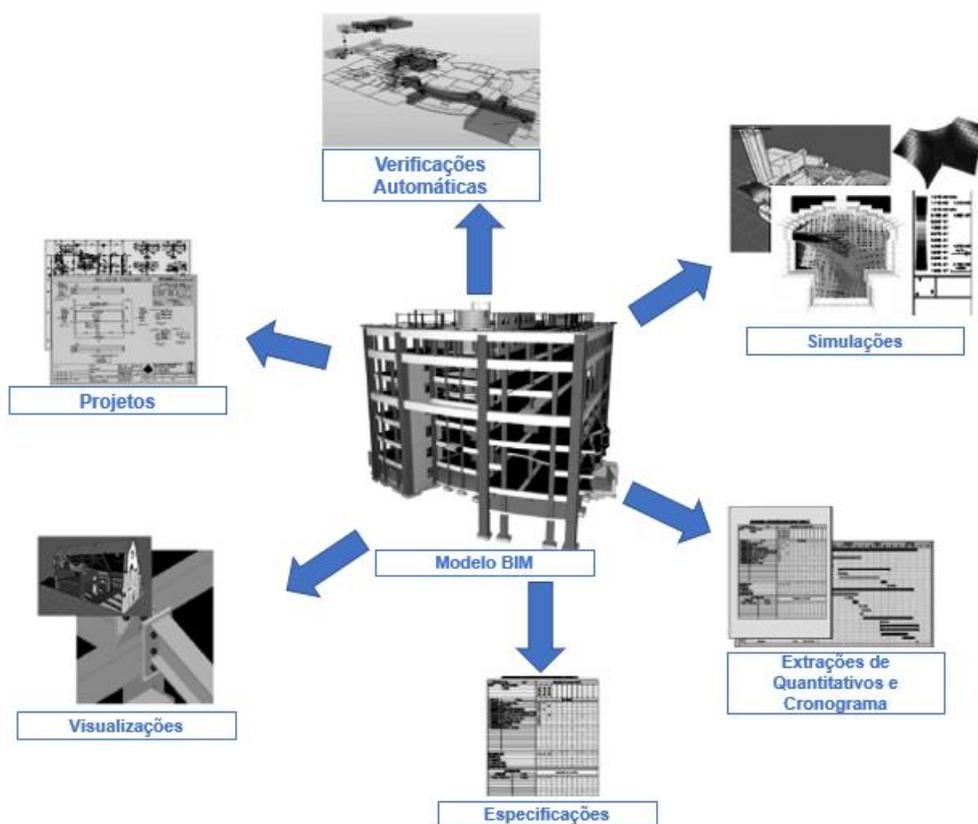
Percebe-se, no entanto, uma grande atenção em relação aos benefícios da adoção do BIM criando, dessa forma, uma falsa percepção que a metodologia BIM não envolve incertezas e riscos de insucesso (SAKA; CHAN, 2020). Contudo, apesar das contribuições positivas à AECO, o BIM tem desafios e barreiras de caráter técnico, humano e cultural, principalmente durante o processo de implementação da inovação (BEN MAHMOUD; LEHOUX; BLANCHET, 2020).

2.3. BIM APLICADO NO SETOR DE PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO

O emprego da metodologia BIM é uma realidade na AECO, devendo ser incorporada pelo setor de pré-fabricados de concreto. Apesar de incipientes, estudos confirmam seu poder para superar as dificuldades observadas nos empreendimentos que fazem uso da pré-fabricação (LU; KORMAN, 2010; TILLMANN *et al*, 2015; LEOPOLDESEDER; SCHACHINGER, 2017; AGHA; AHMADCAND; ENGBALI, 2020; PHANG; CHEN; TIONG, 2020; SHEIN *et al.*, 2021; SON; HON, 2023). Ben Mahmoud *et al.* (2022) afirmam que a integração do BIM e a pré-fabricação são vistos como soluções viáveis para a redução das emissões de gases do efeito estufa e dos impactos ambientais da indústria e a redução do valor global dos empreendimentos.

De forma simplificada, os benefícios do BIM passam pela melhor visualização do projeto, geração de documentos mais realistas e confiáveis e a possibilidade de realização de simulações e extrações de dados, como apresentado na Figura 2.6.

Figura 2.6 - Aplicações da metodologia BIM no setor de pré-moldados



Fonte: Adaptado de Jeong *et al.* (2009)

Zhai *et al.* (2019) afirmam que os serviços de fabricação, transporte e montagem de uma construção pré-fabricada são burocráticos, com trocas de informações pontuais e restritas ao papel, facilitando o surgimento de erros de interpretação dos dados de geometria,

especificação dos materiais ou de prazos. Os principais benefícios percebidos pelos *stakeholders* no emprego do BIM em obras pré-fabricadas são: maior precisão entre o projeto executivo e o projeto para produção; aumento na colaboração entre os projetistas desde a concepção do empreendimento; e maior flexibilidade para alterações no projeto de forma simples antes do início da produção (MOSTAFA; KIN; RAHNAMAYIEZEKAVAT, 2017; ZHANG *et al.*, 2021).

Os processos de transporte e montagem são dependentes da expertise do profissional e, no surgimento de algum evento imprevisto, a tomada de decisão é demorada (ZHAI *et al.*, 2019). A facilidade para a realização de simulações proporcionado pelo BIM permite a otimização das atividades, reduzindo a ocorrência de eventos adversos e, conseqüentemente, do tempo total de execução da obra (GBADAMOSI *et al.*, 2020; AGHA; AHMADCAND; ENGHBALI, 2020; SON; HON, 2023). Zhan *et al.* (2021) aplicou um modelo integrando ao BIM, ao método dos elementos finitos para realização de montagem virtual teste (VTA, do inglês *virtual trial assembly*) para a verificação das interferências no processo, possibilitando a correção ou mitigação ainda na fase de projeto.

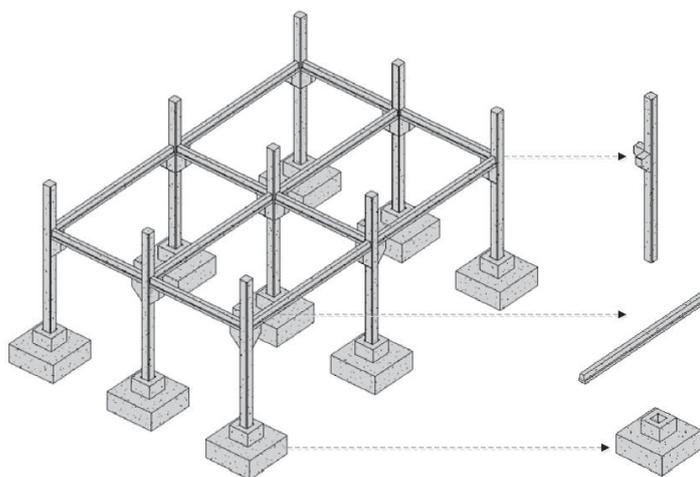
A atuação mais importante do BIM para o setor encontra-se no favorecimento da colaboração entre os *stakeholders* do projeto e no gerenciamento eficiente das informações do empreendimento. Esses dois pontos atuam proporcionando melhoria na coordenação entre as disciplinas, aumento da produtividade, eficiência, qualidade e sustentabilidade do setor, redução dos prazos de obras e dos custos envolvidos, e minimização do desperdício e retrabalho (ABANDA; TAH; CHEUNG, 2017; ZHANG *et al.*, 2021; BEN MAHMOUD *et al.*, 2022). Apesar de tornarem-se mais visíveis nas fases de projeto e construção, esses benefícios estão presentes em todo o ciclo de vida do empreendimento. O BIM *Excellence* (2022) especifica um modo de uso exclusivamente para atender a pré-fabricação de concreto.

Além disso, observa-se grande sinergia entre a pré-fabricação e o BIM, facilitando, deste modo, o processo de sua implementação e potencializando os benefícios dessa adoção (BABIC *et al.*, 2010; GBADAMUSI *et al.*, 2020; XU *et al.*, 2022). Mostafa *et al.* (2018) afirmam que o BIM possui melhor aplicabilidade em empreendimentos que fazem uso da pré-fabricação, uma vez que a padronização facilita o processo de modelagem e, juntamente ao alto controle de qualidade, tornam as simulações realizadas mais realistas. Contribui, portanto, ativamente para a inclusão da customização em massa, permitindo à indústria atender o mercado da construção, heterogêneo, com grande quantidade de produtos sem perder a escala de produção, proporcionando benefícios à indústria, ao setor da construção civil e aos clientes (MOSTAFA *et al.*, 2018; PHANG; CHEN; TIONG, 2020).

Lu e Korman (2010) afirmam que, geralmente, seu processo de implementação no setor inicia-se pela introdução de desenhos tridimensionais para visualização da edificação. Apesar de não ser considerado BIM, as maquetes 3D melhoram o processo de comunicação

e coordenação pelas informações detalhadas em relação à geometria, localização, dimensões e sistemas complementares, quando comparada aos desenhos 2D (LU; KORMAN, 2010; MOSTAFA *et al.*, 2018). Posteriormente, ocorre o emprego de objetos parametrizados para a construção dos modelos BIM com detalhamento 3D. Ben Mahmoud *et al.* (2022) enfatizam a necessidade de criação de bibliotecas de objetos paramétricos para a disseminação do BIM no setor de pré-fabricados. Esses objetos são os elementos pré-moldados usuais, modelados de forma inteligente que, quando inseridos, identificam automaticamente suas características, tipos de ligação, entre outros. Na Figura 2.7 é possível observar objetos parametrizados na representação 3D.

Figura 2.7 - Modelo simplificado de construção pré-moldada



Fonte: Yuan, Sun e Wang (2018)

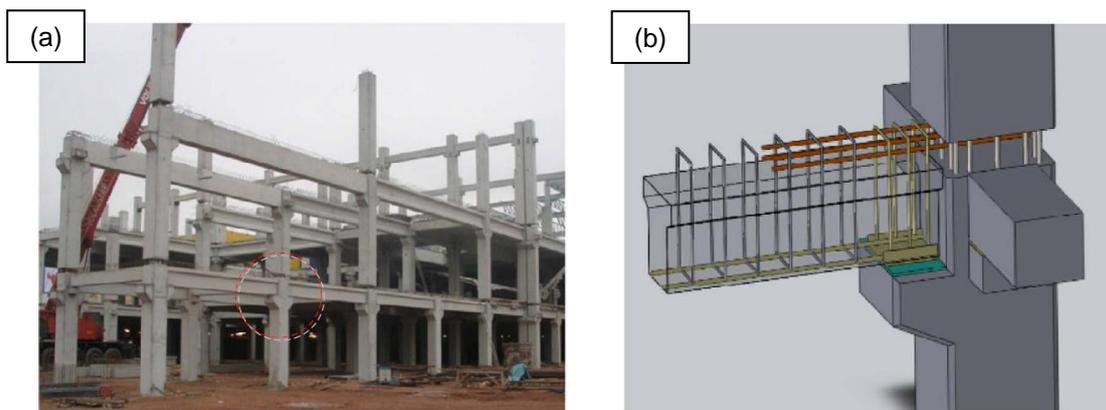
El Debs e Ferreira (2014) estudaram a aplicabilidade do BIM para detalhamento 3D e a comunicação visual em projetos de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (PPAC). A utilização desse tipo de elemento impossibilita a improvisação, portanto, requer a perfeita coordenação entre o projeto arquitetônico e a produção das peças, evitando erros dimensionais e nos mecanismos de conexão. Deste modo, a utilização do BIM apresentou excelentes resultados, reduzindo consideravelmente os erros aferidos na montagem, refletindo a capacidade do modelo em apresentar as inconsistências ainda na etapa de projeto. Além disso, observou-se que seu uso facilitou o processo de coordenação, tornando o empreendimento mais adequado ao uso de elementos pré-fabricados (EL DEBS; FERREIRA, 2014).

O BIM, no entanto, destaca-se pela gestão da informação confiável e eficiente do empreendimento (MOSTAFA; KIN; RAHNAMAYIEZEKAVAT, 2017). Sacks *et al.* (2010) exploraram suas ferramentas para detalhamento 3D e comunicação visual na execução de 3.500 m² de fachada com painéis pré-fabricados, dando ênfase à melhoria na gestão da

informação, que fornece as informações atualizadas requeridas pela coordenação do projeto, fabricação e montagem, aumentando a produtividade em 57% quando comparada ao método convencional. Mohnon *et al.* (2021), aplicando o BIM para o planejamento, fabricação e instalação de estruturas pré-fabricadas de AVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado) chegou a uma redução de 20% do tempo total do projeto e 15% de economia de mão de obra.

Em comparação à moldagem *in situ*, o principal benefício da utilização dos pré-fabricados é a velocidade de execução da obra (SERRA; FERREIRA; PIGOZZO, 2005). Contudo, para tal, faz-se necessário planejamento eficiente dos processos envolvidos. Nesse sentido, Yuan, Sun e Wang (2018) utilizaram a metodologia BIM para detalhamento 3D e planejamento de construção para obras de PMC. Os elementos foram parametrizados e o planejamento de produção e montagem passou por ciclos de melhorias por meio de simulações e interação entre arquitetos, engenheiros e fabricantes. Dessa forma, a criação de um modelo para fabricação baseado no processo de montagem atuou ativamente para a redução dos erros no processo de montagem. A Figura 2.8 apresenta o detalhamento das ligações das peças.

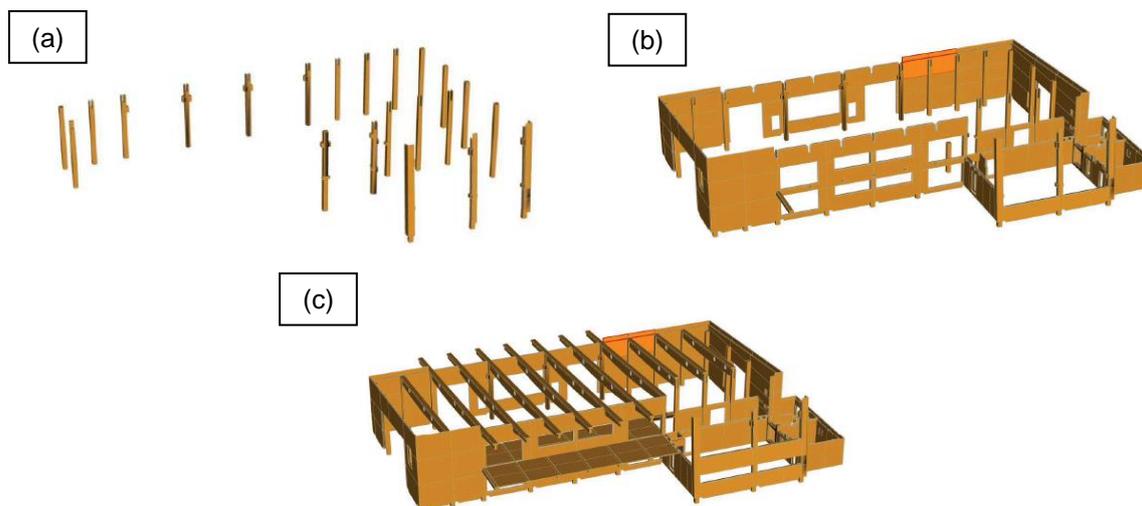
Figura 2.8 - Conexão viga-coluna para um edifício industrial pré-moldado (a) real e (b) virtual



Fonte: Yuksel *et al.* (2015)

De acordo com Leopoldseder e Schachinger (2017), a implementação do BIM permite, entre outras coisas, realizar simulações dos processos de produção, estocagem, transporte e montagem, envolvendo diversas variáveis de modo virtual, permitindo, dessa forma, a identificação de falhas e interferências, alcançando-se processos mais otimizados. Ao tratar do processo de montagem, a simulação permite identificar, além das interferências, os equipamentos e ferramentas necessários para içamento e conexão dos elementos, permitindo potencializar o uso deles, reduzindo custos de uso ou de aluguel. Na Figura 2.9 apresenta-se a simulação do processo de montagem de um galpão comercial utilizando pré-fabricados de concreto.

Figura 2.9 - Simulação do processo de montagem (a) pilares, (b) painéis e (c) vigas

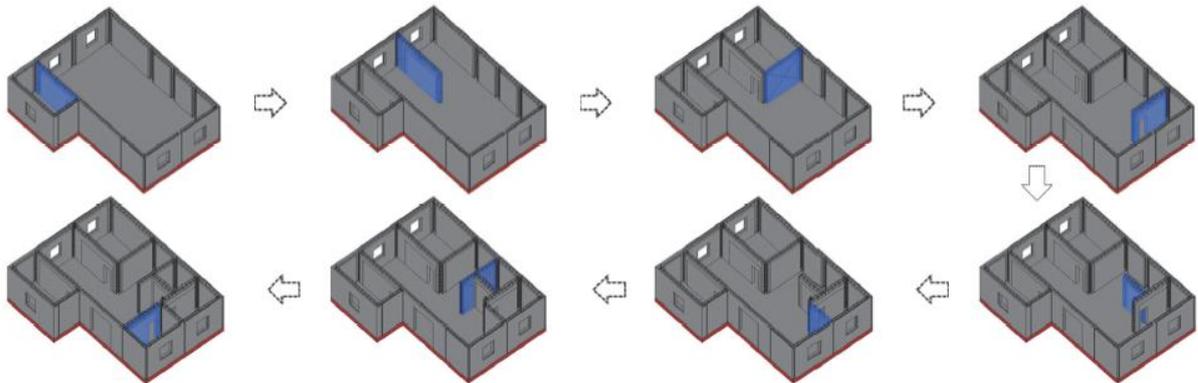


Fonte: Leopoldseder e Schachinger (2017)

Bortolini, Shigaki e Formoso (2015) utilizaram ferramentas baseadas em BIM para o desenvolvimento do plano logístico de canteiro para uma obra de pré-fabricados do tipo *Engineer-to-order*, incluindo o *layout* de canteiro, operações de descarga, inventário e montagem. Para decisões iniciais, não se fez necessário um modelo BIM detalhado, porém, para simulações das atividades críticas, precisa-se de um modelo mais refinado. Foi possível utilizar as simulações de logística da construção para analisar o tempo de duração dos processos e a atuação das equipes, resultando no aumento da produtividade da montagem, redução do estoque e do trabalho em progresso, buscando o fluxo contínuo. No mais, observou-se que as simulações incentivaram a integração entre as equipes de planejamento, transporte e montagem no processo de gestão logística (BORTOLINI; SHIGAKI; FORMOSO, 2015).

Nessa mesma perspectiva, Wang, Yuan e Sun (2018) fizeram uso da metodologia BIM para o planejamento da montagem de um edifício em PMC. Antes das simulações, os autores desenvolveram um algoritmo genérico para alcançar uma solução otimizada da montagem. Posteriormente, cada solução gerada pelo algoritmo foi introduzida no modelo para uma visualização espacial e identificação dos conflitos. Esse processo ocorreu de forma cíclica e permitiu a definição da melhor solução para o processo. Na sequência, iniciou-se pela laje inferior, paredes externas, paredes internas, vigas, laje superior e escadas (WANG; YUAN; SUN, 2018). Na Figura 2.10 é apresentada a visualização da melhor sequência para montagem das paredes internas.

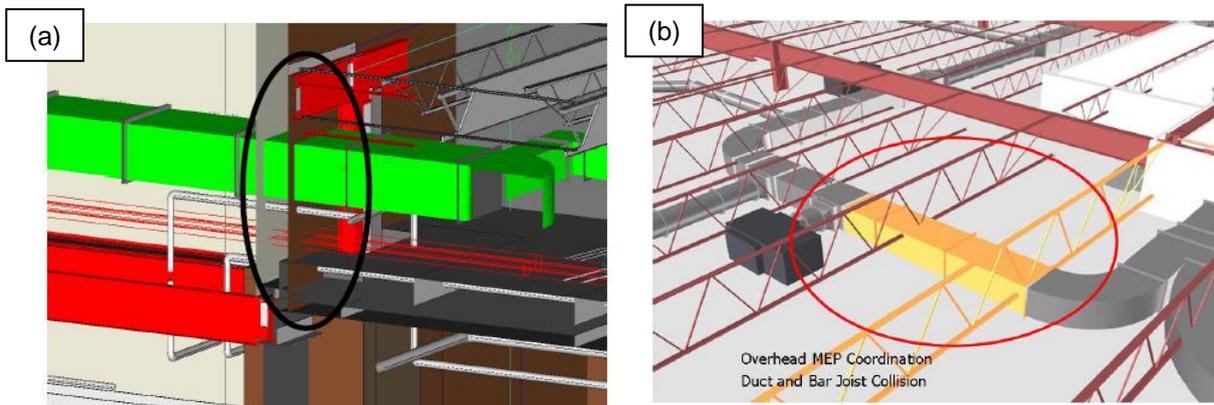
Figura 2.10 - Visualização por meio do modelo BIM da sequência de montagem das paredes internas



Fonte: Wang, Yuan e Sun (2018)

De acordo com Zhang et al. (2016), as primeiras aplicações do BIM no setor de PMC foram para a análise da construtibilidade e a identificação de conflitos entre as disciplinas. Corroborando, Lu e Kerman (2010) avaliaram sua aplicação na coordenação de obras pré-fabricadas e, entre outros benefícios encontrados, observaram que ao utilizar-se da metodologia foi possível identificar mais de 800 interferências entre os projetos estrutural e complementar ainda na fase de projeto, permitindo a adequação de forma simples e sem custos. Ainda de acordo com os autores, se a ferramenta do clash detection não fosse aplicada, a maioria desses conflitos seriam identificados somente no momento da construção, causando atrasos, improvisações e custo. A Figura 2.11 apresenta dois exemplos de conflitos entre disciplinas.

Figura 2.11 - Conflito entre o sistema de condicionamento de ar com (a) estrutura e (b) estrutura do telhado



Fonte: Lu e Kerman (2010)

Apesar de ter ação mais expressiva nas fases de projeto e construção, a metodologia BIM é aplicada durante o uso e operação do empreendimento, com modos de uso para manutenção, monitoramento e controle. Nesse sentido, Ismail (2017) comparou a

performance do método convencional de projetar e do BIM para manutenção de estruturas em PMC. A aplicação do BIM permitiu a extração de informações da construção mais condizentes com a realidade, contribuindo, dessa forma, para o diagnóstico e controle das manifestações patológicas ocasionadas pelo uso da edificação. Outro ponto de melhoria do BIM apresenta-se na gestão de segurança do projeto, pois permite antecipar informações que não estão atendendo os procedimentos de segurança, possibilitando uma análise prévia para deliberação sobre ações corretivas ou mitigadoras (SHEN *et al.*, 2022).

Além dos benefícios observados, o BIM pode ser reconhecido como indutor de iniciativas de inovações para a AECO e, em especial, para o setor de pré-fabricados (ABANDA; TAH; CHEUNG, 2017; QI *et al.*, 2021). O ambiente fabril e o controle de qualidade sobre os processos e produtos favorecem o desenvolvimento de soluções tecnológicas para resolver problemas do setor. Nesse sentido, Kanai (2019) aplicou ferramentas de *KanBIM* (integração do BIM e da construção enxuta proposta) para o planejamento do fluxo de processos de painéis pré-fabricados de concreto. Alcançando a melhor visualização dos processos, essas ferramentas impactaram positivamente a qualidade final dos painéis, além disso, reduziram os custos, desperdícios e atrasos na produção, melhoraram também a comunicação entre as equipes de projeto, produção e obra.

Sharif, Chuo e Hass (2022) afirmam que os projetos em estruturas pré-fabricadas estão cada vez mais complexos, fazendo uso de peças personalizadas com um nível de tolerância apertado. Desse modo, os autores implementaram um método de controle de qualidade tridimensional, englobando a verificação das peças ainda no estoque com *laser scan* e compatibilização com o modelo BIM. O *laser scan*, no entanto, está com grande aplicabilidade no setor em conjunto com o BIM (SON; HON, 2023).

De acordo com Abanda, Tah e Cheung (2017), o setor de pré-fabricados alcançará um crescimento expressivo de sua produtividade a partir da automatização de seus processos, apresentando o BIM como canal condutor para tal. Objetivando solucionar os problemas encontrados na construção modular, Zhai *et al* (2019) e Qi *et al.* (2021) propuseram uma plataforma em nuvem baseada em BIM integrando-o a outras tecnologias, como: IoT (*Internet of Things*), RFID (*Radio Frequency Identification*), NFC (*Near Field Communication*), GPS, *Big Data*, realidade estendida e impressão 3D.

O uso da plataforma BIM em nuvem aumentou a eficiência e a produtividade do sistema, permitindo a exploração de todo seu potencial. A integração do IoT proporcionou conexão contínua entre todas as partes do projeto, permitindo que a coordenação e o monitoramento das atividades ocorressem em tempo real. Além disso, as respostas instantâneas atuaram reduzindo o tempo do projeto e mantendo o custo estipulado (ZHAI *et al.*, 2019). Qi *et al.* (2021) afirmam que essa integração com sistemas de localização, garante a visibilidade e rastreabilidade dos elementos.

O emprego do NFC, no entanto, reduziu as chances de perda de informação, uma vez que atua como *tag* de identificação automática, diminuindo a necessidade de troca de informações via papel nas movimentações dos elementos. O RFID foi utilizado em conjunto com o GPS, permitindo a coleta de informações precisas sobre as movimentações e a localização em tempo real dos elementos. Como conclusão, constatou-se que a introdução dessas tecnologias resultou na redução de 85% de inconformidades na fase de fabricação e de 80% nas fases de transporte e montagem. Além disso, reduziu o tempo de resposta a imprevistos e emergências em 92,8% (ZHAI *et al.*, 2019).

Percebe-se que a adoção do BIM pela indústria de PMC no Brasil ainda precisa ser estudada. Como é um setor com modo de organização bastante específico, o que é definido para o modo convencional de construir nem sempre se aplica à pré-fabricação. Assim, existem questionamentos sobre as barreiras envolvidas no processo de sua implementação nesse setor, custos, retorno de investimentos, *softwares*, entre outros que precisam ser respondidos para incentivar a adoção da metodologia BIM.

2.4. BARREIRAS À IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NO SETOR DE PMC

Embora a adoção do BIM proporcione muitos benefícios para a AECO, observa-se um lapso temporal entre o desenvolvimento de seus conceitos e a disseminação do seu uso (BABATUNDE *et al.*, 2020; PHANG; CHEN; TIONG, 2020). Ao analisar sua implementação, percebe-se que o processo ocorre de forma vagarosa principalmente nos países em desenvolvimento, em que o Brasil está incluído (BABATUNDE *et al.*, 2020; DAO; CHEN; NGUYEN, 2020; KORDESTANI GHALEONEI *et al.*, 2022). Contudo, Liao e Teo (2017) afirmam que a sua utilização se encontra mais avançada em países desenvolvidos, como Reino Unido e Estados Unidos, isso se deve a políticas governamentais de incentivo e obrigatoriedade da adoção.

O processo de utilização da metodologia BIM é caracterizado por sua alta complexidade, principalmente pelo caráter disruptivo das mudanças provocadas sobre os processos e fluxos de trabalho (DAO; CHEN; NGUYEN, 2020; BEN MAHMOUD *et al.*, 2022). Por outro lado, não se pode acreditar que o sucesso na implementação ocorra pelo esforço individual dos projetistas, uma vez que até o mais entusiasmado pode desanimar perante as dificuldades (OLANREWAJU *et al.*, 2020). Observa-se, no entanto, grande interesse dos pesquisadores em analisar quais os fatores exercem influência sobre o sucesso desse processo, com o objetivo principal de auxiliar a implementação do BIM (TSAI; MOM; HSIEH, 2014; CHEN *et al.*, 2019; AWWAD; SHIBANI; GHOSTIN, 2020; MA *et al.*, 2020a; MA *et al.*, 2020b; SAKA; CHAN, 2020; SINOH; OTHMAN; IBRAHIM, 2020).

Apesar de não ser considerado apenas uma tecnologia, a análise do processo de implementação pode valer-se das teorias e modelos de análise da adoção de uma tecnologia. Assim como o BIM, qualquer tecnologia é adotada com o objetivo de solucionar um problema ou melhorar um processo e, para alcançar os resultados esperados, faz-se necessário um melhor entendimento acerca dos fatores que exercem influência sobre o processo (TSAI; MOM; HSIEH, 2014; GASPERIN, 2019). Nesse sentido, pesquisadores desenvolveram vários modelos de avaliação da adoção de TIC de uma forma geral, mas que podem ser aplicadas para a AECO. Entre eles, destacam-se: *Innovation Diffusion Theory* (IDT), *Theory of Acceptance Model* (TAM) e *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology* (UTAUT).

O primeiro, chamado de IDT, foi proposto por Rogers (1962), sua avaliação ocorre por meio de cinco pontos: vantagem relativa, compatibilidade, facilidade do uso, experimentação e visualização de benefício (KIN, PARK, CHIN, 2016; GAPERIN, 2019; PHANG, CHEN, TIONG, 2020). O segundo, denominado por TAM, foi formulado por Davis (1989) para mensurar a relevância de fatores externos na percepção do usuário. Para o modelo, os principais fatores que explicam a adoção de uma tecnologia são: a percepção da utilidade e a clareza da facilidade do uso (KIN, PARK, CHIN, 2016; GAPERIN, 2019; PHANG, CHEN, TIONG, 2020). Considerado a união dos modelos anteriores, o UTAUT foi desenvolvido por Venkatesh *et al.* (2003) e mensura a adoção por meio de quatro variáveis: expectativas de desempenho e de esforço, a influência social e as condições facilitadoras (GAPERIN, 2019; PHANG, CHEN, TIONG, 2020).

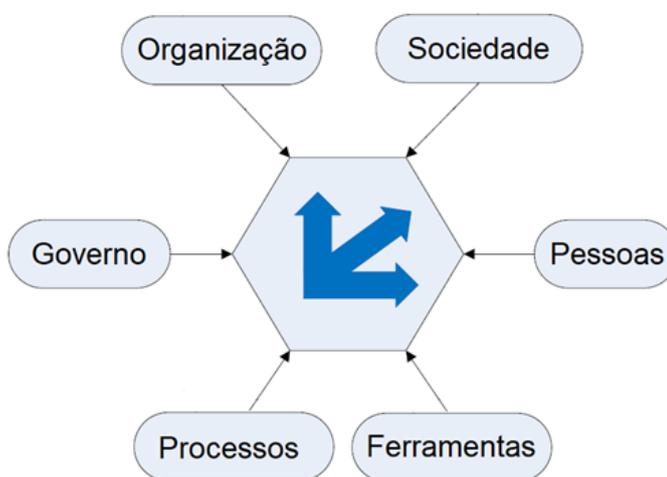
Gasperin (2019) afirma que não há consenso sobre qual teoria apresenta-se mais adequada para avaliar a adoção de inovações na AECO, contudo, os modelos modificados, como o UTAUT, podem trazer melhores resultados por serem mais completos. No entanto, Saka e Chan (2020) afirmam que esses modelos de análise devem ser avaliados e adaptados para o setor a ser analisado, não havendo um modelo universal para toda indústria devido a sua fragmentação. Corroborando, Poirier, Staub-French e Forgues (2015) afirmam que cada processo de implementação tem o seu contexto. Nesse sentido, não se pode afirmar que o setor de PMC tem as mesmas características dos demais setores da AECO.

Phang, Chen e Tiong (2020) analisaram a implementação do BIM em empresas do setor de PMC em países da Europa e da Ásia para propor um *framework* para avaliação desse processo focado no setor de PMC. Essa ferramenta foi denominada *PCBIM Hexagon* e identifica os fatores que exercem influência no sucesso da adoção em seis áreas principais (hexágono): organização (empresa), sociedade, pessoas (equipe), ferramentas (tecnologia), processos e governo. O *PCBIM Hexagon* é apresentado na Figura 2.12.

A área concernente à organização se refere a questões internas da própria empresa e o planejamento do processo de adoção. Enquanto sociedade engloba os aspectos relacionados ao mercado da construção civil e questões legais e contratuais. A área que diz

respeito a pessoas deve contemplar fatores ligados aos colaboradores da cadeia produtiva: projetistas, fabricantes, construtores, consultores, entre outros. Já em relação às ferramentas, os temas são relacionados à tecnologia como aquisição de *hardware* e *software*, e treinamento dos profissionais. A área de processos deve abranger pontos da gestão de mudança sobre os padrões e fluxos de trabalhos definidos para o método convencional. Por fim, os aspectos ligados à regulamentação, criação de políticas de incentivo e ações governamentais estão incorporadas em governo. No mais, Phang, Chen e Tiong (2020), de modo a facilitar a análise, afirmam ser conveniente juntar sociedade e governo em uma única área: fatores externos.

Figura 2.12 - Representação do PCBIM Hexagon



Fonte: Adaptado de Phang, Chen e Tiong (2020)

O processo de implementação possui uma série de desafios e barreiras, no entanto, a identificação e análise desses fatores permite empreender ações de mitigação e correção. Corroborando, Ma *et al.* (2019) afirmam que a utilização de modelos de avaliação da adoção, como o PCBIM *Hexagon*, em conjunto com a técnica de determinação dos Fatores Críticos de Sucesso (FCS), é a principal base teórica para avaliação do processo de implementação do BIM. Essa técnica é amplamente utilizada nas áreas de gestão de negócios e de projetos para formulação e análise de estratégias, contudo, torna-se cada vez mais empregada na AECO para análise da adoção de inovações e a gestão da mudança (MA *et al.*, 2020a).

Define-se por fator todos os elementos que exercem influência no resultado de um processo (RUSSO; SILVA, 2019). Aqueles essenciais ao cumprimento dos critérios de sucesso de um projeto são classificados como FCS (HYVARY, 2006). A identificação deles é fundamental à implementação sistemática de projetos, uma vez que eles podem atuar facilitando, dificultando ou, até mesmo, impedindo o sucesso deles (RUSSO; SILVA, 2019). No que se refere à adoção de inovações tecnológicas, a determinação dos FCS permite identificar aspectos problemáticos mais relevantes e, em sequência, desenvolver ações para

contorná-los (BRITO, 2019). Desta forma, esforços e recursos podem ser concentrados em ações que realmente contribuirão para o êxito do processo. Ao tratar-se de estudos sobre a implementação do BIM, percebe-se grande aplicabilidade de FCS (DAKHIL; UNDERWOOD; AL-SHAWI, 2019; MA *et al.*, 2020a; PHANG; CHEN; TIONG, 2020; SAKA; CHAN, 2020; SINOH; OTHMAN; IBRAHIM, 2020).

Observou-se que, apesar do mesmo sentido, alguns trabalhos divergem na nomenclatura adotada para relacionar um FCS. Por exemplo, Won *et al.* (2013), Tsai, Mom e Hsieh (2014), e Jablot *et al.* (2019) utilizaram de termos como “fatores de consideração”, “fatores de influência” e “fatores chave”, respectivamente, com o mesmo sentido que Russo e Silva (2019) definem FCS. Além deles, Olanrewaju *et al.* (2019) usaram a denominação “barreiras mais significantes”, e, de forma ainda mais simplificada, Babatunde *et al.* (2021), classificaram os seus achados somente por “barreiras”. Dessa forma, constata-se que não há um consenso na literatura. Contudo, este trabalho seguirá com a definição de FCS.

Nesse sentido, é cabível uma discussão semântica sobre o emprego dos termos “barreiras” e “desafios” para identificar os fatores que atuam por prejudicar o processo de implementação do BIM. O termo “barreira” carrega o sentido de obstáculo, algo a ser vencido. Enquanto “desafios” agrega sentido de possibilidade de superação, tornando-se mais adequado ao estudo. Contudo, devido ao emprego do termo “barreira” (tradução de palavra em inglês, *barrier*) pela maioria dos pesquisadores do tema, este trabalho utiliza o termo “barreira” para caracterizar os fatores identificados na revisão sistemática de literatura (RSL).

Observa-se que os estudos sobre a implementação do BIM, de forma geral, fazem a identificação das principais barreiras envolvidas no processo por meio de uma revisão de literatura. Posteriormente, essas barreiras são avaliadas por meio da aplicação de questionários e a definição dos FCS ocorre por análise estatística. Contudo, não se observa consenso para o número ideal de barreiras para análise. Tsai, Mom e Hsieh (2014) identificaram na revisão 123 fatores de influência (barreiras) e, após análise qualitativa, definiram-se 58 FCS. Liao, Teo e Chan (2019), de forma semelhante, identificaram 47 barreiras que se tornaram 21 FCS. De modo divergente, Evans *et al.* (2020) e Ozorhon e Karaban (2016) encontraram na revisão 30 e 16 barreiras, respectivamente, no entanto, elas foram admitidas como FCS sem a aplicação de questionários ou análise estatística.

A referência para análise do processo de implementação do BIM no setor de PMC utilizando a definição dos FCS é o estudo realizado por Phang, Chen e Tiong (2020). Nele, 25 barreiras foram identificadas por meio da revisão da literatura e, após análise qualitativa, definiram-se 8 FCS. Somente a definição e análise dos FCS é ineficiente para compreender profundamente o processo de implementação do BIM, uma vez que as relações entre os fatores se tornam negligenciadas. Portanto, torna-se essencial ao desenvolvimento de

estratégias de adoção a análise das inter-relações entre os fatores (MA *et al.*, 2019; TAN *et al.*, 2019; SAKA; CHAN, 2020).

Ainda são observados poucos estudos sobre a implementação do BIM no setor de pré-fabricados, dificultando a identificação das barreiras (ABANDA; TAH; CHEUNG, 2017; PHANG; CHEN; TIONG, 2020). Dessa forma, este trabalho fez uso de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) para a identificação desses fatores. Foram analisados 16 artigos publicados em periódicos e anais de congresso que abordavam integralmente o tema proposto. A partir disso, as barreiras foram identificadas e são apresentadas na Tabela 2.2. O método da RSL adotado e os resultados são apresentados no Apêndice A.

2.4.1 Barreiras relacionadas às pessoas

Apesar de não ser uma novidade para AECO, ainda são escassos os profissionais capacitados para trabalhar com BIM, tornando a capacitação dos colaboradores uma barreira apontada nos processos de implementação (LIAO; TEO; CHAN, 2019; MA *et al.*, 2020a; KORDESTANI GHALENOEI *et al.*, 2022). Além disso, a falta de conhecimento dos profissionais influencia negativamente o processo (CHAN, 2014). Nesse sentido, Sinoh, Othman e Ibrahim (2020) e Wu *et al.* (2021) destacam a inoperância da academia no desenvolvimento dessas habilidades em seus alunos. Desta forma, a barreira mais citada nos artigos foi a “falta de profissionais com capacidade técnica e comportamental para trabalhar com BIM” (B01).

De acordo com Lu e Korman (2010), o setor de pré-fabricados possui uma complicação maior nesse sentido. Para maior efetividade no uso do BIM, os modelos precisam ser precisos e realistas aos métodos e processos característicos da pré-fabricação. Portanto, faz-se necessário profissionais duplamente qualificados, isto é, com conhecimento em BIM e em pré-fabricados. Desta forma, torna-se mais vantajoso no processo de implementação a capacitação dos colaboradores atuais da empresa por meio de treinamentos sobre metodologia BIM, uma vez que eles já possuem conhecimento sobre a pré-fabricação.

O treinamento dos colaboradores deve focar em sua eficiência, utilizando os *softwares* e as tecnologias envolvidas e abordando práticas reais que englobam diferentes disciplinas, potencializando, dessa forma, as habilidades em BIM da empresa (LIU *et al.*, 2019; TAN *et al.*, 2019; PHANG; CHEN; TIONG, 2020). Além disso, Tan *et al.* (2019) enfatizam a necessidade de manter os profissionais motivados e abertos às novidades. Tillmann *et al.* (2015) afirmam que um facilitador do processo de implementação encontra-se na familiaridade dos supervisores de produção com a metodologia BIM. Desta forma, o treinamento deve abranger mais do que a equipe de projetos.

Tabela 2.2 - Barreiras identificadas por meio da RSL

Áreas	Código	Barreiras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Pessoas	B01	Falta de profissionais com capacidade técnica e comportamental para trabalhar com BIM		x	x	x		x	x	x	x		x	x		x	x		
	B02	Resistência ao trabalho integrado e colaborativo entre os projetistas, clientes e fábrica	x	x				x	x				x				x		
	B03	Incompreensão dos benefícios do BIM por parte dos <i>stakeholders</i> (projetistas, alta gerência, clientes ...)					x						x	x	x			x	
	B04	Resistência à mudança por parte dos <i>stakeholders</i> devido ao costume de documentos 2D		x					x				x					x	
Ferramentas	B05	Alto custo para aquisição de <i>softwares</i> e <i>hardwares</i> , treinamento de pessoal e manutenção das licenças		x		x		x		x		x		x					
	B06	Problemas de interoperabilidade na troca de informações entre <i>softwares</i> BIM											x		x			x	
	B07	Falta de suporte técnico dos desenvolvedores dos <i>softwares</i> em tempo hábil									x		x						
	B08	Ausência de ferramentas BIM bem estabelecidas para atender o setor de PMC							x				x						
	B09	Falta de ligação direta entre o modelo BIM e os sistemas ERP e de produção da fábrica									x		x		x				
Organização	B10	Falta de liderança e compromisso da alta direção no processo de implementação								x	x		x		x			x	
	B11	Ausência de um plano para implementação com definição de prazos, metas e responsabilidades								x	x		x						
	B12	Incerteza dos benefícios econômicos e do retorno do investimento proporcionados pela adoção do BIM										x		x					
	B13	Necessidade de contratação de consultoria em BIM para auxiliar o processo de implementação		x					x				x						

(Continua)

(Continuação)

Áreas	Código	Barreiras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Processos	B14	Problemas no processo de coordenação entre disciplinas (<i>clash detection</i> e tomada de decisão)									x		x	x		x		
	B15	Resistência ao compartilhamento de informações entre os projetistas		x					x		x	x	x		x			
	B16	Dificuldade de adaptação dos processos baseados em documentos 2D para modelos em BIM	x			x							x				x	
	B17	Ausência de fluxos de trabalho bem estabelecidos baseados em BIM para o setor de PMC	x		x						x						x	
	B18	Necessidade de adequação dos modelos para o sistema de produção devido à falta de informações	x		x						x							
Fatores Externos	B19	Ausência de políticas governamentais de incentivo à adoção do BIM no setor de PMC		x					x								x	x
	B20	Falta de padrões e normativas para orientar e fomentar a adoção do BIM no setor de PMC							x								x	x
	B21	Baixa pressão externa para adoção do BIM (exigência dos clientes, adoção por empresas concorrentes ...)		x							x			x				
	B22	Ausência de padronização de contratos em BIM e respaldo jurídico (gestão de conflitos, cobertura de seguro ...)	x		x	x		x	x				x				x	x
	B23	Problemas envolvendo o direito de propriedade intelectual em relação ao modelo	x	x					x	x				x				
	B24	Falta de estudos voltados à implementação do BIM no setor de PMC					x		x	x				x			x	x
	B25	Falta de guias e manuais voltados à adoção do BIM pelo setor de PMC							x	x				x			x	
<p>Notas: [1] Lu e Korman (2010); [2] Vernikos <i>et al.</i> (2014); [3] Tillmann <i>et al.</i> (2015); [4] Mostafa, Kim e Rahnamayiezekavat (2017); [5] Abanda, Tah e Cheung (2017); [6] Mostafa <i>et al.</i> (2018); [7] Tan <i>et al.</i> (2019); [8] Gbadamosi <i>et al.</i> (2020); [9] Phang, Chen e Tiong (2020); [10] Yao, Qin e Wang (2020); [11] Ben Mahmoud, Lehouc e Blanchet (2020); [12] Wu <i>et al.</i> (2021); [13] He <i>et al.</i> (2021); [14] Quin (2021); [15] Kordestani Ghalenoei <i>et al.</i> (2022) e [16] Xu <i>et al.</i> (2022)</p>																		

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Outro ponto essencial à adoção do BIM refere-se ao desenvolvimento de habilidades interpessoais e comportamentais (WU *et al.*, 2021). Segundo Sinoh, Othman e Ibrahim (2020), essas capacidades ditas não-técnicas são as mais importantes no processo de implementação, superando o conhecimento dos *softwares* ou dos processos construtivos. Entre elas, destaca-se a destreza no trabalho colaborativo com constante interação entre os *stakeholders* ao longo do ciclo de vida do projeto. Contudo, o método convencional de construir destaca-se pelo inverso (OZORHON; KARAHAN, 2016), criando, assim, “resistência ao trabalho integrado e colaborativo entre os projetistas, clientes e fábrica” (B02).

Pelo ambiente colaborativo multidisciplinar ser uma necessidade do BIM, torna-se uma questão desafiadora no processo de adoção (LIAO; TEO; CHAN, 2019; TAN *et al.*, 2019). Ben Mahmoud, Lehouc e Blanchet (2020) afirmam que a metodologia BIM somente será positiva à indústria se trazer informações relevantes e precisas, dependendo, portanto, do compromisso e cooperação de cada *stakeholder*. Nesse sentido, Lu e Korman (2010) afirmam ser necessário a definição das responsabilidades de cada parte envolvida para que o trabalho ocorra de forma colaborativa.

Além das práticas, observa-se a “incompreensão dos benefícios do BIM por parte dos stakeholders” (B03) como uma barreira importante a sua adoção pelo setor de PMC, porque esse descompasso atua por desestimular o investimento financeiro nessa adesão (ABANDA; TAH; CHEUNG, 2017). O desconhecimento dos conceitos básicos, funcionalidades, aplicações e processos pode reduzir o potencial de impacto da metodologia BIM no sistema e aumentar os riscos envolvidos no processo (TAN *et al.*; 2019; MA *et al.*, 2020). O baixo nível de conhecimento teórico provoca percepções distintas entre os envolvidos sobre os benefícios do BIM, ocasionando, desta forma, divergência nos objetivos de cada parte com a implementação (BADRINATH; HSIEH, 2019; MA *et al.*, 2020a; QUIN *et al.*, 2021). Dessa forma, Ben Mahmoud, Lehouc e Blanchet (2020) lembram que o treinamento deve ser amplo e com uma base teórica para solução dessas questões.

Apesar da compreensão dos benefícios envolvidos na sua adoção, existe uma força contrária à tecnologia por uma parte do setor (VERNIKOS *et al.*, 2014). Observa-se como barreira a “resistência à mudança por parte dos *stakeholders* devido ao costume de documentos 2D” (B04). A adoção do BIM acarreta, inevitavelmente, mudanças nos processos estabelecidos pelo mercado com base em documentos e papéis 2D (TAN *et al.*, 2019; MA *et al.*, 2020a). Ben Mahmoud, Lehouc e Blanchet (2020) afirmam que essa barreira é a mais crítica. Wu *et al.* (2021) define-a como resistência cultural, isto é, tratando-se de algo amplo envolvendo projetistas, construtores, fabricantes, clientes, consultores e poder público. Portanto, faz-se necessário o esforço e a abertura por parte dos envolvidos para aceitação da metodologia BIM (TAN *et al.*, 2019; SAKA; CHAN, 2020).

2.4.2 Barreiras relacionadas à tecnologia

A percepção do mercado da construção é que o processo de implementação do BIM requer elevado investimento financeiro (SINOH; OTHMAN; IBRAHIM, 2020). Portanto, define-se como barreira o “alto custo para aquisição de *softwares* e *hardwares*, treinamento de pessoal e manutenção das licenças” (B05). Esse custo inicial é identificado como crítico em diversos estudos (MOSTAFA; KI; RAHNAMAYIEZEKAVAT, 2017; LIAO; TEO; CHANG, 2019; GBADAMOSI *et al.*, 2020), no entanto, a troca de informação eficiente e oportuna proporcionada é essencial à indústria de pré-fabricação (MOSTAFA *et al.*, 2018). Tan *et al.* (2019) afirmam que a adoção acarretará grande economia ao setor, minimizando, portanto, os problemas relacionados ao investimento inicial.

O treinamento dos colaboradores é uma tarefa essencial no processo. Vernikos *et al.* (2014) alegam que ele não precisa ser complexo e exaustivo com o objetivo da plenitude na operação dos *softwares*. Ao contrário, os autores reiteram que o uso diário proporcionará o desenvolvimento das habilidades necessárias, porém, no caso de tarefas mais complexas, a equipe pode solicitar o auxílio de um especialista. Além disso, deve-se atentar ao custo relacionado à manutenção das licenças dos *softwares* utilizados (LIU *et al.*, 2019; PHANG; CHEN; TIONG, 2020).

Observa-se grande variedade de *softwares* BIM no mercado tornando a comunicação entre eles um problema (BABATUNDE *et al.*, 2020; QUIN *et al.*, 2021). A interoperabilidade pode ser definida como a capacidade dos sistemas de trocarem informações sem haver perda de dados ou esforços especiais (BIM DICTIONARY, 2022), sendo uma barreira os “problemas de interoperabilidade na troca de informações entre *softwares* BIM” (B06). Problemas como esse são classificados como críticos por vários trabalhos (CHAN; OLAWUMI; HO, 2019; CHEN *et al.*, 2019; OLANREWAJU *et al.*, 2020; QUIN *et al.*, 2021).

No caso da indústria de pré-fabricados, a maior vantagem do BIM encontra-se na informação precisa dos objetos, portanto, a perda de dados torna-se um grande transtorno (HE *et al.*, 2021). Adiciona-se à comunicação o sistema de produção dos elementos que, para aumentar a produtividade, necessita comunicar-se perfeitamente com os *softwares* utilizados na metodologia BIM (BEN MAHMOUD; LEHOUX; BLANCHET, 2020). Xu *et al.* (2022) colocam como responsabilidade dos desenvolvedores a entrega de soluções úteis para seus clientes, assim, entendendo o seu processo para entregar o *software* conversando com os demais sistemas já existentes.

Em relação aos *softwares*, Liao e Teo (2017) enfatizam a necessidade de suporte tecnológico no decorrer da implementação de modo a auxiliar as empresas em eventuais problemas relacionados à tecnologia apresentando a barreira “falta de suporte técnico dos desenvolvedores dos *softwares* BIM” (B07). Phang, Chen e Tiong (2020) apontam a

importância desse suporte técnico dos desenvolvedores de *softwares*, que devem ocorrer de forma ágil. Logo, Ben Mahmoud, Lehouc e Blanchet (2020) afirmam que a escolha do *software* é um passo de extrema importância, devendo suceder uma crítica análise, relacionando a disponibilidade desse suporte e a funcionalidade para o setor de PMC. No mais, Awwad, Shibani e Ghostin (2020) destacam a possibilidade de contratação de consultoria para auxiliar essa escolha. Xu *et al.* (2022) enfatizam a necessidade do apoio dos desenvolvedores para entender o posicionamento de cada ferramenta.

Ainda abordando os *softwares* BIM, Mostafa, Kin e Rahnamayiezekatav (2017) afirmam que o mais utilizado é o Autodesk Revit®, o qual 80% das indústrias de pré-fabricados da Austrália utilizam. No entanto, Tan *et al.* (2019) registram que esse *software* não possui funções específicas que auxiliem a pré-fabricação. Assim sendo, apresentam-se como barreiras a “ausência de ferramentas BIM bem estabelecidas para atender o setor de PMC” (B08) e a “falta de ligação direta entre o modelo BIM e os sistemas ERP e de produção da fábrica” (B09). A adoção do BIM relaciona-se diretamente com a facilidade do uso e a percepção de vantagem ao empregar-se o *software* (CHEN *et al.*, 2019; MA *et al.*, 2020a; OLANREWAJU *et al.*, 2020), tornando-se essenciais *softwares* que trabalham com as necessidades do setor. Ben Mahmoud, Lehouc e Blanchet (2020) afirmam que se deve escolher os *softwares* mais apropriados ao setor de PMC. Além disso, Xu *et al.* (2022) enfatizam a necessidade do desenvolvimento de *softwares* para além das características do setor, atendendo às características do local.

2.4.3 Barreiras relacionadas à organização

O envolvimento da alta direção da organização é essencial no processo de implementação de uma nova tecnologia (CHEN *et al.*, 2019; SINOH; OTHMAN; IBRAHIM, 2020), tornando-se uma barreira a “falta de liderança e compromisso da alta direção no processo de implementação” (B10). Ao encarregar-se de responsabilidade de liderança no processo, coordenando as equipes e fornecendo o suporte necessário, a alta direção encoraja e estimula os seus colaboradores (GBADAMOSI *et al.*, 2020; WU *et al.*, 2021). Ma *et al.* (2020a) afirmam que muitos problemas observados no processo de adoção são consequência da falta de conhecimento dos tomadores de decisão sobre o BIM, portanto, além de liderar o processo, a alta gestão deve conhecer a tecnologia com profundidade.

A implementação do BIM é um processo complexo, envolvendo custos, pessoas e mudanças de processos. Nesse sentido, a “ausência de um plano de implementação com definição de prazos, metas e responsabilidades” (B11) torna-se uma barreira. Gbadamosi *et al.* (2020) dizem ser essencial a criação de uma estratégia a nível organizacional para sua adoção, definindo cronograma, orçamento, metas e responsabilidade dos envolvidos. Somente assim será possível medir e avaliar o progresso do processo (AWWAD; SHIBANI;

GHOSTIN, 2020). Desta forma, a ausência desse planejamento é vista como crítica ao sucesso da adoção (BEN MAHMOUD; LEHOUX; BLANCHET, 2020).

Questões financeiras são de grande importância no processo de implementação do BIM, uma vez que envolve um elevado nível de investimento e ainda existem incertezas quanto ao retorno do investimento (WU *et al.*, 2021). Portanto, tem-se também a barreira “incerteza quanto aos benefícios econômicos e ao retorno do investimento proporcionados pela adoção do BIM” (B12). Saka e Chan (2020) afirmam que sua adoção é um processo de alto risco, no entanto, segundo Tan *et al.* (2019), o setor de pré-fabricados se encontra apto a aceitar os riscos a partir do planejamento eficiente e entendimento dos benefícios da adoção.

Em relação à mitigação dos riscos, nota-se a necessidade de contratação de especialistas em BIM para auxiliar no processo de adoção (VERNIKOS *et al.*, 2014). Awwad, Shibani e Ghostin (2020) afirmam que a presença de um consultor com experiência em outros processos de implementação reduz os erros e otimiza o uso de recursos financeiros e humanos. No entanto, essa contratação representa aumento nos custos do processo (TAN *et al.*, 2019; BEN MAHMOUD; LEHOUX; BLANCHET, 2020), criando, portanto, a barreira “necessidade de contratação de consultoria em BIM para auxiliar o processo” (B13).

2.4.4 Barreiras ligadas aos processos

Para Lu e Korman (2010), uma das maiores vantagens do BIM para o setor de pré-fabricados encontra-se na coordenação dos projetos de forma eficiente e prática. Mostafa, Kin e Rahnamayiezekatav (2017) observaram seu uso intenso na coordenação de projetos de pré-fabricação. Tillmann *et al.* (2015) pontuaram que o *clash detection* foi a funcionalidade BIM mais utilizada em seus estudos de caso. Contudo, a baixa experiência com a metodologia BIM pode gerar problemas nesse processo (WU *et al.*, 2021), criando a barreira “problemas nos processos de coordenação entre disciplinas (*clash detection* e tomada de decisão)” (B14). Phang, Chen e Tiong (2020) afirmam que o processo de coordenação dos projetos deve ser repensado a adoção do BIM. A forma que essa coordenação será executada e os parâmetros para tomada de decisão devem ser definidos no início (TAN *et al.*, 2019; BEN MAHMOUD; LEHOUX; BLANCHET, 2020; QUIN, 2021).

O compartilhamento das informações dos projetos é uma base para o BIM, no entanto, esse processo é crítico na implementação (DAKHIL; UNDERWOOD; AL SHAWI, 2019; SINOH; OTHMAN; IBRAHIM, 2020), existindo, por parte dos projetistas, grande relutância ao compartilhamento de dados (YAO; QIN; WANG, 2020). Vernikos *et al.* (2014) alegam que essa objeção é, em parte, responsável pela resistência à adoção do BIM. Assim, a “resistência ao compartilhamento de informações entre os projetistas” (B15) é uma barreira à implementação. No entanto, os projetos pré-fabricados necessitam da integração das

informações para otimizar os processos e reduzir os erros (TAN *et al.*, 2019; HE *et al.*, 2021; KORDESTANI GHALENOEI *et al.*, 2022). De acordo com Ben Mahmoud, Lehouc e Blanchet (2020), os contratos devem conter mecanismos que facilitem o compartilhamento de dados.

A implementação do BIM não altera somente a forma de desenhar, todos os processos estabelecidos pela organização são modificados para adequar-se. Esse alinhamento dos processos baseados em CAD 2D para o BIM é difícil (BEN MAHMOUD; LEHOUC; BLANCHET, 2020; MA *et al.*, 2020; QUIN, 2021), tornando uma barreira a “dificuldade de adaptação dos processos baseados em documentos 2D para modelos baseados em BIM” (B16). No entanto, para o seu uso mais eficiente do BIM, essas mudanças devem ocorrer em sua totalidade, não permitindo o seu uso simultâneo CAD 2D, uma vez que os colaboradores tendem a usar o sistema convencional por estarem mais acostumados, escanteando o BIM. (LU; KORMAN, 2010; PHANG; CHEN; TIONG, 2020; QUIN, 2021).

Ainda falando dos processos organizacionais, percebem-se os fluxos de trabalho baseados BIM, ao contrário do CAD 2D, ainda são incipientes, tornando uma barreira a “ausência de fluxos de trabalho bem estabelecidos baseados em BIM para o setor de PMC” (B17). Segundo Tan *et al.* (2019) e Quin *et al.* (2021), esses fluxos são importantes à indústria, sendo sua falta crítica. Mostafa, Ki e Rahnamayiezekatav (2017) acreditam que os fluxos existentes podem ser adaptados ao BIM e aperfeiçoados com o uso.

Projetos que fazem uso da pré-fabricação devem considerar desde o início questões inerentes à fabricação, transporte e montagem dos elementos. Desta forma, faz-se necessário que os projetistas possuam conhecimento em ambos os assuntos: BIM e pré-fabricação; caso contrário, resultará em retrabalho para a construção dos modelos (VERNIKOS *et al.* 2014), criando a barreira de “necessidade de adequação dos modelos para o sistema de produção devido à falta de informações” (B18). Para Phang, Chen e Tiong (2020), a comunicação do modelo com o sistema de produção deve ocorrer sem grandes dificuldades para aumentar a produtividade do setor. Tillmann *et al.* (2015) afirmam que as relações contratuais devem apoiar essa integração.

2.4.5 Barreiras ligadas aos fatores externos

Os governos locais exercem grande influência no processo de implementação do BIM (SAKA; CHAN, 2020; XU *et al.*, 2022). Vernikos *et al.* (2014) exemplificam essa ação a partir do governo britânico, que conseguiu acelerar a adoção empregando políticas públicas acertadas. Nesse sentido, observa-se a barreira “ausência de políticas governamentais de incentivo à adoção do BIM no setor de PMC” (B19). Os governos podem atuar incentivando o desenvolvimento tecnológico da construção civil de duas formas: por meio da instituição de políticas públicas ou da exigência do uso do BIM nas obras públicas. No entanto, cabe a eles dar o suporte necessário à indústria, inclusive com benefícios financeiros (LIAO; TEO, 2017),

em especial à indústria de PMC (PHANG; CHEN; TIONG, 2020; XU *et al.*, 2022). Kordestani Ghalenoiei *et al.* (2022) são mais radicais ao enfatizarem que, nos países em desenvolvimento, a exigência governamental para o uso do BIM é mais importante que qualquer outro incentivo.

Como qualquer inovação, a metodologia BIM sofre com a falta de padronizações (MA *et al.*, 2020a), criando a barreira “falta de padrões e normativas para orientar e fomentar a adoção do BIM no setor de PMC” (B20). Conforme Wu *et al.* (2021) e Xu *et al.* (2022), há a necessidade de ação do governo no sentido de orientar o processo por meio da criação de padrões e normativas. Esses documentos devem atuar estrategicamente para apoiar e incentivar a sua implementação (GBADAMOSI *et al.*, 2020). Quanto à padronização, observa-se que a criação de bibliotecas BIM com objetos parametrizados pode ser usada em diversos projetos, contribuindo, portanto, com o maior emprego da pré-fabricação (VERNIKOS *et al.*, 2014; ABANDA; TAH; CHEUNG, 2017).

Apesar de ser uma tendência, a velocidade da adoção do BIM está diretamente ligada ao interesse do mercado pela inovação. A “baixa pressão externa para sua adoção (exigência dos clientes, adoção por empresas concorrentes ...)” (B21) torna-se uma barreira ao processo. Para Sinoh, Othman e Ibrahim (2020), a exigência por parte dos clientes é o maior indutor da implementação do BIM, uma vez que obriga as organizações a avançar no processo de implementação para não perder mercado. Ao analisar o setor de pré-fabricados, Wu *et al.* (2021) afirmam que a demanda dos clientes ainda é baixa. Contudo, o uso do BIM pode ser utilizado pelas empresas como vantagem competitiva por agregar maior qualidade nos serviços, destacando a empresa no mercado (PHANG; CHEN; TIONG, 2020; SINOH; OTHMAN; IBRAHIM, 2020).

As formas de contratação convencionais não são adequadas para projetos que utilizam a metodologia BIM (MOSTAFA; KI; RAHNAMAYIEZEKAVAT, 2017; KORDESTANI GHALEONI *et al.*, 2022), diante disso, há a barreira “ausência de padronização dos contratos em BIM e respaldo jurídico (gestão de conflitos, cobertura de seguro ...)” (B22). As relações contratuais para projetos em BIM devem incentivar a colaboração entre os projetistas, o compartilhamento de informações e a integração dos projetos com o sistema de produção dos elementos. (TILLMANN *et al.*, 2015). Além disso, deve dissertar sobre propriedade intelectual, confidencialidade, compartilhamento de riscos e cobertura de seguro (LU; KORMAN, 2010; KORDESTANI GHALENOEI *et al.*, 2022). Ma *et al.* (2019) dizem ser necessária a criação de um contrato padrão para projetos pré-fabricados em BIM. Nele devem constar as necessidades, regras e responsabilidade de cada parte para o sucesso do projeto (WU *et al.*, 2021).

Além da forma de contratação, questões inerentes à propriedade intelectual são problemáticas no uso do BIM, portanto, “problemas envolvendo o direito de propriedade intelectual em relação ao modelo” (B23) são uma barreira. Vernikos *et al.* (2014) e Kordestani

Ghaleioni *et al.* (2022) dizem que o direito intelectual dos modelos causa muita dúvida entre os *stakeholders*. Desse modo, questões sobre propriedade e controle do modelo, uso e distribuição de propriedade intelectual devem ser abordadas no início do projeto de modo a evitar conflitos posteriores (LU; KORMAN, 2010; BEN MAHMOUD; LEHOUX; BLANCHET, 2020).

Abanda, Tah e Cheung (2017) identificaram poucos estudos relacionando BIM e *offsite construction*. Tan *et al.* (2019) afirmam que faltam estudos que analisem sua implementação na indústria de pré-fabricados. Contudo, ao tratar do setor de PMC, Phang, Chen e Tiong (2020) dizem que esses estudos são ainda mais escassos. Portanto, percebe-se a barreira “falta de estudos voltados à implementação do BIM no setor de PMC” (B24). Xu *et al.* (2022) enfatizam a responsabilidade pelo desenvolvimento de pesquisa e difusão do conhecimento sobre a metodologia BIM para as universidades e o setor público, para servir de subsídio à formulação de políticas públicas de estímulo.

Ainda sobre o processo de implementação, uma dificuldade das empresas está em não saber por onde começar (BABATUNDE *et al.*, 2020). Portanto, tem-se a “falta de guias e manuais voltados à adoção do BIM pelo setor de PMC” (B25) como barreira. Esses documentos têm o poder de auxiliar o setor no processo de implementação, mostrando caminhos e identificando possíveis barreiras. No entanto, não se percebe a existência desses guias ou manuais de boas práticas (TAN *et al.*, 2019; WU *et al.*, 2021; XU *et al.*, 2022). Kordestani Ghalenoiei *et al.* (2022) atestam que deve ocorrer uma parceria entre as universidades, órgãos governamentais e iniciativa privada para o desenvolvimento de estudos focados na produção desses guias com as características do mercado local.

2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Algumas considerações podem ser apontadas com base na fundamentação teórica realizada por este trabalho sobre a implementação do BIM no setor de pré-moldados de concreto e as barreiras envolvidas nesse processo.

Fica evidente que a implementação do BIM é vantajosa pelos benefícios que podem ser alcançados para o setor de pré-fabricados ao superar as dificuldades impostas ao sistema construtivo. Dessa forma, há interesse da indústria e de pesquisadores entender o processo de implementação e definir a melhor aplicação da metodologia BIM em empreendimento pré-fabricados, potencializando os benefícios dessa integração.

A adoção do BIM é complexa por provocar mudanças profundas nos processos e fluxos de trabalho na indústria da construção civil, não sendo diferente para o setor de pré-fabricados. Dessa forma, a identificação e avaliação das principais barreiras envolvidas no

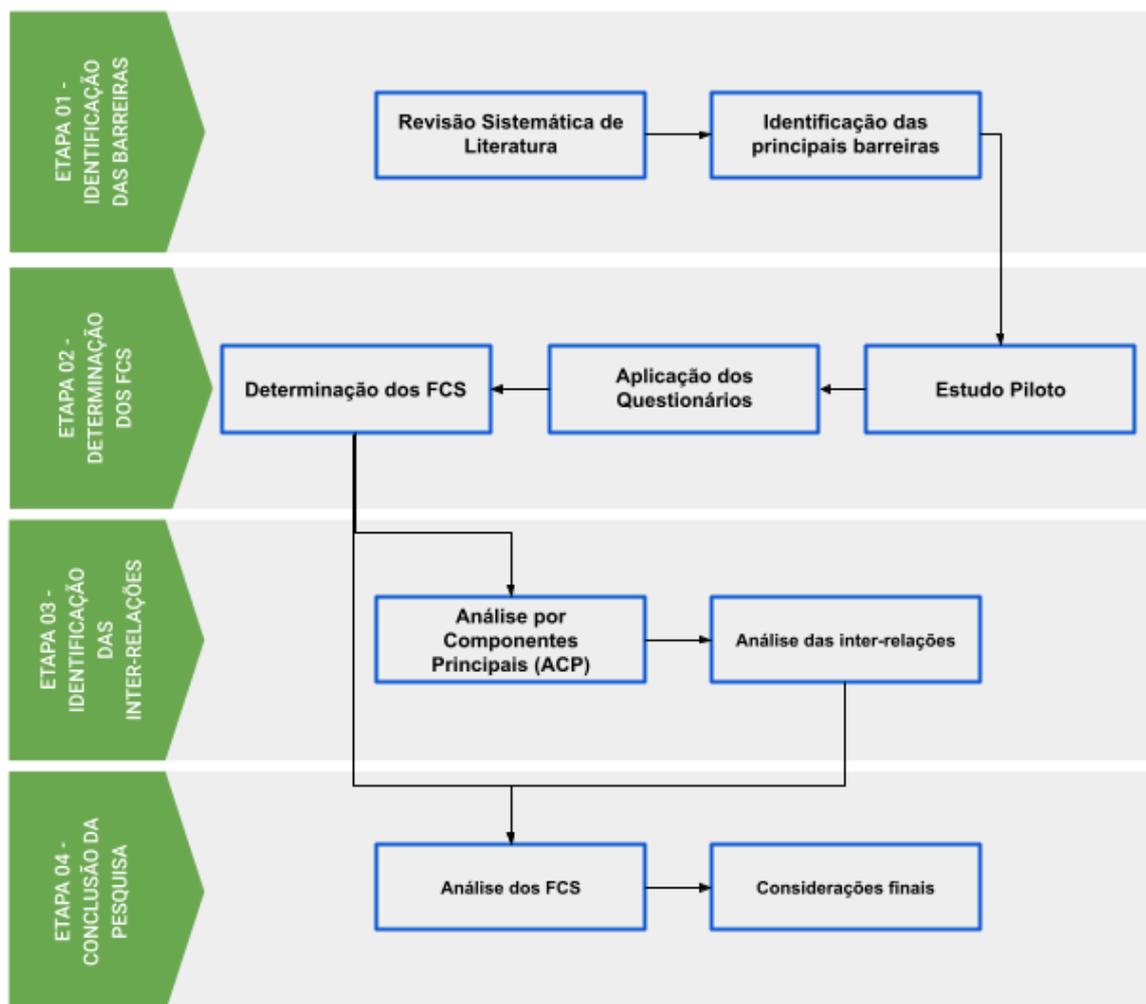
processo de implementação do BIM, torna-se fundamental para auxiliar o setor nesse processo, otimizando recursos e aumentando as chances de sucesso.

Nesse sentido, percebe-se que as principais barreiras permeiam seis áreas: organização (empresa), sociedade, pessoas (equipe), ferramentas (tecnologia), processos e governos. Essas barreiras interagem entre si e estão relacionadas ao mercado local, área de atuação da empresa e maturidade tecnológica. Logo, dentro desse contexto, o presente trabalho utilizou as barreiras identificadas na RSL para avaliar o processo de implementação do BIM no setor de pré-fabricados de concreto no Brasil.

3. Método de Pesquisa

Este capítulo apresenta as atividades que foram realizadas para alcançar os objetivos propostos pelo trabalho. Compreendendo que a intenção é analisar a implementação do *Building Information Modeling* (BIM) no setor de Pré-Moldados de Concreto (PMC) por meio de revisão de literatura, aplicação de questionários e análise dos resultados, definiu-se que a pesquisa se enquadra do tipo qualitativa. Desta forma, dividiu-se o método de pesquisa em 04 (quatro) etapas: identificação das barreiras; determinação dos Fatores Críticos de Sucesso (FCS); identificação das inter-relações entre os FCS; e conclusão da pesquisa. O fluxograma do método em uso está apresentado na Figura 3.1.

Figura 3.1 - Fluxograma da Método de Pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1 COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Por envolver coleta de dados com seres humanos, o projeto de pesquisa foi previamente submetido à avaliação ética pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP/UFSCar), seguindo as recomendações da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP/MS). O projeto foi aprovado em setembro de 2021, sob o número 48514421.9.0000.5504.

3.2. IDENTIFICAÇÃO DAS BARREIRAS

De acordo com Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015), um projeto de pesquisa inicia-se com a definição do problema a ser estudado, devendo ocorrer o enquadramento e as definições do problema, de seu contexto e suas fronteiras. Posteriormente, a pesquisa deve entrar na etapa de conscientização do problema, em que os esforços do pesquisador devem estar direcionados à compreensão do problema. Para isso, o pesquisador pode buscar a leitura e reflexão de material científico atualizado e de fonte confiável.

Diante disso, além da revisão bibliográfica usual, este trabalho fez uso de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) sobre os temas abordados. Essa escolha se deu pela capacidade em assegurar ao pesquisador o acesso ao conhecimento produzido e divulgado sobre o assunto, necessário ao desenvolvimento e para a avaliação dos resultados da pesquisa.

Por meio de um método definido, a RSL permitiu a compreensão das principais barreiras envolvidas na implementação do BIM no setor de PMC, tendo como saída a identificação das barreiras para formulação do questionário a ser aplicado com a indústria. No Apêndice A apresenta-se a síntese da RSL, com a descrição do método e os resultados da análise bibliométrica dos artigos.

3.3. DEFINIÇÃO DOS FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO

Nessa etapa da pesquisa, as barreiras identificadas durante a RSL foram avaliadas em relação a sua importância pelos profissionais do setor de PMC. Portanto, ela se iniciou com questionário submetido às empresas do setor para posterior definição dos FCS.

4.3.1 Pesquisa com as Empresas de PMC

De modo a avaliar a percepção das empresas e dos profissionais do setor de PMC acerca das barreiras envolvidas no processo de implementação do BIM, este trabalho realizou a aplicação de questionário em nove indústrias do setor. As empresas foram selecionadas e convidadas para participar por intermédio da Associação Brasileira da Construção

Industrializada de Concreto (ABCIC), que destacou, junto a elas o interesse da academia em conhecer o setor e propor reflexões sobre a situação atual em relação ao uso do BIM. Assim, classifica-se a amostra do estudo como não-probabilística, selecionada por conveniência. O site da ABCIC informava, na época, a associação de 35 empresas. Como todas as empresas receberam o convite para participar, porém apenas nove participaram da pesquisa, tem-se que o índice de retorno foi de 25,7%, semelhante a outros estudos, como o de Won *et al.* (2013), Liu *et al.* (2019) e Ma *et al.* (2020a).

O contato inicial com as empresas foi intermediado pela Secretaria Executiva da ABCIC por meio de um e-mail explicativo. Nesse e-mail, o endereço virtual para preenchimento do formulário também foi apresentado. O texto do convite enfatizava a solicitação de mais de um respondente por empresa, de setores distintos. Esse objetivo foi parcialmente alcançado porque, das nove empresas participantes, somente duas se dispuseram a ter mais de um participante na pesquisa. O objetivo de ter mais de um respondente era para conseguir uma análise holística da implementação BIM, captando percepções distintas do processo, de forma a colaborar com análise e confiabilidade dos resultados.

O questionário desenvolvido foi dividido em duas partes. A primeira objetivou retratar as características do respondente, da empresa e do uso atual do BIM nos projetos, sendo constituída por perguntas objetivas. A segunda parte compreendeu a avaliação das barreiras em si. Para isso, escolheu-se a Escala de Likert, devido a sua facilidade para comunicação na forma de pensar dos entrevistados (KNIGHT; RUDDOCK, 2008) e por sua grande empregabilidade em estudos envolvendo a definição de FCS (MOSTAFA *et al.*, 2018; TAN *et al.*, 2019; PHANG; CHEN; TIONG, 2020; WU *et al.*, 2021). A escala adotada constitui-se de 5 pontos do tipo bidimensional, com ponto neutro, e utilizando-se de âncoras verbais nas extremidades (DALMORO; VIEIRA, 2013). As barreiras foram apresentadas em frases afirmativas e os respondentes, em número de 11 profissionais, poderiam avaliar a sua importância de modo individual por meio de uma escala de 01 a 05, no qual o número 01 representou “totalmente insignificante” e, o número 05, “totalmente significativa”. O questionário desenvolvido está apresentado no Apêndice B.

4.3.2 Estudo Piloto

Com o objetivo de analisar a clareza e a aplicabilidade do questionário desenvolvido, e, ao mesmo tempo, obter uma visão inicial do uso do BIM pelo setor de PMC no Brasil, realizou-se um estudo piloto com uma empresa do setor. Ela foi escolhida pelo contato existente com o grupo de pesquisa Núcleo de Estudo e Tecnologia em Pré-Moldados de Concreto (NETPRE) da UFSCar e pelo reconhecimento da qualidade de suas obras, possuindo nível III do Selo de Excelência da ABCIC. A empresa possui mais de 30 anos de

atuação consolidados por um portfólio diversificado de obras e artefatos produzidos, destacando-se nas áreas comercial e industrial pela construção de *shoppings centers*, hospitais, escolas, supermercados, centros empresariais, edifícios garagens, centros logísticos e galpões industriais.

Nesse caso, o contato foi realizado diretamente com a respondente e o estudo piloto foi iniciado com uma reunião virtual para apresentação dos objetivos e do método de pesquisa adotado, de modo a nivelar o entendimento da respondente. Posteriormente, enviou-se o questionário por e-mail, sendo ele acrescido de uma coluna destinada a considerações da respondente sobre a pergunta e a clareza da questão. Ao fim, realizou-se uma reunião de encerramento para entendimento das percepções e dúvidas acerca das perguntas.

A respondente é graduada e mestre em Engenharia Civil, com cinco anos de experiência no setor de PMC, sendo dois deles como pesquisadora e três como projetista estrutural. Por fim, o questionário apresentou-se muito satisfatório para o fluxo de respostas e entendimento das perguntas, validando-o para a aplicação. O Estudo Piloto está apresentado no Apêndice C e o questionário respondido no Apêndice D.

Finalizada a etapa do estudo piloto, o questionário foi validado e enviado para as empresas por meio da Secretária Executiva da ABCIC.

4.3.3 Identificação dos Fatores Críticos de Sucesso

A definição dos FCS ocorreu com base no grau de importância afirmado pelos entrevistados na etapa de preenchimento do questionário *online*. A análise dos resultados iniciou-se pelo cálculo da média aritmética (MA), o desvio padrão (S), a variância (S²) de cada barreira e do conjunto com todos os dados recebidos, não havendo critério para exclusão. Posteriormente, de modo a colocar as variáveis na mesma ordem dentro de um intervalo de 0 a 1, calculou-se a média normalizada (MN) de cada barreira pela Equação 1. Com base nos estudos de Chan (2014), Liao e Teo (2017), Ma *et al.* (2020b), Sinoh, Othman e Ibrahim (2020), definiu-se que somente as barreiras com MN maior que 0,5 serão classificadas como FCS.

$$MN_i = \frac{MA_i - MA_{min}}{MA_{max} - MA_{min}} \quad \text{Eq. 1}$$

onde:

- MN_i – corresponde à média normalizada da barreira i ;
- MA_i – corresponde à média aritmética da barreira i ;
- MA_{min} – corresponde a menor média aritmética entre as barreiras;
- MA_{max} – corresponde a maior média aritmética entre as barreiras.

A validação dos resultados ocorreu a partir da aplicação do coeficiente Alfa de Cronbach. Esse coeficiente mede a consistência e a confiabilidade das respostas de um questionário, garantindo, portanto, a confiabilidade do teste. Em outras palavras, esse coeficiente indica a possibilidade de o respondente fornecer a mesma resposta caso fosse responder o mesmo questionário no futuro (TAVAKOL; DENNICK, 2011; SINOH; OTHMAN; IBRAHIM, 2020). Nesse sentido, Terry e Kelley (2012) afirmam que o Alfa de Cronbach é mundialmente utilizado, sendo o mais empregado para avaliar a confiabilidade de questionários. A sua formulação é apresentada na Equação 2 e, apesar de poder variar entre 0 e 1, Cronbach (1951) afirma que resultados entre 0,70 e 0,95 para indicam que o conjunto de dados é coerente e, portanto, aceitável.

$$\alpha = \left(\frac{k}{k-1} \right) * \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_t^2} \right) \quad \text{Eq. 2}$$

onde:

- k – corresponde ao número de barreiras do questionário;
- S_i^2 – corresponde à variância de cada barreira; e
- S_t^2 – corresponde à variância total do questionário.

3.4. IDENTIFICAÇÃO DAS INTER-RELAÇÕES ENTRE OS FCS

A análise fatorial utiliza-se de técnicas estatísticas multivariadas para resumir um conjunto de variáveis, conservando a representatividade particular de cada uma dessas variáveis. Esse tipo de análise é empregado para avaliação das relações entre um grande número de variáveis, possibilitando a explicação delas por meio de conjuntos menores de componentes. De forma simplificada, as principais aplicações da análise fatorial são: resumo e redução de dados. Em especial, essa técnica possui aplicabilidade nos campos das Ciências Humanas e Sociais para verificar fenômenos que não são diretamente observáveis nos dados coletados (HAIR *et al.*, 2005; MATOS; RODRIGUES, 2019).

A análise fatorial pode ser classificada, em relação ao seu objetivo, em dois tipos: exploratória e confirmatória. A primeira utiliza-se do raciocínio indutivo para determinar um modelo a partir das informações coletadas. A segunda utiliza-se do raciocínio dedutivo para fazer hipóteses de uma estrutura já criada. Como o objetivo deste trabalho é avaliar as inter-relações (interdependências) entre um conjunto de variáveis, identificando padrões de correlação sem intervenção dos pesquisadores, define-se a adoção do modelo de análise fatorial do tipo exploratória (MATOS; RODRIGUES, 2019).

Em relação ao tipo de variáveis em análise, elas podem ser: métricas (quantitativas) e não-métricas (qualitativas). No caso de escalas ordinais, como o caso da Escala de Likert,

observa-se que os números não possuem propriamente um significado quantitativo, eles possuem valor da característica atribuída. No caso deste trabalho, a quantia atribuída vai de “totalmente insignificante” até “totalmente significativa” (MATOS; RODRIGUES, 2019). Portanto, os dados utilizados para a análise são classificados como não-métricos (categóricos) do tipo ordinal.

O ponto mais importante da análise fatorial é a definição da técnica aplicada no cálculo das cargas fatoriais, chamada de extração dos fatores. Os principais métodos são: componentes principais, fatores principais e máxima verossimilhança (MATOS; RODRIGUES, 2019). Para uma base de dados adequada, o resultado para cada método não pode ser muito discrepante entre si (TABACHNICK; FIDELL, 2007). Contudo, o método mais popular é a análise fatorial por componentes principais (ACP).

Definiu-se o emprego da ACP pela sua eficiência em resumir muitas variáveis em conjuntos menores de componentes. Ela produz combinações lineares das variáveis que expliquem o máximo da variabilidade dos dados. A maior parcela da variância é explicada pela primeira componente, a segunda é a que possui a segunda maior parcela dessa variância, e assim por diante. No final, todos os componentes explicam toda a variabilidade dos dados (TABACHNICK; FIDELL, 2007; MATOS; RODRIGUES, 2019).

3.4.1. Análise da Adequacidade da Base de Dados

Além disso, para se aplicar a análise fatorial, faz-se necessária algumas verificações preliminares para atestar a adequacidade da amostra para a ACP. Para isso, este trabalho fez uso de quatro técnicas de verificação de adequacidade: tamanho da amostra, padrão das correlações, teste de Bartlett e teste de Kaiser-Meyer-Olkin.

A primeira verificação é em relação ao tamanho da amostra, uma vez que a análise fatorial não é indicada para amostras pequenas. A definição do tamanho mínimo da amostra adequada está diretamente relacionada ao número de variáveis em estudo. Quanto maior as variáveis estudadas, mais dados devem ser coletados para atender a adequacidade da amostra (MATOS; RODRIGUES, 2019). Não há consenso na literatura sobre o tamanho ideal da amostra, contudo, Hair *et al.* (2005) definem que um número razoável para essa análise é de cinco observações para cada variável analisada. Para o ACP, este trabalho contou com 10 variáveis e 11 observações, demonstrando uma limitação no tamanho da amostra.

A análise fatorial preconiza a existência de alta correlação entre as variáveis avaliadas, necessitando a verificação desse fator por meio da matriz de correlações. Pode-se entender a análise de correlação por uma análise bivariada que mensura o grau de relação entre duas variáveis. A força da relação é aferida pelo coeficiente de correlação, um número que varia entre -1 e +1. As duas extremidades da escala representam a máxima correlação entre as

variáveis. O valor 0 (zero) representa a mínima. Além disso, o sinal do coeficiente afere a direção da relação: positiva ou negativa (MATOS; RODRIGUES, 2019).

O método estatístico mais conhecido de mensuração da força de associação entre duas variáveis é a de Pearson, contudo, como a pesquisa específica trata de variáveis ordinárias, o teste de Spearman apresenta-se como mais adequado (HAIR *et al.*, 2005). Ele foi aplicado neste estudo para avaliação das correlações entre os FCS. Field *et al.* (2012) afirmam que, para apresentar alta correlação da amostra, a maioria das variáveis devem ter correlação acima de 0,3. Dessa forma, calculou-se os coeficientes de correlação de Spearman (ρ) e elaborou-se um mapa de calor para análise visual dos resultados e avaliação do atendimento deste item.

O teste de esfericidade de Bartlett (BTS) avalia se as variâncias da amostra são homogêneas por meio de uma situação extrema de independência perfeita entre todas as variáveis. Ele como sua hipótese nula a redução da matriz de correlação da amostra em uma matriz identidade (em que todos os elementos fora da diagonal principal são nulos), indicando que suas variâncias não estão relacionadas, portanto, não adequadas para a formação de constructos. Caso ela seja rejeitada, pode-se aferir a existência de associação entre as variáveis. O teste de Bartlett deve ser estatisticamente significativo ($p < 0,05$) para indicar a adequabilidade à análise fatorial (HAIR *et al.*, 2009; MATOS; RODRIGUES, 2019).

Além desses, a adequabilidade da amostra deve ser verificada pelo teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). O KMO é um coeficiente que varia entre 1 e 0, indicando a proporção da variância da amostra que pode ser explicada por traços latentes. Quanto mais próximos de 1, maior a adequabilidade da amostra para uma análise fatorial (MATOS; RODRIGUES, 2019). Kaiser (1974) consolidou que o valor mínimo do coeficiente de KMO para tornar a amostra aceitável para análise é 0,500. Valores de KMO abaixo desse limite refletem a necessidade de se coletar mais dados ou excluir variáveis da análise.

3.4.2. Definição no número de componentes

A definição do número de componentes que serão extraídos na análise é uma tarefa complexa, porém, essencial à ACP. Essa etapa baseia-se na definição da quantidade de componentes que representa o melhor padrão de correlação entre as variáveis em análise. A solução ótima está ancorada no número mínimo de componentes que maximize a variância total explicada (FIGUEIREDO; SILVA, 2010; MATOS; RODRIGUES, 2019). Para essa definição, esse trabalho fará uso de três métodos: critério do autovalor, critério da porcentagem de variância acumulada e critério do diagrama de inclinação (*scree test*).

O primeiro método utiliza-se do critério de Kaiser para definir que se deve extrair somente os componentes com autovalor maior que 1,0. O segundo define que os componentes devem ser extraídos de acordo com o patamar específico da variância

acumulada. Para tal, Hair *et al.* (2005) estabelecem como patamar aceitável o percentual de 60%. O terceiro vale-se do diagrama de declividade para verificar o ponto em que muita variância foi perdida para a definição da extração dos componentes. A solução ótima será dada pela convergência dos três resultados.

3.4.3. Análise fatorial por componente principal

A análise fatorial possui dois tipos de rotação de componentes: ortogonal e oblíqua. No primeiro, cada fator é independente (ortogonal) em relação aos demais e a correlação entre eles é considerada nula. No segundo, cada fator está correlacionado aos demais (HAIR *et al.*, 2005). Matos e Rodrigues (2019) estabelecem que a rotação ortogonal deve ser empregada a partir de evidências muito fortes que os fatores não são correlacionados. Enquanto a rotação oblíqua permite a correlação entre os fatores. Como as respostas dos participantes podem estar correlacionadas, este trabalho utiliza-se da rotação oblíqua do tipo “*oblimin*”. Para todos os cálculos da análise fatorial utilizou-se o *software* gratuito da *University of Amsterdam* JASP (Version 0.16.4).

3.5. CONCLUSÃO DA PESQUISA

A fase de conclusão da pesquisa serve para explicitar as aprendizagens adquiridas ao longo da pesquisa, enfatizando os fatores de sucesso e de insucesso (VAN AKEN; BERENDS; VAN DER BIJ, 2012). Portanto, inicialmente, foi realizada uma análise dos fatores classificados como críticos pelos profissionais da indústria brasileira de PMC, suas implicações e possíveis causas. Posteriormente, os FCS identificados foram comparados com barreiras apontadas em outros estudos, principalmente os internacionais, realizando, dessa forma, um paralelo entre o cenário brasileiro e o mundial. Destacou-se, no entanto, a falta de textos referentes a essa análise, prejudicando a ampliação da comparação para um número considerável de países. Além disso, foram apontadas algumas ações realizadas que lograram êxito na mitigação dos FCS e que foram apresentadas na literatura.

Após, fazendo uso dos dados da primeira parte do questionário sobre a utilização da metodologia BIM, foi elaborado um panorama de sua utilização no setor de PMC no Brasil, algo que até agora não se observou. Posteriormente, foi comparado o nível de maturidade na adoção da metodologia BIM e as barreiras mais votadas.

Nessa fase foi formalizada a conclusão do trabalho e apontadas as limitações da pesquisa, podendo orientar novos trabalhos na área.

Como limitação da pesquisa, pode-se mencionar a aplicação do questionário restrito ao grupo de empresas identificadas pela ABCIC. Não foram buscados outros contatos

externos à ABCIC devido à dificuldade de engajamento das empresas nas pesquisas acadêmicas.

A disseminação do conhecimento gerado é fundamental para o avanço do conhecimento geral. Portanto, adotou-se como comunicação dos resultados desta pesquisa a produção posterior de artigos para periódicos e congressos da área, além do desenvolvimento da própria dissertação.

4. Resultados e Discussões

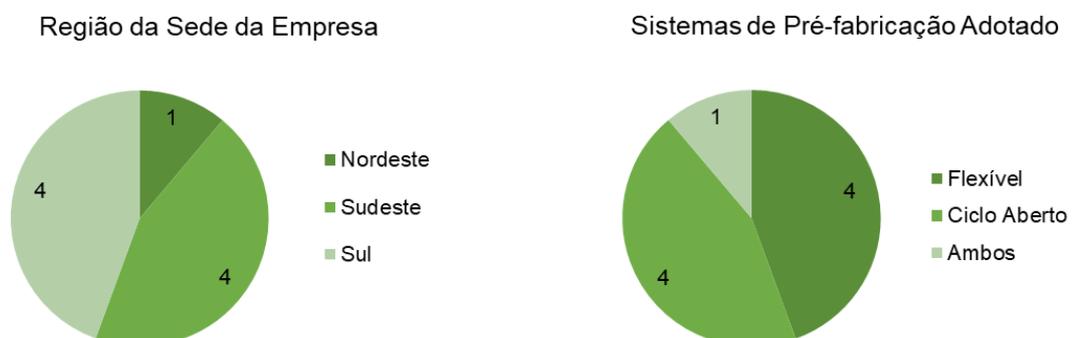
O presente capítulo apresenta os resultados e discussões do presente trabalho. Inicia-se com a caracterização das empresas e dos profissionais participantes desta pesquisa. Após, apresentam-se as informações extraídas na entrevista e na avaliação das barreiras, fazendo a determinação dos fatores críticos de sucesso (FCS). Uma análise fatorial é realizada para definição dos componentes principais. Por fim, realiza-se uma comparação dos resultados obtidos com o cenário nacional e internacional.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS PARTICIPANTES

Este trabalho, como dito anteriormente, conta com a participação de nove empresas. Todas as participantes são associadas da ABCIC e são reconhecidas nacionalmente pela capacidade técnica e qualidade de seus empreendimentos. Observando a região das instalações fabris dessas empresas, oito participantes concentram-se nas regiões Sul e Sudeste e uma na região Nordeste, porém apresentam atuação em todo território brasileiro. De uma forma geral, apesar da amostra pequena, essas empresas podem ser consideradas como representativas do setor de PMC no Brasil, pois possuem grande volume de produção e extenso parque fabril.

No tocante ao sistema de pré-fabricação utilizado para produção, constata-se a divisão equitativa das empresas entre as produções em ciclos Aberto e Flexível, observando-se também que apenas uma indústria trabalha com produção Híbrida, ou seja, atendendo os clientes de acordo com a sua necessidade. As análises das participantes em relação à região de instalação fabril e o sistema de pré-fabricação são apresentadas na Figura 4.1.

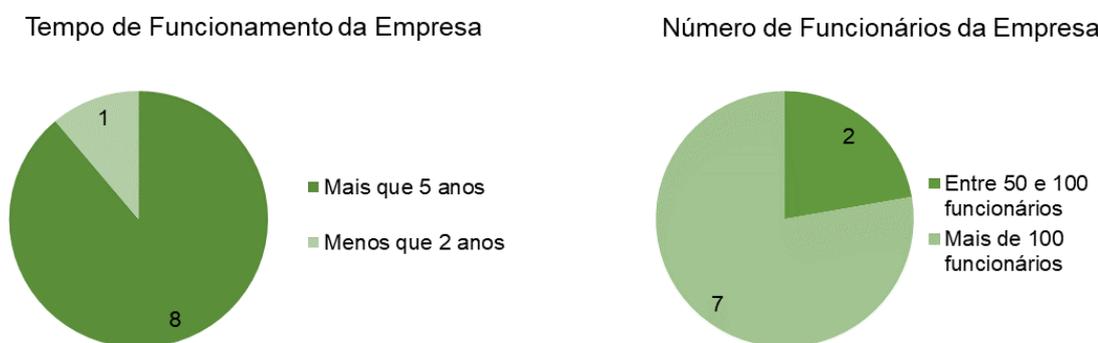
Figura 4.1 - Análise das participantes em relação à região de instalação fabril e o tipo de sistema de pré-fabricação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao tempo de funcionamento, tem-se que oito empresas participantes estão bem estabelecidas no mercado, possuindo mais de cinco anos de atuação. Essa característica, além de ser um reflexo do setor de pré-moldados devido à elevada necessidade de investimento em maquinários para produção, corrobora que as empresas entrevistadas possuem larga experiência no setor, contribuindo para apontamentos mais precisos. Ainda, percebe-se que todas as participantes possuem mais de 50 funcionários no seu corpo técnico, sendo que sete delas contam com mais de 100 funcionários, evidenciando que as empresas participantes são de grande porte. As análises por tempo de funcionamento e número de funcionários das participantes são apresentadas na Figura 4.2.

Figura 4.2 - Análise das participantes em relação ao tempo de funcionamento e número de funcionários



Fonte: Elaborado pelo autor.

Cada empresa participante designou um ou dois colaboradores para participar da entrevista respondendo o questionário da pesquisa, totalizando onze profissionais respondentes. Ao analisar os participantes, observa-se que eles possuíam formação em nível superior com concentração na Engenharia Civil (nove respondentes), sendo que Administração (um respondente) e Engenharia Mecânica (um respondente) também foram apontadas. Além disso, constata-se que dez destes funcionários possuíam mais de cinco anos de experiência no setor de pré-moldado de concreto, contribuindo para maior qualidade dos dados coletados por esse trabalho, devido ao conhecimento prático que os participantes possuem do setor. As análises dos participantes em relação a sua formação e tempo de experiência estão na Figura 4.3.

De forma a compreender a percepção dos diversos departamentos da empresa acerca da implementação do BIM, realizou-se a distinção dos respondentes por tipo de unidade organizacional. Nesse caso, verificou-se que sete deles estavam em cargos de Direção / Administração na empresa; três atuavam no setor de Projetos / Engenharia; e um possuía cargos no setor Comercial. Ao analisar o setor, observa-se que muitas empresas não possuem essa distinção bem definida, em que, por muitas vezes, os diretores, além das

atividades administrativas, participam de negociações comerciais e análises de viabilidade técnicas, independente do porte da empresa. Portanto, a análise da área de atuação dos respondentes pode ser entendida pela abrangência da pesquisa contemplando todos os departamentos da empresa.

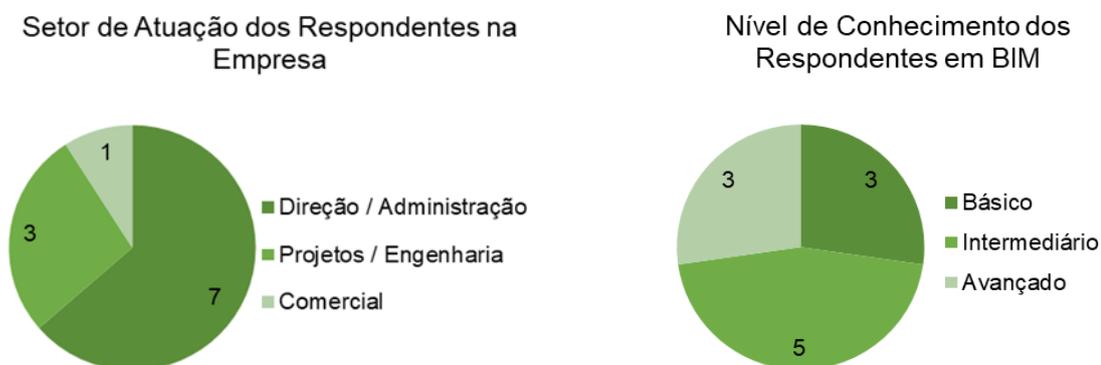
Figura 4.3 - Análise dos respondentes em relação à formação acadêmica e tempo de experiência no setor de pré-moldados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando perguntados sobre o seu nível de conhecimento sobre a metodologia BIM, os respondentes se dividiram nas respostas; três afirmaram ter conhecimento básico; cinco, intermediário; e, três, avançado. Essa distribuição é interessante para a qualidade dos dados coletados, uma vez que a avaliação do processo de adoção do BIM está diretamente relacionada com o grau de conhecimento da equipe. A análise dos respondentes por departamento de atuação e nível de conhecimento em BIM é apresentada na Figura 4.4.

Figura 4.4 - Análise dos respondentes em relação ao departamento de atuação na empresa e nível de conhecimento em BIM



Fonte: Elaborado pelo autor.

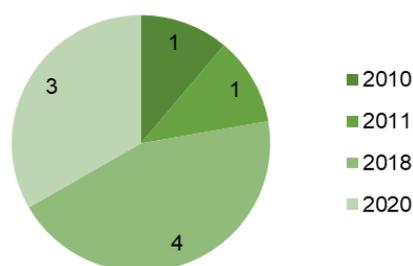
Ainda nos questionários, foram abordadas algumas questões abertas para entender a percepção dos participantes sobre o processo de implementação do BIM. Diante disso, verificou-se que as empresas despertaram para a necessidade de adoção da metodologia BIM devido, principalmente, à eficiência para compatibilização dos projetos e otimização do processo de produção dos elementos pré-fabricados. Corroborando, Mostafa, Kim e Rahnamayiezekavat (2017) afirmam que a maior aplicação da metodologia BIM no setor de pré-fabricados encontra-se na visualização 3D, compatibilização e coordenação do projeto. Além disso, He *et al.* (2021) constatam que o BIM, integrado ao *software* de gestão da produção, otimiza o processo de produção dos elementos.

Os respondentes ressaltaram que os projetos dos empreendimentos pré-fabricados estão cada vez mais complexos do ponto de vista de instalações, envolvendo diversos detalhes construtivos e disciplinas distintas, dessa forma, para eles, o setor percebe o BIM como solucionador dos erros de compatibilização. O estudo de Lu e Korman (2010) sobre os benefícios da metodologia BIM identificou 800 interferências entre o projeto estrutural e os projetos de instalações complementares ainda na fase inicial, permitindo a correção antes da produção.

Em relação ao período de adoção do BIM pelas empresas estudadas, notou-se dois períodos de aceleração na implementação, nos anos de 2010, 2011, 2018 e 2020, com uma grande lacuna entre os anos de 2012 e 2017. A análise de adoção por ano é mostrada na Figura 4.5.

Figura 4.5 - Análise das participantes em relação ao ano de início da implementação do BIM

Início do Processo de Adoção do BIM



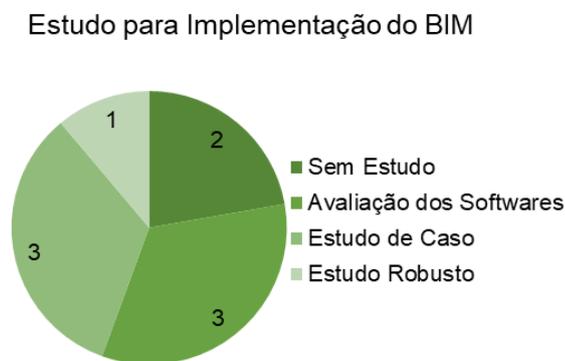
Fonte: Elaborado pelo autor.

Observou-se que o primeiro período se deveu aos empreendimentos oriundos da Copa do Mundo de 2014 e dos Jogos Olímpicos de 2016, ambos realizados no Brasil com grande aplicação de estruturas pré-fabricadas, com grande complexidade de disciplinas envolvidas. Por sua vez, os participantes explicaram que a segunda onda se deu pela exigência do mercado atual, podendo atuar como um diferenciador. Ademais, a visão é que o BIM se

tornou uma tendência do setor, diante disso, as empresas têm que aderir para não que não fiquem para trás em relação aos seus concorrentes. Destacou-se no Brasil também a publicação do Decreto nº 9.377/2018 que instituiu a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM no Brasil – Estratégia BIM BR, com objetivo de, entre outros pontos, difundir a metodologia BIM e seus benefícios, e criar condições favoráveis para o investimento, público e privado, em BIM.

Um fator fundamental para implementação bem sucedida do BIM requer um estudo aprofundado sobre as nuances desse processo e a criação de uma estratégia para implementação (PHANG; CHEN; TONG, 2020; BEN MAHMOUD; LEHOUX; BLANCHET, 2020). Nesse sentido, constatou-se que, dentre as empresas estudadas, duas não realizaram nenhum tipo de estudo para adoção, três executaram somente uma pesquisa de *softwares* para identificação do melhor custo-benefício para a realidade da empresa e três realizaram visitas a outras empresas que já utilizavam o BIM e participaram de feiras e *workshops* sobre implementação do BIM. Somente uma empresa realizou um estudo aprofundado testando diversos *softwares* e analisando a aplicabilidade de cada um no fluxo de trabalho da empresa. A análise sobre a realização de estudo para sua adoção é apresentada na Figura 4.6.

Figura 4.6 – Análise das participantes em relação à realização de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma das empresas que afirmou a realização de um robusto estudo antes da implementação do BIM iniciou os estudos pelo setor de engenharia no ano de 2007, porém, somente em 2010 houve sua implementação efetiva. De acordo com a empresa, foram analisados quatro *softwares* baseados em BIM voltados para o setor de PMC em relação a sete grandes áreas para definição do melhor custo benefício, essas áreas foram: execução do modelo (projeto), produto do modelo (projeto), visualização comercial, gerenciamento e planejamento, integração com o *software* de cálculo estrutural, treinamento e suporte, e custo das licenças.

O esforço empreendido por essa empresa para a definição da melhor solução contribuiu para colocá-la na vanguarda dessa adoção do BIM no Brasil, tornando-a referência no setor para esse assunto até hoje. Além disso, esse conhecimento possibilitou aplicação das diversas potencialidades da metodologia BIM, quando comparada às demais empresas, contribuindo para melhor otimização da produção. Corroborando, Attarzadeh *et al.* (2015) e Mostafa *et al.* (2018) enfatizam a necessidade de a companhia criar um plano de implementação com orientações práticas e detalhadas de forma a auxiliar os atores durante todo o processo. Phang, Chen e Tiong (2020) afirmam ser essencial para aplicação dos benefícios do BIM em sua totalidade. Awwad *et al.* (2020) ressaltam que esse plano deve ser estratégico e individual, contemplando as especificações dos serviços da empresa.

Quando indagados sobre o objetivo da empresa na implementação do BIM, observou-se a existência de uma tendência de mercado que a impulsiona quanto à qualidade, prazos e mitigação de erros. O principal objetivo apontado pelos respondentes encontrava-se na agilidade proporcionada pelo BIM nos processos comuns da empresa: projeto, orçamentação, produção e montagem dos empreendimentos. Essa agilidade combinada com a segurança das informações extraídas dos modelos, permite que as mudanças de projetos sejam realizadas de forma rápida, evitando retrabalho e atrasos (GBABAMOSI *et al.*, 2020; PHANG; CHEN; TIONG, 2020).

Destacou-se também a melhoria na apresentação dos projetos proporcionada pelo BIM, atuando tanto para área comercial, no processo de venda, quanto para área de projetos, na compatibilização das disciplinas (MOSTAFA; KIM; RAHNAMAYIEZEKAVAT, 2017). Outros pontos observados pelos respondentes foram: melhoria na compatibilização dos projetos, minimização dos erros de projeto e produção, redução de retrabalhos, maior facilidade para extração de quantitativos confiáveis e melhoria na comunicação entre os *softwares* de projetos e os sistemas de gestão de produção e de gestão empresarial (ERP) da empresa. Todos os itens são ferramentas do BIM que, quando aplicadas em sua plenitude, possibilitam inúmeros benefícios ao setor de pré-moldados de concreto (ABANDA; TAH; CHEUNG, 2017; TAN *et al.*, 2020).

Quando indagados sobre o atingimento desses objetivos, os respondentes se dividiram em dois grupos. Metade acredita que os objetivos pensados na adoção do BIM foram parcialmente alcançados devido, principalmente, aos contratempos apresentados ao longo da implementação. Enquanto a outra metade percebeu os objetivos como totalmente atingidos, contudo, eles ressaltam que a implementação é um trabalho constante, havendo a necessidade de aprimoramento contínuo para amplificar os benefícios percebidos. Wu *et al.* (2021) afirmam que uma grande dificuldade na sua implementação é a falta de percepção sobre os benefícios do BIM, ocorrendo a exaltação de problemas, em especial, do elevado custo envolvido com a adoção.

Não foi observada uma convergência dos participantes acerca dos desafios do processo de implementação. O maior encontro de ideias deu-se em relação ao alto custo inicial requerido para compra de equipamentos e aquisição de licenças dos *softwares*, mais especificamente, devido ao atrelamento desses itens ao dólar americano. Além desses itens, o treinamento da equipe, o recrutamento de pessoal com habilidade para o BIM e a adaptação do fluxo de trabalho para ele, são apontados como desafios importantes pelos respondentes. Gbadamosi *et al.* (2020) pontuam que esses desafios devem ser analisados para definição de soluções mitigadoras, criando uma política de implementação.

Ainda versando sobre os desafios, constatou-se que os colaboradores de empresas com a metodologia BIM mais consolidadas perceberam como principais desafios as características comportamentais dos profissionais, trabalho colaborativo, gestão da mudança, curva de aprendizado e livre compartilhamento de informação. Enquanto os colaboradores de empresas com aplicação inicial ou parcial do BIM deram maior importância a desafios ligados a custos e treinamento de pessoas. Essa divergência deve-se ao nível de conhecimento sobre a metodologia BIM, pois para profissionais com baixo conhecimento nisso, as questões relacionadas aos custos de implantação são mais importantes que profissionais com conhecimento em BIM, uma vez que eles sabem que os custos são revertidos em benefícios (CHAN, 2014).

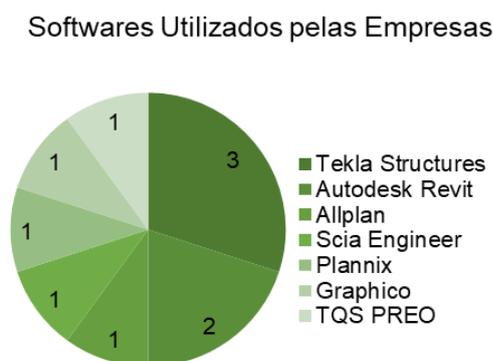
Notou-se que uma grande preocupação para alguns participantes se encontra na aplicação do BIM em sua totalidade e em todos os projetos da empresa, permitindo a extração do maior número de benefícios da tecnologia. Nesse caso, a empresa atualmente aplica o BIM de forma parcial, com foco na visualização 3D e compatibilização dos projetos, somente quando o cliente faz a solicitação e paga pelo uso. Phang, Chen e Tiong (2020) reforçam que os esforços na implementação devem ser para sua aplicação total, permitindo, dessa forma, o maior proveito dos benefícios da ferramenta.

A definição da ferramenta baseada em BIM é de extrema importância no processo de implementação (LU; KORMAN, 2010; ZHAI *et al.*, 2019). Nesse sentido, observou-se algumas posições antagônicas entre os participantes. Um respondente apontou como desafio a baixa variedade de *softwares* voltados ao setor de PMC, sendo que outro participante afirmou ser um desafio escolher a ferramenta devido à alta variedade. Quando perguntados sobre qual ferramenta estava sendo aplicada na empresa, notou-se grande variedade. Tal dispersão pode ser explicada principalmente por questões financeiras e de interoperabilidade com os demais *softwares* utilizados pela indústria. A Figura 4.7 apresenta a quantificação dos *softwares* apontados pelos entrevistados.

Nota-se que a ferramenta mais utilizada pelas empresas participantes é a Tekla Structures®. Além de ela ser um dos mais antigos e consolidados *softwares* para o setor de PMC, os entrevistados apontaram que a possibilidade de desenvolvimento de sub-rotinas na

própria ferramenta permite a customização, tornando-a mais adequada ao fluxo de trabalho da empresa. Além disso, essa possibilidade torna esse *software* mais automatizado, se adequando às necessidades com maior agilidade.

Figura 4.7 – Análise dos respondentes em relação aos *softwares* adotados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao TQS PREO® e o Autodesk Revit®, os respondentes informaram que a sua adoção ocorreu, principalmente, devido a empresa já possuir outras licenças com os desenvolvedores, diminuindo o custo inicial. Além disso, pela relação existente, facilitou as questões de suporte e tornou mais fácil a operação pelos colaboradores estarem mais acostumados com a interface. Tillmann *et al.* (2015) afirmam que a questão de familiaridade com a ferramenta adotada é crucial para a aceitação dos funcionários. O Allplan®, por sua vez, foi apontado como mais vantajoso por ser um *software* brasileiro com uma biblioteca específica para o setor de pré-fabricados. Além disso, a ferramenta é destacada como de fácil integração com os demais baseadas em BIM utilizados na produção e interoperabilidade para exportação e comunicação com entre ele e os *softwares* de programação e controle da produção (PCP), facilitando o processo de produção dos elementos.

Além desses, observa-se que nas indústrias nas quais o BIM está sendo aplicado em sua totalidade existe a integração de diversos *softwares* baseados em BIM para projeto, orçamentação, produção de elementos e simulação de montagem. Por exemplo, numa empresa entrevistada verificou-se a utilização do *software* Tekla Structures® para as fases comercial e elaboração do modelo executivo devido, principalmente, a sua facilidade na apresentação visual do empreendimento e extração de quantitativos para orçamentação. Concomitantemente, os cálculos estruturais e a definição dos quantitativos de aço eram realizados com o *software* Scia Engineer®.

Para o gerenciamento e controle da produção, logística e montagem das estruturas, a empresa em questão adotava o *software* Plannix®. Para uma questão mais específica, como o corte e dobra dos vergalhões de aço, era aplicado o *software* Graphico®, que, apesar de

não ser uma ferramenta baseada em BIM, tem excelente comunicação com o Tekla Structures® e o Scia Engineer®. Dessa forma, percebeu-se a aplicação da metodologia BIM no processo de trabalho do setor de pré-fabricados por meio de diversos *softwares*, potencializando a percepção do benefício do BIM (MOSTAFA *et al.*, 2018; GBADAMOSI *et al.*, 2020). Ma *et al.* (2020a) afirmam que o principal fator contribuinte para a quebra da resistência à mudança acontece pela percepção de sua funcionalidade.

Para todas as empresas analisadas, o processo de projeto se assemelha bastante. Inicia-se com o recebimento do projeto arquitetônico elaborado pelo cliente, podendo ou não vir modelado em BIM. A partir dele, a empresa geralmente desenvolve um projeto estrutural básico em *software* baseado em BIM para a visualização tridimensional da estrutura, quantificação do material e orçamentação. Após aprovação da proposta técnica e comercial, ocorre o desenvolvimento do projeto executivo, que pode ser ou não em BIM, para a liberação da fabricação dos elementos. Percebeu-se que, para algumas empresas analisadas, o BIM é aplicado na fase comercial para visualização da estrutura em 3D e extração de quantitativos para basear o orçamento. Contudo, após a aprovação da compra, as etapas de projeto estrutural e de formas, produção dos elementos e montagem das estruturas ainda são realizadas da forma convencional com CAD 2D, corroborando com o encontrado por Mostafa, Kim e Rahnamayiezekavat (2017), que a maior aplicação do BIM no setor de pré-fabricados encontra-se na visualização 3D das estruturas.

Ainda em relação à fase de projeto de empreendimentos pré-fabricados, a percepção dos respondentes é de que não houve grandes mudanças no fluxo de trabalho pela introdução da metodologia BIM. Contudo, apresenta-se como unânime a percepção de que o BIM trouxe diversas melhorias ao processo, destacando: maior velocidade nas entregas, melhor detalhamento dos projetos, facilidade para extração de relatórios, quantitativos e listagem de peças, e integração eficiente com o sistema de produção. Essa percepção de benefício e de adequação da metodologia ao fluxo de trabalho do setor é de extrema importância para a sua disseminação (OLAWUMI; CHAN, 2019; LIU *et al.*, 2019; MA *et al.*, 2020a).

Em contraponto, uma das empresas participantes informou não observar todos esses benefícios da adoção do BIM, pois sua aplicação encontra-se ainda na forma parcial. Atualmente o BIM é aplicado por ela somente para a fase comercial, conforme mencionado anteriormente, portanto, o único benefício apontado foi a visualização 3D e a extração de quantitativos para o orçamento inicial, contribuindo para o fechamento da compra. As aplicações parciais do BIM sem um planejamento efetivo corroboram para o enaltecimento de desafios frente aos benefícios (OZARHAN; KARAHAN, 2016; PAGAN; CHEN; TIONG, 2020).

Em contraste aos objetivos pensados pelas empresas com a adoção do BIM, perguntou-se aos respondentes quais os principais benefícios percebidos no dia a dia a partir dessa implantação. De forma similar aos objetivos iniciais, a vantagem observada mais

fortemente encontra-se na melhoria da qualidade global dos projetos em pré-fabricados. Os participantes informaram que o fluxo de informação do projeto tornou-se muito mais eficiente, melhorando desde a forma de apresentação dos projetos aos clientes e a outros projetistas, bem como a comunicação entre os departamentos e sistemas adotados pela própria indústria. Isso possibilitou projetos mais bem detalhados, elaborados de forma mais ágil, com as diversas disciplinas compatibilidades e redução nos erros e retrabalhos.

Quando integrado aos demais sistemas da indústria, o BIM foi capaz de automatizar atividades cotidianas das empresas por meio da integração das etapas de projeto, comercial, compras, produção e montagem de forma satisfatória, permitindo a extração de relatórios e quantitativos de forma rápida e confiável. Contudo, conforme observado, algumas empresas possuem aplicações parciais do BIM. Nesses casos, os respondentes destacaram a percepção de seu benefício para as negociações comerciais, permitindo a visualização do empreendimento e a extração de quantitativos para orçamentação.

Por fim, a percepção da maioria dos participantes é que a adoção do BIM é um processo complexo que envolve diversos *stakeholders*, investimento e treinamento, porém sendo cada vez mais necessário para valorizar o custo-benefício dos empreendimentos pré-fabricados. Além disso, observou-se um processo de melhoria contínua com o seu uso por completo integrado ao fluxo de trabalho da empresa. Para a maioria dos pesquisados, seu uso não possui uma “linha de chegada”, ele é uma “maratona” diária para a melhoria (ABANDA; TAH; CHEUNG, 2017; TAN *et al.*, 2019; WU *et al.*, 2021).

4.2. DETERMINAÇÃO DOS FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO

Após as questões abertas com o objetivo de caracterizar as empresas participantes e captar a percepção dos respondentes acerca do processo de implementação do BIM, as 25 barreiras encontradas na revisão sistemática de literatura foram apresentadas por meio de uma avaliação via Escala de Likert de 5 pontos. Os resultados foram analisados em sua totalidade, sem a exclusão ou ponderações das respostas. A semântica da palavra barreira nesse estudo está mais relacionado com o sentido de desafio, ou seja, algo que pode ser vencido com estratégia e esforço.

De modo a analisar a influência de questões externas e percepções distintas sobre a adoção do BIM, os respondentes foram fragmentados em relação ao seu nível de conhecimento em relação à metodologia BIM (básico, intermediário e avançado) e o setor de atuação na empresa (direção/comercial e engenharia). Contudo, somente o resultado global foi utilizado para definição do Fatores Críticos de Sucesso (FCS). A avaliação dos respondentes sobre as barreiras é apresentada na Tabela 4.1 .

A consistência interna dos dados coletados foi avaliada pelo coeficiente Alfa de Cronbach (α), devendo o resultado variar entre 0,70 e 0,95 para validar a confiabilidade dos resultados (CRONBACH, 1951). A amostra de análise geral apresentou coeficiente de 0,867, ou seja, no intervalo apontado, garantindo a confiabilidade das respostas e permitindo continuação das análises. Contudo, devido ao baixo número de participantes da pesquisa, o estudo não se apresenta estatisticamente adequado, apesar de seguir os procedimentos necessários para análise.

Ao dividir os respondentes em relação ao seu nível de conhecimento em BIM, percebeu-se convergência nas percepções de importância das barreiras: “alto custo para aquisição de *softwares* e *hardwares*, treinamento de pessoal e manutenção das licenças” (B05), “falta de profissionais com capacidade técnica e comportamental para trabalhar com BIM” (B01) e “incompreensão dos benefícios do BIM por parte dos stakeholders (projetistas, alta gerência, clientes ...)” (B03). Essa convergência corrobora o estudo realizado por Melo e Mendes (2021), entrevistando escritórios de projetos acerca dos desafios na implementação do BIM no Brasil. Esse estudo identificou que os maiores desafios estão relacionados com o elevado custo para aquisição de *software* e *hardware*, falta de profissionais com capacidade técnica e comportamental para trabalhar com o BIM e ausência de fluxos de trabalho bem definidos para se trabalhar com ele.

As divergências aparecem em muitas barreiras, evidenciando a influência do conhecimento acerca da metodologia BIM no processo de adoção. A “dificuldade de adaptação dos processos baseados em documentos 2D para modelos em BIM” (B16) recebeu elevada importância pelos respondentes com baixo nível de conhecimento em relação a ele, contudo, foi relevada pelos demais. Ao contrário, a barreira “problemas envolvendo o direito de propriedade intelectual em relação ao modelo” (B23) foi relativizada pelos respondentes com nível baixo e intermediário, porém, teve grande importância para os respondentes que se autodeclararam nível avançado.

As barreiras “ausência de ferramentas BIM bem estabelecidas para atender o setor de PMC” (B08) e “ausência de fluxos de trabalho bem estabelecidos baseados em BIM para o setor de PMC” (B17) decrescem a sua importância com a elevação do nível de conhecimento sobre o BIM. De forma contrária, as barreiras “ausência de políticas governamentais de incentivo à adoção do BIM no setor de PMC” (B19) e “ausência de padronização de contratos em BIM e respaldo jurídico (gestão de conflitos, cobertura de seguro ...)” (B22) possuem grande importância para pessoas com conhecimento avançado e não para os demais.

Esses pontos evidenciam a influência que o conhecimento sobre a metodologia BIM exerce sobre a percepção das barreiras. Eles são corroborados pela literatura, em especial, Chan *et al.* (2014) e Tan *et al.* (2019) afirmam que os profissionais com baixo conhecimento em BIM tendem a dar maior importância a barreiras relacionadas com custo, treinamento e

Tabela 4.1 – Resultado da avaliação dos respondentes em relação às barreiras de implementação do BIM

Código	Total (N=11)			Nível de conhecimento em BIM									Setor da Empresa					
				Básico (N=3)			Intermediário (N=5)			Avançado (N=3)			Direção/Comercial (N=8)			Engenharia/Projetos (N=3)		
	MA	DP	MN	MA	DP	Rank	MA	DP	Rank	MA	DP	Rank	MA	DP	Rank	MA	DP	Rank
B01	4,1	0,83	0,8*	4,0	1,00	2	4,0	0,71	2	4,3	1,16	2	4,3	0,76	2	4,0	1,00	2
B02	3,8	0,98	0,6*	4,0	1,00	2	3,8	0,84	3	3,7	1,53	4	4,0	0,82	4	4,0	1,00	2
B03	3,8	1,08	0,6*	4,3	0,58	1	3,2	1,30	6	4,3	0,58	2	4,1	0,69	3	3,0	1,73	5
B04	3,4	1,36	0,4	2,7	2,08	6	3,6	1,14	4	3,7	1,16	4	3,1	1,57	11	4,0	1,00	2
B05	4,6	0,51	1,0*	4,3	0,58	1	4,6	0,55	1	5,0	0,00	1	4,6	0,54	1	4,7	0,58	1
B06	3,7	1,01	0,6*	3,3	1,16	4	3,6	0,89	4	4,3	1,16	2	3,9	1,07	5	3,7	1,16	3
B07	3,5	1,37	0,5*	3,0	1,00	5	3,8	1,64	3	3,3	1,53	5	3,7	1,11	6	3,3	2,08	4
B08	3,0	1,48	0,3	3,7	1,16	3	3,2	1,79	6	2,0	1,00	9	3,1	1,46	11	3,0	2,00	5
B09	3,7	1,19	0,6*	4,3	1,16	1	3,6	1,14	4	3,3	1,53	5	3,9	1,22	5	4,0	1,00	2
B10	3,5	1,51	0,5*	4,0	0,00	2	3,2	2,05	6	3,3	1,53	5	3,6	1,51	7	3,3	2,08	4
B11	3,8	1,33	0,6*	4,3	0,58	1	3,2	1,64	6	4,3	1,16	2	4,1	1,07	3	3,3	2,08	4
B12	3,3	1,49	0,4	3,3	1,53	4	2,6	1,67	8	4,3	0,58	2	3,0	1,73	12	3,7	1,16	3
B13	3,4	1,21	0,4	3,7	1,53	3	3,6	1,34	4	2,7	0,58	7	3,6	1,13	7	3,3	1,53	4
B14	3,4	1,03	0,4	3,7	1,16	3	3,4	1,14	5	3,0	1,00	6	3,4	0,98	9	3,7	1,16	3
B15	3,5	1,21	0,5*	3,3	1,53	4	3,6	1,14	4	3,3	1,53	5	3,6	1,40	7	3,7	0,58	3
B16	3,4	1,36	0,4	4,0	1,00	2	3,2	1,79	6	3,0	1,00	6	3,7	1,11	6	3,0	2,00	5

(continua)

(continuação)

Código	Total (N=11)			Nível de conhecimento em BIM									Setor da Empresa					
				Básico (N=3)			Intermediário (N=5)			Avançado (N=3)			Direção/Comercial (N=8)			Engenharia/Projetos (N=3)		
	MA	DP	MN	MA	DP	Rank	MA	DP	Rank	MA	DP	Rank	MA	DP	Rank	MA	DP	Rank
B17	3,0	1,34	0,3	3,0	1,00	5	3,4	1,82	5	2,3	0,58	8	2,9	1,35	13	3,7	1,53	3
B18	3,4	1,21	0,4	3,3	1,53	4	3,2	1,30	6	3,7	1,16	4	3,6	1,40	8	3,0	1,00	5
B19	2,5	1,64	0,1	1,7	0,58	9	2,4	1,52	9	3,7	2,31	4	3,0	1,63	11	2,0	1,73	8
B20	2,5	1,44	0,0	1,7	0,58	9	2,6	1,52	8	3,0	2,00	6	2,9	1,35	12	2,0	1,73	8
B21	3,1	1,51	0,3	3,7	1,53	3	2,6	1,34	8	3,3	2,08	5	3,7	1,25	6	2,3	1,53	7
B22	2,7	1,42	0,1	2,0	0,00	8	2,8	1,48	7	3,3	2,08	5	3,3	1,38	10	2,0	1,00	9
B23	2,5	1,21	0,1	2,0	0,00	8	2,0	1,00	10	4,0	1,00	3	3,0	1,16	11	1,3	0,58	10
B24	2,7	0,91	0,1	2,3	0,58	7	2,8	1,10	7	3,0	1,00	6	2,9	0,69	12	2,7	1,53	6
B25	3,3	0,91	0,4	2,3	0,58	7	3,8	0,84	3	3,3	0,58	5	3,3	1,11	10	3,3	0,58	4
α	0,867			0,794			0,812			0,916			0,800			0,446		
Notas: (*) – Barreiras classificadas como FCS; MA – Média Aritmética; DP – Desvio Padrão; MN – Média normalizada; α – coeficiente de confiabilidade de Cronbach.																		

Fonte: Elaborado pelo Autor.

fluxo de trabalho. Enquanto pessoas com maior prática nas ferramentas tendem a se atentar com o treinamento das pessoas para o desenvolvimento de habilidades técnicas e comportamentais.

De forma semelhante à análise realizada anteriormente, quando se comparou com as respostas pelo departamento de atuação, percebe-se uma convergência na maioria das respostas. As barreiras com maior importância para os departamentos direção/comercial e engenharia/projetos foram: “alto custo para aquisição de *softwares* e *hardwares*, treinamento de pessoal e manutenção das licenças” (B05), “falta de profissionais com capacidade técnica e comportamental para trabalhar com BIM” (B01) e “resistência ao trabalho integrado e colaborativo entre os projetistas, clientes e fábrica” (B02).

Em contraponto, observou-se algumas barreiras que possuem uma importância maior para o departamento de Engenharia/Projetos do que para a Direção/Comercial, eles são: “resistência à mudança por parte dos *stakeholders* devido ao costume de documentos 2D” (B04), “ausência de fluxos de trabalho bem estabelecidos baseados em BIM para o setor de PMC” (B17) e “falta de guias e manuais voltados a adoção do BIM pelo setor de PMC” (B25).

Ainda, notou-se algumas barreiras que são superestimadas para a Direção/Comercial e negligenciadas pela Engenharia/Projetos, elas são: “incerteza dos benefícios econômicos e do retorno do investimento proporcionados pela adoção do BIM” (B12) e “falta de padrões e normativas para orientar e fomentar a adoção do BIM no setor de PMC” (B20). Percebe-se, então, que cada departamento traz a sua perspectiva para o estudo, corroborando com a importância da captação da percepção de personagens de diferentes áreas organizacionais da empresa.

Por fim, voltando à análise global das respostas, calculou-se a média normalizada (MN) para cada barreira, classificando como FCS aquelas barreiras com MN maior ou igual a 0,5. Assim, dez FCS foram identificados e são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Fatores Críticos de Sucesso

Rank	Código da Barreira	Barreiras	MN
1	B05	Alto custo para aquisição de <i>softwares</i> e <i>hardwares</i> , treinamento de pessoal e manutenção das licenças	1,0
2	B01	Falta de profissionais com capacidade técnica e comportamental para trabalhar com BIM	0,8
3	B02	Resistência ao trabalho integrado e colaborativo entre os projetistas, clientes e fábrica	0,6
3	B03	Incompreensão dos benefícios do BIM por parte dos outros <i>stakeholders</i> (projetistas, alta gerência, clientes ...)	0,6

3	B11	Ausência de um plano para implementação com definição de prazos, metas e responsabilidades	0,6
3	B06	Problemas de interoperabilidade na troca de informações entre <i>softwares</i> BIM	0,6

(continua)

(continuação)

Rank	Código da Barreira	Barreiras	MN
3	B09	Falta de ligação direta entre o modelo BIM e os sistemas ERP e de produção da fábrica	0,6
4	B07	Falta de suporte técnico dos desenvolvedores dos <i>softwares</i> em tempo hábil	0,5
4	B10	Falta de liderança e compromisso da alta direção no processo de implementação	0,5
4	B15	Resistência ao compartilhamento de informações entre os projetistas	0,5

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3. ANÁLISE DOS FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO

Analisando os FCS determinados com base na proposta do PCBIM *Hexagon* (PHANG; CHEN; TIONG, 2020), tem-se que a percepção da importância dos respondentes acerca das barreiras da implementação do BIM envolvem múltiplos aspectos: pessoas, organização, tecnologia e processos. Contudo, percebe-se que barreiras relacionadas aos fatores externos, como questões regulatórias, normatizações e ações governamentais, não receberam muita importância dos participantes, não se classificando como crítica.

Em primeiro lugar, classifica-se o FCS: “alto custo para aquisição de *softwares* e *hardwares*, treinamento de pessoal e manutenção das licenças” (B05). Essa importância dada pelos profissionais é legítima, devido ao elevado investimento requerido pela adoção do BIM com *softwares*, *hardwares*, treinamento dos colaboradores e compra das licenças (MOSTAFA; KI; RAHNAMAYIEZEKAVAT, 2017; LIAO; TEO; CHANG, 2019). Tsai *et al.* (2014) afirmam que a tendência do mercado é iniciar a adoção do BIM por grandes empresas para depois disseminar para as demais, devido, principalmente, a essa barreira.

Sabendo que a falta de profissionais qualificados técnica e comportamental para trabalho com BIM é um grande entrave à adoção (OLANTEWAJU *et al.*, 2020; BRITO 2021; MELO; MENDES; 2021), em segundo lugar está o seguinte FCS: “Falta de profissionais com capacidade técnica e comportamental para trabalhar com BIM” (B01). Won *et al.* (2013) avisam que não é inteligente demitir os funcionários antigos, diante disso é necessário o treinamento, desmistificação e agregação desses funcionários à tecnologia. Portanto, esse

fator relaciona-se diretamente com a elevação dos custos de adoção (LIAO; TEO, 2017; AMUDA-YUSUF; 2018).

Após, em terceiro lugar, qualificam-se cinco FCS: “resistência ao trabalho integrado e colaborativo entre os projetistas, clientes e fábrica” (B02) é resultante do modo convencional de se projetar e construir, todavia, o BIM requer que a construção do modelo federado ocorra de forma colaborativa e integrada (ATTARZADEH; NATH; TIONG, 2015; LIAO; TEO; CHANG, 2019). Tillman *et al.* (2015) enfatizam a necessidade de que os contratos devem apoiar essa integração dos projetistas entre si e para com a produção também. A “incompreensão dos benefícios do BIM por parte dos outros *stakeholders* (projetistas, alta gerência, clientes ...)” (B03) pode contribuir para o insucesso dos processos por estarem com objetivos distintos para a adoção (AMUDA-YUSUF, 2018; BADRINATH; HSIEH, 2019).

A “ausência de um plano para implementação com definição de prazos, metas e responsabilidades” (B11) é crítica por não haver uma estratégia num processo complexo e que envolve diversos recursos (BADRINATH; HSIEH, 2018; JABLOT, 2019). No setor de pré-fabricados, “problemas de interoperabilidade na troca de informações entre *softwares* BIM” (B06) são mais críticas que os demais devido à necessidade de integração entre os *softwares* de projeto, cálculo estrutural e planejamento de produção (HE *et al.*, 2021). Nesse sentido, a “falta de ligação direta entre o modelo BIM e os sistemas ERP e de produção da fábrica” (B09) torna-se uma barreira crítica pela necessidade de retrabalho para lançamento dos dados em sistemas que não se conversam, servindo como desestimulador da adoção (LIU *et al.*, 2019; BEN MAHMOUD; LEHOUX; BLANCHET, 2020).

Em quarto lugar, agrupam-se três FCS: “falta de liderança e compromisso da alta direção no processo de implementação” (B10) apresenta importância pelo poder de condução que a liderança da empresa exerce em todo processo de implementação de nova tecnologia (AWWAD *et al.*, 2020; SINOH; OTHMAN; IBRAHIM, 2020). Principalmente envolvido com problemas de interoperabilidade entre *softwares*, a “falta de suporte técnico dos desenvolvedores dos *softwares* em tempo hábil” (B07) tornou-se crítica, fazendo necessária a disponibilidade de uma equipe de suporte técnico (WON *et al.*, 2013; PHANG; CHEN; TIONG, 2020). A “resistência ao compartilhamento de informações entre os projetistas” (B15) é uma problemática de toda AECO, não sendo diferente para o setor de PMC (DAKHIL; UNDERWOOD; AS-SHAWI, 2019; YAO; HUA; WANG, 2020).

Invertendo o foco da análise para observar as barreiras que não foram classificadas como FCS, percebe-se alguns pontos que são bastante inflados na literatura, mas que, pelos participantes dessa pesquisa, não tem muita significância para o cenário brasileiro de PMC. Em especial, tem-se que as barreiras relacionadas a fatores externos, que receberam baixa importância, como: “ausência de políticas governamentais de incentivo à adoção do BIM no setor de PMC” (B19); “falta de padrões e normativas para orientar e fomentar a adoção do

BIM no setor de PMC” (B20); “ausência de padronização de contratos em BIM e respaldo jurídico (gestão de conflitos, cobertura de seguro ...)” (B22); “problemas envolvendo o direito de propriedade intelectual em relação ao modelo” (B23); e “falta de estudos voltados à implementação do BIM no setor de PMC” (B24).

O processo de adoção do BIM está diretamente relacionado com a existência de políticas públicas, motivações competitivas e incentivos financeiros para tal (LIAO; TEO, 2017; VERNIKOS *et al.*, 2014). Nesse sentido, as barreiras relacionadas aos fatores externos sempre são colocadas em evidência nos estudos sobre adoção do BIM, em especial a ação governamental. Babatunde *et al.* (2021) afirmam que um dos principais FCS encontra-se na ausência de suporte dos governos à adoção do BIM. Brito *et al.* (2021) ressaltam que devem ser criadas políticas públicas para treinamento dos profissionais e disseminação da sua implementação. Babatunde *et al.* (2021) afirmam que, no caso dos países em desenvolvimento, essas ações governamentais são ainda mais necessárias. Wu *et al.* (2021) explicam que, para reverter a falta de experiência da indústria, os governos devem agir de forma a orientar ativamente sobre o uso da tecnologia, incentivar para ampliar a aplicação do BIM e melhorar a experiência das empresas no processo de sua adoção.

Isso posto, Liao e Teo (2017) são enfáticos ao afirmarem que os governos precisam agir para incentivar a disseminação do BIM, porque a sua inoperância somente contribui negativamente para o processo. Vernikos *et al.* (2014) afirmaram que o governo britânico contribuiu ativamente para sua disseminação no país por meio de políticas públicas e pelo uso da força estatal para financiamentos e obras públicas. Zhang *et al.* (2016) mostram que a adoção do BIM no mercado chinês recebeu grande impulso após ação governamental de incentivo e padronização. Mostafa, Kim e Rahnamayiezekavat (2017) destacam que o governo australiano também agiu para incentivar a implementação, chegando a financiar a compra de *softwares* e *hardwares*. Para Liao e Teo (2017), se hoje o BIM está disseminado no Reino Unido, Estados Unidos, Noruega e Finlândia, isso se deve ao investimento governamental. No caso dos pré-fabricados, Phang, Chen e Tiong (2020) afirmam que a China está implementando ações de incentivo e suporte específicas para o setor.

Questões de padronização e normatização para dar respaldo jurídico para contratos baseados em BIM é crítico, principalmente quando relacionados à propriedade intelectual, padronização dos contratos e gestão de conflitos (BEN MAHMOUD; LEHOUX; BLANCHET, 2020; WU *et al.*, 2021). Tan *et al.* (2019) apontam que alguns países desenvolvidos criaram guias, normatizações e padronizações contemplando características locais de forma a contribuir com a disseminação da metodologia BIM. Ma *et al.* (2020a) ressaltam que a solução para essas questões pode ser a padronização em nível setorial da indústria. Chan, Olawumi e Ho (2019) relatam uma ação da AECO de Hong Kong com objetivo de padronizar os projetos BIM e incentivar sua utilização.

Além do papel governamental, todos os *stakeholders* envolvidos com o ciclo produtivo do setor devem se unir e liderar o processo de implementação do BIM, garantindo o seu sucesso (CHAN, OLAWUMI, HO, 2019). Nesse sentido, tem-se que a barreira “ausência de fluxos de trabalho bem estabelecidos baseados em BIM para o setor de PMC” (B17) que não possui tanta significância. Dessa forma, entende-se que, para o setor de PMC, o processo de reengenharia dos fluxos de trabalho foi desenvolvido e está adaptado ao BIM (MORLHON; PELLERIN; BOURGAULT, 2015). Outra barreira renegada pelos participantes foi a “ausência de ferramentas BIM bem estabelecidas para atender o setor de PMC” (B08), contrariando o encontrado por Liu *et al.* (2019) e Ben Mahmoud, Lehoux e Blanchet (2020). Esse fenômeno foi apresentado na análise das entrevistas, nas quais os participantes apresentaram uma diversidade interessante de *softwares*.

4.4. ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS

4.4.1. Análise da Adequacidade da Amostra

Como etapa anterior à análise dos componentes principais (ACP), fez-se necessário verificar a adequacidade da amostra de FCS à análise fatorial. Essa avaliação ocorreu pelos parâmetros: tamanho da amostra, padrão de correlação, teste de esfericidade de Bartlett (BTS) e teste Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). Em relação ao tamanho da amostra, Hair *et al.* (2005) estimaram serem necessárias cinco observações para cada variável coletada. Sabendo que nossa amostra conta com dez variáveis de análise (são 10 FCS) e onze observações (são onze respondentes), define-se que a amostra pode não ser adequada à análise fatorial devido ao baixo número de observações.

O coeficiente de correlação mensura o grau que duas variáveis em análise tendem a mudar juntas. Considerando que a amostra de dados deste trabalho trata de variáveis não-métricas do tipo ordinais oriundas de uma Escala de Likert, o método de análise de correlação escolhido foi a Correlação de Ordem de Posto de Spearman. Esse método determina pelo coeficiente de Spearman (ρ) o nível de correlação entre dois fatores. Os resultados do ρ de Spearman são apresentados na Tabela 4.3 e, na Figura 4.8, observa-se o mapa de calor. Verifica-se que 63% dos fatores possuem alta correlação entre si ($\rho > 0,3$) de acordo com Field *et al.* (2012), demonstrando que há correlação entre as variáveis e, portanto, tornando a amostra possivelmente apta à análise fatorial.

De acordo com Kaiser (1974), valores de KMO acima de 0,50 indicam que a amostra é apropriada à análise fatorial, enquanto valores abaixo deste podem ser indício da inadequação da amostra. Para o presente estudo, o KMO calculado foi de 0,17 ($KMO < 0,5$), podendo indicar que essa amostra não apresenta adequacidade à análise fatorial. De modo

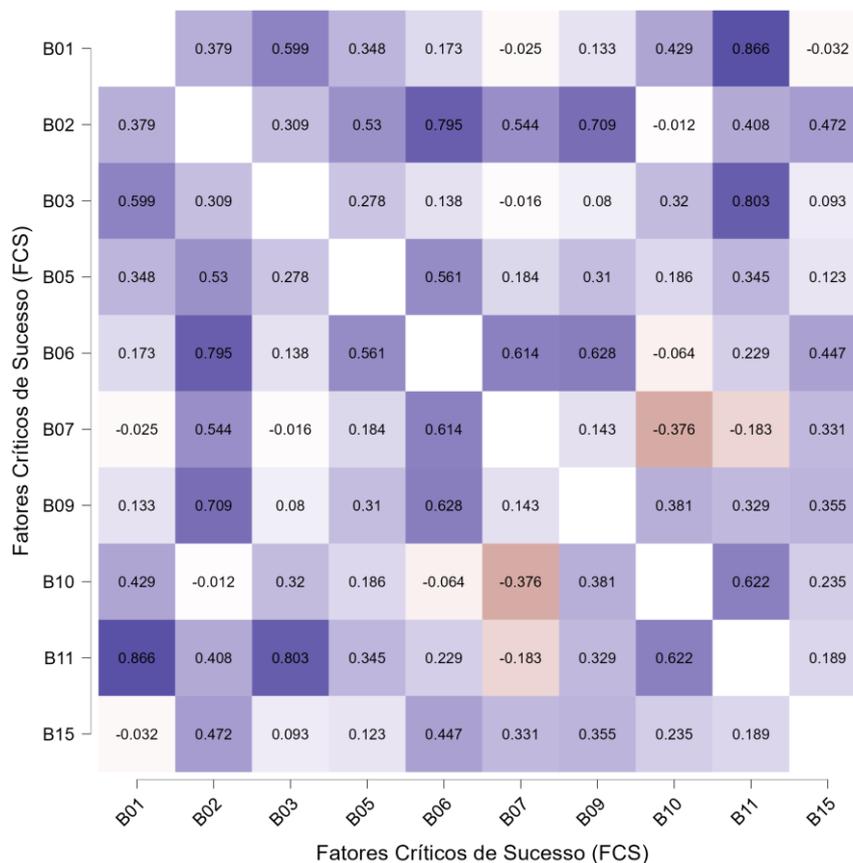
geral, amostras resultantes de questionários em Escala de Likert apresentam-se adequadas à análise fatorial, contudo, o pequeno volume de dados da presente análise pode ter contribuído para a redução do KMO.

Tabela 4.3 - Coeficientes de Correlação de Spearman (ρ)

		Fatores Críticos de Sucesso (FCS)									
		B01	B02	B03	B05	B06	B07	B09	B10	B11	B15
Fatores Críticos de Sucesso (FCS)	B01	—									
	B02	0.379	—								
	B03	0.599	0.309	—							
	B05	0.348	0.530	0.278	—						
	B06	0.173	0.795	0.138	0.561	—					
	B07	-0.025	0.544	-0.016	0.184	0.614	—				
	B09	0.133	0.709	0.080	0.310	0.628	0.143	—			
	B10	0.429	-0.012	0.320	0.186	-0.064	-0.376	0.381	—		
	B11	0.866	0.408	0.803	0.345	0.229	-0.183	0.329	0.622	—	
	B15	-0.032	0.472	0.093	0.123	0.447	0.331	0.355	0.235	0.189	—

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.8 - Mapa de Calor do ρ de Spearman



Fonte: Elaborado pelo autor

O grau de inter-relação entre os fatores calculado foi de BTS ($X^2(45) = 103, p < 0,001$), apresentando um alto valor de Bartlett estatisticamente significativa ($p < 0,05$). Isso exclui a hipótese nula do BTS, corroborando que a matriz de correlações é diferente da identidade, mostrando que, possivelmente, a amostra está adequada à ACP. Os resultados para os testes de KMO e BTS são apresentados na Tabela 4.4

Tabela 4.4 - Resultado dos testes de KMO e Bartlett para os FCS

Medida de Adequacidade da Amostra de KMO		0,170
Teste de Esfericidade de Bartlett	X²	102,892
	df	45
	p	< 0,001

Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim, constata-se que, dos 4 parâmetros de adequacidade requeridos, somente 2 foram atendidos em sua plenitude: correlação de Spearman e teste de Bartlett. Field *et al.* (2012) indicam que a análise por ACP apresenta-se mais adequada para um grande número amostral. Liao e Teo (2017) e Olanrewaju *et al.* (2020) analisaram os FCS por meio da ACP sem dificuldade, apesar de não ter atingido a proporção estabelecida por Field *et al.* (2012). O primeiro precisava de 160 participantes, mas contou com 58 respostas. O segundo precisava de 150 respostas, mas contou com 90 respostas. Como o número de observações do presente trabalho foi reduzido, a amostra pode não apresentar adequacidade à ACP. Contudo, a análise seguirá como forma de aplicação e desenvolvimento do método, já que os resultados obtidos podem ter interferência devido ao baixo número de participantes.

4.4.2. Definição do Número de Componentes da ACP

Uma das etapas mais complexas da ACP é a definição no número de componentes que serão extraídos, uma vez que não há consenso sobre o número ideal, tornando essa definição empírica e dependente do pesquisador. Para isso, este trabalho utiliza três métodos para definição do número ótimo de componentes, conforme estabelecido por Matos e Rodrigues (2019). Os critérios são: autovalor, porcentagem de variância acumulada e diagrama de inclinação (*scree test*). Pode ser entendido que um número ótimo se refere ao número mínimo de fatores que maximizam a variância total.

Os valores de autovalor, a variância proporcional e a variância cumulativa para os 10 componentes iniciais são apresentadas na Tabela 4.5. O primeiro critério utiliza-se da regra de Kaiser para definir a criação dos componentes com autovalor superior a 1,0, portanto,

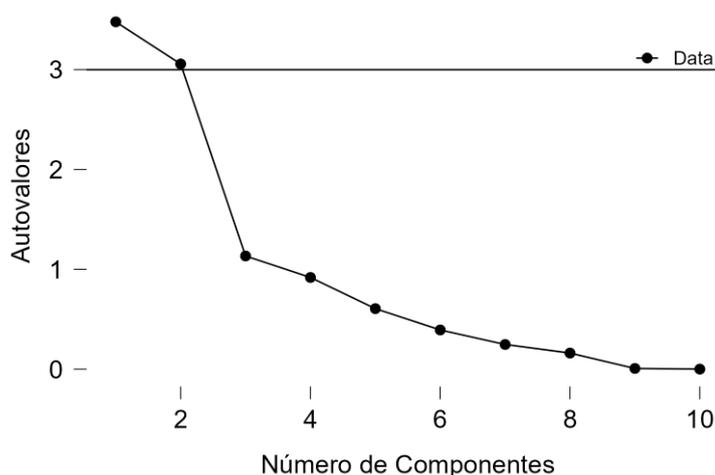
sugere a criação de 3 componentes. O segundo critério ancora-se na porcentagem da variância acumulada, pois Hair *et al.* (2005) sugerem o patamar para escolha de 60% como aceitável. Portanto, para esse critério, deve-se criar dois componentes. O terceiro critério analisa o diagrama de declividade para observar a queda abrupta de variância para definir o limite de extração. Para esse último critério, deve-se criar dois componentes. O diagrama de declividade está apresentado na Figura 4.9 . Portanto, define-se que o número ótimo de componentes é dois.

Tabela 4.5 - Autovalor e variância acumulada dos componentes

Componente	Autovalor	Variância Proporcional	Variância Cumulativa
01	3.479	34,80	34,8
02	3.057	30,60	65,4
03	1.134	11,30	76,7
04	0.918	9,20	85,9
05	0.606	6,10	91,9
06	0.392	3,90	95,9
07	0.247	2,50	98,3
08	0.161	1,60	99,9
09	0.007	0,06	100,0
10	3.095×10-5	0,00	100,0

Elaborado pelo autor.

Figura 4.9 – Diagrama de Inclinação da análise do componente principal



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.3. Definição dos Componentes da ACP

Dessa forma, a ACP seguiu com dois componentes principais utilizando o *software* JASP (*version* 0.16.4) com rotação oblíqua “*oblimin*”. Não houve necessidade de reajustar o modelo e nenhum fator foi excluído para análise. Esses dois componentes são responsáveis

por 65,4% da variância total da amostra. Além disso, apresentaram autovalores de 3,057 (Componente 01) e 3,479 (Componente 02), ambos maiores que 1,0, comprovando a significância dos componentes (PALLANT, 2010), além de comunalidades altas, acima de 0,1. Hair *et al.* (2005) estabelecem que as cargas fatoriais da ACP precisam estar acima de 0,400 para caracterizar forte correlação entre as variáveis em análise e os componentes identificados. A menor carga fatorial da amostra foi de 0,576, demonstrando a forte correlação entre os fatores analisados. Os resultados são apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Resultado a ACP e componentes principais

Código	Fatores Críticos de Sucesso (FCS)	Comunalidade	Componentes	
			01	02
Componente 01 – Pessoas e Organização				
B11	Ausência de um plano para implementação com definição de prazos, metas e responsabilidades	0,035	0,974	-
B03	Incompreensão dos benefícios do BIM por parte dos <i>stakeholders</i> (projetistas, gerência, clientes...)	0,259	0,856	-
B10	Falta de liderança e compromisso da alta direção no processo de implementação	0,330	0,819	-
B01	Falta de profissionais com capacidade técnica e comportamental para trabalhar com BIM	0,394	0,732	-
Componente 02 – Processos, Ferramentas e Sociedade				
B02	Resistência ao trabalho integrado e colaborativo entre os projetistas, clientes e fábrica	0,133	-	0,924
B06	Problemas de interoperabilidade na troca de informações entre <i>softwares</i> BIM	0,150	-	0,921
B09	Falta de ligação direta entre o modelo BIM, os sistemas ERP e de produção da fábrica	0,437	-	0,721
B07	Falta de suporte técnico dos desenvolvedores dos <i>softwares</i> em tempo hábil	0,450	-	0,628
B15	Resistência ao compartilhamento de informações entre os projetistas	0,661	-	0,578
B05	Alto custo para aquisição de <i>softwares</i> e <i>hardwares</i> , treinamento de pessoal e manutenção das licenças	0,616	-	0,576
Autovalores			3,057	3,479
Proporção (%)			30,6	34,8
Proporção Cumulativa (%)			30,6	65,4

Fonte: Elaborado pelo autor.

Encontra-se na literatura grande variedade de nomenclaturas de grupos de barreiras. Mom *et al.* (2014) e Tsai *et al.* (2014) dividem os fatores relacionados à: organização, ferramentas, aplicabilidade, pessoas, processos e modelos de negócio. Awwad *et al.* (2020),

por sua vez, simplificaram a divisão em: fatores humanos, organizacionais, de processo e externos. Porém, seguindo o PCBIM Hexagon proposto por Phang, Chen e Tiong (2020), pode-se dividir os FCS identificados em: FCS relacionados a pessoas e organização (Componente 01) e FCS relacionados a processos, ferramentas e sociedade (Componente 02). Seguiu-se essa nomenclatura na presente análise. A análise dos ACP foi realizada apesar do tamanho da amostra de empresas participantes da pesquisa.

4.4.4. Análise dos Componentes da ACP

O Componente 01 – Pessoas e Organização, aglutina os FCS relacionados aos profissionais do setor e às questões internas das próprias empresas, incluindo o planejamento do processo de implementação. Nesse conjunto, a maior carga fatorial encontra-se na barreira “ausência de um plano para implementação com definição de prazos, metas e responsabilidades” (B11), representando uma forte relação com o componente principal. Esse fato corrobora que a ausência de planejamento do processo de adoção do BIM é duplamente prejudicial para as empresas e para os profissionais. Sem estratégia fundamentada, as empresas despendem recursos financeiros, humanos e energia para a mudança de forma exacerbada e os profissionais ficam perdidos com as mudanças conturbadas (BRADRINATH; HSIEH, 2018; JABLOT *et al.*, 2019; BRITO; FERREIRA; COSTA, 2021).

A “incompreensão dos benefícios do BIM por parte dos stakeholders (projetistas, alta gerência, clientes ...)” (B03) ficou com carga fatorial de 0,856. Ben Mahmoud *et al.* (2020) enfatizam que todos os envolvidos, além do conhecimento prático com as ferramentas baseadas em BIM, devem ter conhecimento teórico sobre suas potencialidades e seus desafios. Os problemas advindos do baixo conhecimento em BIM afetam às organizações e às pessoas, uma vez que, a clareza sobre seus benefícios, permite aumentar o impulso para adoção e reduzir os riscos envolvidos no processo (OZARHAN; KARAHAN, 2016). Essa incompreensão acarreta a divergência acerca dos objetivos de implementação entre os *stakeholders*, contribuindo para o insucesso da adoção (BABATUNDE *et al.*, 2021; BADRINATH; HSIEH, 2019; MA *et al.*, 2020a). Além disso, o desconhecimento está diretamente relacionado com a utilização do BIM de forma parcial (TAN *et al.*, 2019; MA *et al.*, 2020a), o que se caracteriza um problema atual do setor de pré-fabricados no Brasil que deve ser combatido.

O terceiro componente da ACP refere-se à “falta de liderança e compromisso da alta direção no processo de implementação” (B10). Sinoh, Othman e Ibrahim (2020) afirmam que condução do processo de implementação pela alta direção e o aperfeiçoamento da cultura organizacional com a incorporação do BIM são mais importantes para o sucesso da adoção do que o treinamento dos funcionários. Ma *et al.* (2019) enfatizam que a liderança do processo, quando realizada pela alta gestão da empresa, atua na conscientização informal

dos colaboradores, contribuindo para o seu maior empenho. No estudo atual, a direção, além de conhecer o BIM e o seu processo de adoção, deve entender que existirá uma curva de aprendizagem, erros e mudanças no planejamento inicial. Importante salientar que os quatro respondentes que declaram conhecimento avançado em BIM estão em cargos de direção nas suas respectivas empresas, contribuindo para o sucesso do processo de adoção.

A “falta de profissionais com capacidade técnica e comportamental para trabalhar com BIM” (B01) foi o componente com menor carga fatorial do grupo. Apesar de bastante discutido, ainda são poucos os profissionais no mercado capacitados para trabalhar com a metodologia BIM, ocasionando problemas para as empresas e pessoas devido à necessidade de treinamento e capacitação (AMUDA-YSUF, 2018; CHAN *et al.*, 2019a). No caso do setor de pré-fabricados, torna-se necessário que o colaborador tenha conhecimento em BIM e em pré-fabricação (LU; KORMAN, 2010). Vernikos *et al.* (2014) enfatizam que necessitamos de engenheiros e não apenas de desenhistas. Wu *et al.* (2021) afirmam, com base no exposto, que as empresas devem treinar tecnicamente seus funcionários para o BIM. Apesar dos aspectos técnicos serem essenciais, a metodologia BIM requer o desenvolvimento de aspectos não-técnicos, como exemplo, habilidades interpessoais e comportamentais para se trabalhar num ambiente colaborativo (WON *et al.*, 2013; CHAN *et al.*, 2019a; MA *et al.*, 2019; DAO *et al.*, 2021).

Analisando os FCS apresentados no Grupo 01 – Pessoas e Organizações, constata-se o papel importante das entidades de classe e universidades para a mitigação desses fatores. As entidades de classe possuem a responsabilidade de disseminar o conhecimento sobre o BIM entre seus associados por meio de fóruns, congressos e *workshops*. Nesses eventos, a difusão do conhecimento deve ocorrer por meio da discussão em profundidade do BIM, apresentando seus benefícios, desafios e casos de sucesso no setor (OZORHON; KARAHAN; 2016; CHAN; OLAWUMI; HO, 2019a; BRITO; FERREIRA; COSTA, 2021). No outro ponto, as universidades precisam atuar no treinamento dos seus alunos para o desenvolvimento das habilidades requeridas, tornando o egresso, além de capacitado para operar as ferramentas, mais apto ao trabalho colaborativo e integrado (SINOH; OTHMAN; IBRAIM, 2020; WU *et al.*, 2021). Por fim, apresenta-se cada vez mais essencial a criação de uma estratégia de implantação da metodologia BIM por parte da organização, com o envolvimento da alta gestão, estabelecendo orientações práticas e detalhadas sobre as etapas e objetivos, de modo a orientar os *stakeholders* dessa adoção (ATTARZADEH *et al.*, 2015; MOSTAFA *et al.*, 2018).

Quanto ao Componente 02 – Processos, Ferramentas e Sociedade, engloba os FCS envolvidos com gestão da mudança sobre os padrões e fluxos de trabalho, aquisição de *software* e *hardware*, interoperabilidade, aspectos do setor de pré-fabricados e questões legais e contratuais. A maior carga fatorial foi da “resistência ao trabalho integrado e

colaborativo entre os projetistas, clientes e fábrica” (B02), corroborando que esse FCS impacta negativamente nos processos na adoção da ferramenta e no reflexo do uso para a sociedade. Ao contrário do método convencional, o BIM requer um ambiente colaborativo e processos integrados, com bastante integração dos *stakeholders* (AMUDA-YSUF, 2018; MOSTAFA *et al.*, 2018). Wu *et al.* (2021) definem que essa resistência é cultural e precisa ser quebrada para a sua disseminação.

A “resistência ao compartilhamento de informações entre os projetistas” (B15) está enraizada na sociedade, ferramentas e processos devido ao método convencional de projetar. Entende-se que o BIM só irá se desenvolver em sua totalidade, quando todas as disciplinas compartilharem seus modelos no mesmo repositório com o livre acesso dados e elaboração do projeto conjunto (LIAO; TEO, 2017). Para se iniciar esse compartilhamento, faz-se necessária a criação de protocolos para favorecer o compartilhamento de informações entre os *stakeholders* (WON *et al.*, 2013). No mais, observa-se que o maior acelerador dessa mudança de mentalidade ainda se escora na exigência do mercado, a partir da exigência do uso do BIM pelos clientes, sendo que o setor de PMC será obrigado a avançar nessa questão. Portanto, além dos *stakeholders* internos, faz-se necessário disseminar seus benefícios para os clientes (EVANS *et al.*, 2021; DAKHIL; UNDERWOOD; AW-SHAWI, 2019; SINOH; OTHMAN; IBRHAIM, 2020).

A segunda maior carga fatorial do grupo 02 deu-se para o FCS “problemas de interoperabilidade na troca de informações entre *softwares* BIM” (B06) que, para Liu *et al.* (2019), constitui-se na principal barreira para a implementação do BIM. Tsai *et al.* (2014) afirmam que uma ação crítica do processo de adoção do BIM é a definição do *software* que mais se adequa aos processos da organização. Essa análise de adequação não deve se restringir somente à fase de desenvolvimento do projeto, mas passar por todas as etapas de produção. Esse fator é, nitidamente, uma questão de ferramenta, contudo, traz empecilhos aos processos e à sociedade, uma vez que os erros de interoperabilidade fazem com que ocorra perda de dados nas trocas de arquivos, sendo que essa necessidade de reinserção dos dados atua por desencorajar a adoção do BIM e retardar a sua disseminação no setor (BABATUNDE *et al.*, 2019; OLANTEWAJU *et al.*, 2020).

Em especial, notou-se que o setor de pré-fabricados trabalha com diversos *softwares* no sistema de produção, portanto, faz-se necessário existir uma comunicação sem perda de dados entre eles. Essa transferência de dados deve ocorrer não somente entre ferramentas baseadas em BIM, mas também entre ferramentas baseada e não baseada em BIM (BEN MAHMOUD; LEHOUX; BLANCHET, 2020). Por exemplo, um FCS com alta carga fatorial é a “falta de ligação direta entre o modelo BIM e os sistemas ERP e de produção da fábrica” (B09). A princípio, as questões de interoperabilidade entre os *softwares* e os sistemas ERP e de

gestão da produção devem ser esmiuçados no estudo para implementação do BIM para não haja surpresas que prejudiquem o processo.

A “falta de suporte técnico dos desenvolvedores dos *softwares* em tempo hábil” (B07) é um FCS que se relaciona mais com ferramenta, porém, pode trazer prejuízo para os processos e sociedade. Liao e Teo (2017) reforçam a importância do suporte de tecnologia, uma vez que, em sua maioria, a implantação do BIM provoca grandes mudanças nos processos da organização e na forma de se projetar. Além de existir, faz-se necessário que esse suporte tenha respostas rápidas para solução dos problemas, em especial nos casos de falha de interoperabilidade (WON *et al.*, 2013). Tsai *et al.* (2014) afirmam que os desenvolvedores e representantes comerciais devem entregar a solução personalizada para os clientes e, para isso, devem se valer dos FCS para evitar erros. Nos questionários a questão do suporte foi apontada pelos respondentes como crucial para a escolha do *software*, escolhendo desenvolvedores que já possuem vínculos com a empresa.

O FCS com a maior média foi o “alto custo para aquisição de *softwares* e *hardwares*, treinamento de pessoal e manutenção das licenças” (B05), corroborando com o encontrado por Melo e Mendes (2021) para escritórios de engenharia e arquitetura do Brasil. A percepção do mercado ainda é que o BIM requer um elevado investimento inicial (SINOH; OTHMAN; IBRAHIM, 2020; WU *et al.*, 2021). Tan *et al.* (2019) demonstram que seu custo está diretamente ligado com as premissas da estratégia de implementação: escolha das ferramentas, adequação dos fluxos de trabalho, treinamento e consultoria, por exemplo. Mostafa *et al.* (2018) afirmam que ele reduz os custos de retrabalho no empreendimento como um todo, além de permitir que as alterações sejam realizadas de forma rápida, reduzindo custos. Won *et al.* (2013) estabelecem que se faz necessário aumentar a taxa de retorno do investimento por meio de, principalmente, racionalização desses custos iniciais. Vernikos *et al.* (2014) ressaltam que o treinamento da equipe pode ser mais focado nas tarefas mais comuns, com um apoio remoto de um especialista para dúvidas mais complexas.

4.4.5. Análise das Correlações entre Componentes da ACP

Analisando a amostra por meio da ACP, é possível verificar a correlação entre os componentes por meio da matriz de correlação apresentada na Tabela 4.7. Observa-se que a correlação entre os componentes é baixíssima (3,5%), evidenciando que os FCS relacionados a pessoas e processos não têm muita relação com os FCS relacionados com ferramentas, processos e sociedade. Essa independência entre os componentes era esperada pelo resultado apontado no mapa de calor do ρ de Spearman, apresentado na Figura 4.8, na qual foi possível observar a distinção de dois grupos de correlação, os quais formaram os componentes principais dessa análise.

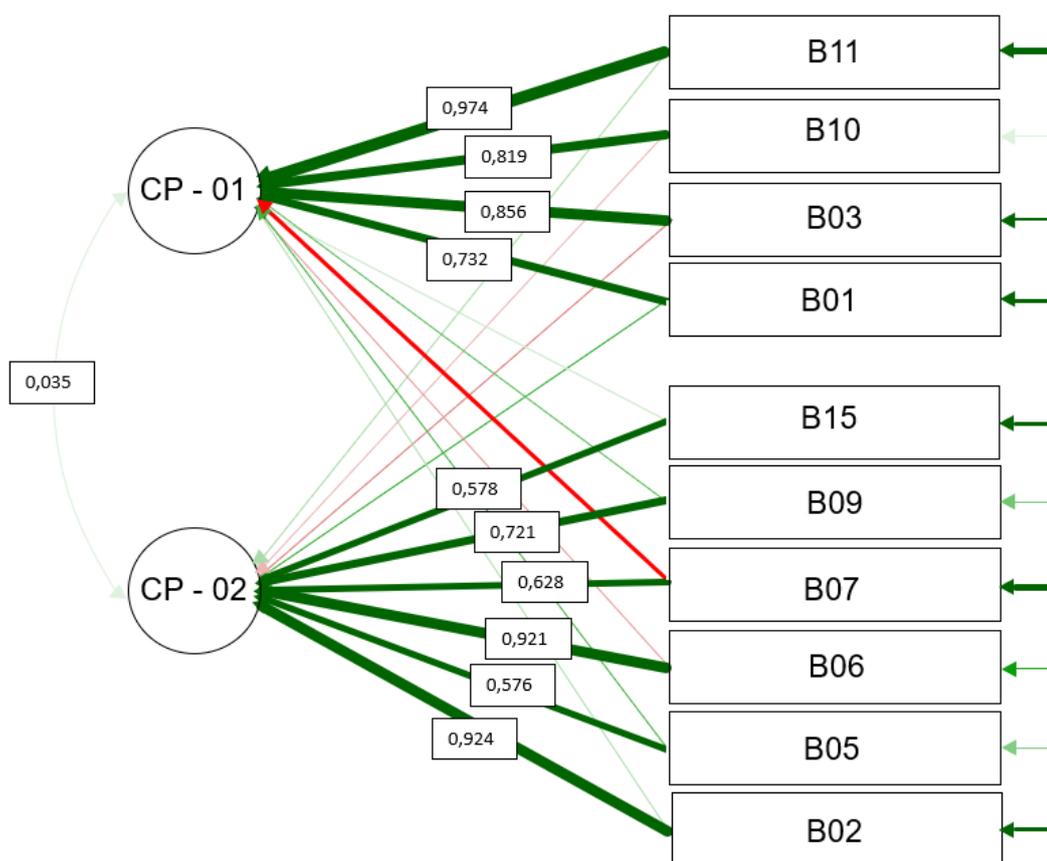
Tabela 4.7 - Matriz de correlação entre os componentes principais

	Componente 1	Componente 2
Componente 1	1,000	0,035
Componente 2	0,035	1,000

Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim, a Figura 4.10 apresenta uma consolidação das relações entre os FCS e os componentes e entre os componentes. Nesse caso, o valor do autovalor da relação entre os itens é caracterizado pela espessura da linha (os autovalores têm variação entre -1 e +1), a cor verde explica a correlação positiva e a cor vermelha a correlação negativa.

Figura 4.10 - Resumo das relações



Fonte: Elaborado pelo autor

4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme apresentado nesse capítulo, a coleta de dados deste trabalho foi realizada por meio da aplicação de questionário com nove empresas do setor de pré-moldados de concreto no Brasil, no total, onze profissionais responderam a pesquisa. A amostra apresentou características importantes para validação dos dados obtidos quanto ao tempo de experiência profissional com pré-moldado e nível de conhecimento em BIM, por exemplo. Contudo, devido ao baixo número de observações, a adequabilidade estatística foi comprometida não permitindo extrapolar as avaliações realizadas para o contexto brasileiro. Apesar disso a pesquisa foi continuada visando servir de embasamento para trabalho futuro com maior número amostral e, conseqüente, confiabilidade estatística dos resultados.

Sabendo que as empresas associadas à ABCIC são responsáveis pela maior parte do volume de concreto empregado para pré-fabricação, apesar do baixo número amostral, os resultados podem ter representatividade no setor. Dessa forma, os resultados obtidos aqui podem embasar futuros estudos sobre o tema.

Por fim, encontra-se no sentido dos termos barreiras e FCS, que devem ser entendidos como desafios que podem ser vencidos com estratégia e esforço.

5. Considerações Finais

Nos últimos anos, os pesquisadores têm se esforçado para avaliar o processo de implementação do *Building Information Modeling* (BIM) pelo setor de pré-fabricados, principalmente, identificando seus benefícios e apresentando casos de sucesso da integração dessas metodologias. Alguns trabalhos avançaram nessa análise por meio da identificação dos Fatores Críticos de Sucesso (FCS) que possuem atuação direta no sucesso do processo de adoção (LU; KORMAN, 2010; ABANDA; TAH; CHEUNG, 2017; TAN *et al.*, 2019; WU *et al.*, 2021). Contudo, observou-se uma lacuna no conhecimento referente à identificação dos FCS para o contexto da indústria brasileira de pré-moldados de concreto (PMC). Portanto, este trabalho possuiu como objetivo principal a identificação e avaliação dos FCS envolvidos no processo de implementação do BIM no setor de PMC.

O primeiro objetivo secundário foi alcançado por meio da revisão de literatura, confirmando os benefícios da adoção do BIM para superar as dificuldades observadas no sistema construtivo pré-fabricado. Constatou-se grande sinergia entre o BIM e a pré-fabricação, contribuindo com o processo de implementação e potencializando os benefícios dessa integração. O BIM destaca-se pelo gerenciamento de informações de modo confiável e eficiente, permitindo a extração de dados de forma rápida e a integração com o sistema de controle de produção da indústria. Essa integração possibilita a realização de simulações dos processos usuais do sistema (produção, estocagem, transporte e montagem), permitindo a otimização dessas etapas e a identificação de conflitos para mitigação dos erros. Conclui-se que o setor de pré-fabricados só vai alcançar crescimento expressivo da sua produtividade a partir da automação de seus processos com o BIM (ABANDA; TAH; CHEUNG, 2017). Além disso, o BIM atua também como indutor de inovações no setor de pré-fabricados, como: *engineer-to-order*, *KanBIM*, *just-time*, IoT, RFID, NFC, GPS e *laser scan*, por exemplo.

Para satisfazer o segundo objetivo secundário, realizou-se uma revisão sistemática de literatura (RSL) para identificação das principais barreiras envolvidas na implementação do BIM no setor de pré-fabricados. Nesse sentido, as barreiras referem-se aos fatores que atuam por prejudicar o processo de adoção do BIM. Foram analisados 16 artigos que estudaram a sua adoção pelo setor, resultando na identificação das 25 principais barreiras envolvidas nesse processo. Esses fatores contemplavam todas as áreas de análise definidas pelo *PCBIM Hexagon*: pessoas (4), ferramenta (5), processos (5), organização (4) e fatores externos (7) (PHANG, CHEN, TIONG, 2020). A área de pessoas contempla as barreiras relacionadas aos *stakeholders* do setor. Ferramenta compete à tecnologia como aquisição de *software* e *hardware*, e treinamento dos profissionais. Processos abrange problemas da gestão de mudança dos padrões e fluxos de trabalho. Organização refere-se às questões

internas da empresa e planejamento do processo de adoção. Fatores externos engloba aspectos da regulamentação, ações governamentais, questões legais e contratuais, e mercado da construção civil. Além disso, observou-se uma dúvida semântica entre os termos barreiras e desafios uma vez que, o primeiro agrega sentido de algo intransponível, enquanto o segundo, traz sentido de algo que pode ser superado, estando mais condizente com o estudo. Contudo, por questão de padronização com os termos já adotados pelos demais estudos, este trabalho usou a definição de barreira como algo que pode ser superado com esforço das partes.

De modo a avaliar as barreiras para definir os FCS e atender o terceiro objetivo secundário, aplicou-se questionário com empresas brasileiras do setor de PMC. Esse formulário foi dividido em duas etapas: a primeira contemplou perguntas abertas para caracterização das empresas, dos profissionais e do processo de adoção do BIM; e a segunda permitiu a análise das barreiras identificadas na RSL por meio da Escala de Likert. No total, nove empresas do setor associadas da ABCIC participaram da pesquisa, indicando ao total onze respondentes. Constatou-se que, dentre as participantes, oito das empresas possuíam mais de 5 anos de atuação no mercado e sete contavam com mais de 100 funcionários. Em relação à adoção do BIM, quatro das participantes possuíam o BIM bem estabelecido nos fluxos de trabalho, enquanto cinco estavam em processo de implementação. Dos profissionais, 03 afirmaram ter conhecimento básico sobre BIM, cinco intermediário e três avançado. Dez respondentes possuem mais de 5 anos de experiência no setor. A amostra desse trabalho apresentou-se heterogênea, contudo, pequena para representar a confiabilidade estatística requerida para representar o contexto brasileiro. Portanto, este trabalho, apesar de não possuir adequabilidade da amostra, atua como um ensaio para estudos futuros com maior número de observações.

Para os respondentes desta pesquisa, a motivação para adoção do BIM ancora-se na eficiência das ferramentas para compatibilização dos projetos e para otimização do processo de produção dos elementos pré-fabricados. Além disso, devido ao aumento da complexidade dos empreendimentos pré-fabricados do ponto de vista de detalhes construtivos e instalações complementares, o BIM é observado pelo mercado para melhorar os processos de visualização e compatibilização dos projetos, antecipando erros e evitando conflitos. Em relação ao processo de implementação, somente uma dentre as empresas pesquisadas elaboraram uma estratégia robusta para orientar seu processo de adoção, contribuindo de forma negativa para o sucesso da aplicação e para o uso parcial do BIM.

Como objetivo da adoção, os respondentes ressaltaram a capacidade do BIM para fornecer informações seguras de forma rápida dos processos comuns dos empreendimentos pré-fabricados: projeto, orçamentação, produção e montagem. Quando integrados aos demais sistemas da indústria, esses objetivos foram alcançados em sua totalidade. Uma

preocupação encontra-se em seu uso parcial, minimizando a percepção de benefício da adoção e enaltecendo os desafios. Em algumas empresas, observou-se seu emprego somente para visualização tridimensional do empreendimento, sendo utilizado apenas para a fase comercial. Como percepção dos benefícios da adoção, os respondentes afirmaram a melhoria na qualidade global dos projetos pré-fabricados.

Das 25 barreiras encontradas na RSL, foram identificadas 10 FCS. Eles são: “alto custo para aquisição de *softwares* e *hardwares*, treinamento de pessoal e manutenção das licenças” (B05); “falta de profissionais com capacidade técnica e comportamental para trabalhar com BIM” (B01); “resistência ao trabalho integrado e colaborativo entre os projetistas, clientes e fábrica” (B02); “incompreensão dos benefícios do BIM por parte dos outros stakeholders (projetistas, alta gerência, clientes ...)” (B03); “ausência de um plano para implementação com definição de prazos, metas e responsabilidades” (B11); “problemas de interoperabilidade na troca de informações entre *softwares* BIM” (B06); “falta de ligação direta entre o modelo BIM e os sistemas ERP e de produção da fábrica” (B09); “falta de suporte técnico dos desenvolvedores dos *softwares* em tempo hábil (B07); “falta de liderança e compromisso da alta direção no processo de implementação” (B10); e “resistência ao compartilhamento de informações entre os projetistas” (B15).

A inter-relação entre os FCS foi calculada por meio da análise dos componentes principais (ACP), apesar da baixa amostra de observações, não tornando a análise estatisticamente adequada. Nesse método foram identificados dois componentes principais: pessoas e organização; e processos e ferramentas. O primeiro componente agrupa fatores que estão relacionados com aos *stakeholders*, a questões internas da empresa e ao planejamento do processo de implementação do BIM. A ausência de uma estratégia de adoção com definição de metas, objetivos e responsabilidades, contribui para o emprego exacerbado de recursos financeiros, humanos e de energia pelas empresas, além de contribuir com a resistência dos profissionais devido à falta de direcionamento e a mudanças repentinas. Nesse componente, observa-se o papel importante das universidades e entidades de classe para disseminar o conhecimento em BIM e treinar os profissionais.

O segundo componente reúne os FCS relacionados à gestão de mudança dos padrões e fluxos de trabalho, escolha e aquisição de *software* e *hardware*, interoperabilidade e treinamento dos colaboradores. A necessidade de mudança da mentalidade dos profissionais, permite um trabalho integrado, colaborativo e com livre compartilhamento de informações entre os *stakeholders*. Em relação à tecnologia, observa-se os agrupamentos dos fatores que relacionam custo para aquisição de *softwares*, *hardware* e licenças, a comunicação das ferramentas baseadas em BIM com os demais sistemas da indústria e o suporte ágil dos desenvolvedores dos *softwares* para solução dos problemas. Nesse sentido, tem-se a importância de um planejamento eficiente do processo de implementação do BIM para

abordar todos esses pontos, mitigando as barreiras. Por fim, constatou-se que a inter-relação entre os dois componentes é mínima, evidenciando independência dos dois grupos de FCS.

Como limitações, a pesquisa realizada por este trabalho foi conduzida com apenas nove empresas associadas a ABCIC. Elas estão, em sua maioria, localizadas nas regiões Sul e Sudeste, possuem tamanho e área de atuação semelhantes, podendo restringir os resultados por questões culturais e especificidades, limitando a generalização deste trabalho para o contexto brasileiro do setor de PMC, impedindo, portanto, uma extrapolação dos resultados para o contexto brasileiro. Fazendo necessário, para tal, uma amostra muito superior e que abranja empresas fora da associação para uma análise sistemática do setor. No entanto, as empresas associadas da ABCIC representam em torno de 80% do volume de concreto utilizado para pré-fabricação de elementos. Assim, apesar do baixo número de participantes, a pesquisa possui relevância quanto à representatividade do setor em relação ao volume produzido.

As análises estatísticas contaram com poucas observações, influenciando diretamente nos resultados obtidos, inviabilizando a confiabilidade estatística desse estudo. Contudo, este trabalho torna-se um ensaio para um estudo posterior com uma amostra adequada à análise estatística. No mais, este trabalho analisou os FCS por meio de correlações lineares, podendo possuir correlações não-lineares não identificadas. No mais, ressalta-se que o planejamento da implementação deve contemplar características individuais da empresa, portanto, as barreiras devem ser analisadas de forma a verificar a adequação à realidade.

Por fim, este trabalho não abordou os escritórios de projetos externos às empresas do setor, focando apenas nos escritórios internos de projetos. Esse fato torna-se relevante ao se expandir o estudo para o contexto do setor local pois as empresas menores fazem o uso de escritórios externos para os seus projetos, em especial, para modelagem BIM.

Como recomendações de trabalhos futuros, em especial, o pesquisador sugere a utilização desse estudo como ensaio para outra pesquisa mais aprofundada que consiga abranger número maior de empresas, garantindo confiabilidade estatística de modo a extrapolar os resultados para um panorama do setor no Brasil. Além disso, sugere-se uma análise aprofundada no planejamento e aplicação dos planos estratégicos para implementação do BIM em empresas do setor de PMC no Brasil, uma vez que foi observada negligência nesse ponto. Observou-se grande importância com a comunicação dos *softwares* BIM com os *softwares* utilizados pela empresa, em especial, o sistema de gestão de controle da produção. Portanto, indica-se o aprofundamento nesse tópico trazendo o contexto brasileiro para análise.

Além da interoperabilidade, faz-se necessária a análise da aplicação prática dos modelos BIM para simulação dos processos no contexto brasileiro, levando em consideração compartilhamento de dados no setor de pré-moldados de concreto e questões de segredos

industriais, muito comum nesse setor. Por fim, sugere-se a avaliação prática de sua integração com tecnologias emergentes observadas na revisão de literatura, como: IoT, RFID e *laser scan*.

Referências

ABANDA, F. H.; TAH, J. H. M.; CHEUNG, F. K. T. BIM in off-site manufacturing for buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 14, p. 89-102, 2017.

ABDI. **Processo de projeto BIM**: Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC / Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. V. 1; Brasília, DF: ABDI, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 12006-2**: Construção de edificação—Organização de informação da construção-Parte 2: Estrutura para classificação de informação. Rio de Janeiro, Brasil, 2010

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**. Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado; Rio de Janeiro, 2017.

ABUBAKAR, M.; IBRAHIM, M.; KADO, D.; BALA, K. Contractors' perception of the factors affecting Building Information Modelling (BIM) adoption in the Nigerian Construction Industry. **Computing in civil and building engineering**, p. 167-178, 2014.

AGHA, S. V. H.; AHMADVAND, M.; EGHBALI, H. BIM Technology Usage in Intelligent Management of Precast Concrete Structures, 2020.

ALBUQUERQUE, A. T.; EL DEBS, M. K. Levantamento dos sistemas estruturais em concreto pré-moldado para edifícios no Brasil. In: Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado, 1, 2005, São Carlos/São Paulo. **Anais 1º ENPPCPM**. São Carlos: SET/EESC, 2005.

AWWAD, K. A.; SHIBANI, A.; GHOSTIN, M. Exploring the critical success factors influencing BIM level 2 implementation in the UK construction industry: the case of SMEs. **International Journal of Construction Management**, v. 3599, 2020. Taylor & Francis.

BABATUNDE, S. O.; PERERA, S.; EKUNDAYO, D.; ADELEKE, D. S. An investigation into BIM uptake among contracting firms: an empirical study in Nigeria. **Journal of Financial Management of Property and Construction**, 2020.

BABIC, C.; PODBREZNIK, P. Integrating resource production and construction using BIM, **Automation in Construction**, p. 539–543, 2010.

BADRINATH, A.; HSIEH, S. Empirical Approach to Identify Operational Critical Success Factors for BIM Projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 145, n. 3, p. 04018140, 2019.

BEN MAHMOUD, B.; LEHOUX, N.; BLANCHET, P. Best practices for implementing building information modeling in the prefabrication sector. Interconnected Supply Chains in an Era of Innovation - **Proceedings of the 8th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain**, ILS 2020, p. 284–291, 2020.

BEN MAHMOUD, B.; LEHOUX, N.; BLANCHET, P.; CLOUTIER, C. Barriers, Strategies, and Best Practices for BIM Adoption in Quebec Prefabrication Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs). **Buildings**, v. 12, n. 4, p. 390, 2022.

BIM EXCELLENCE. BIM Dictionary. Disponível em: <https://bimdictionary.com/>. Acesso em: 01 dezembro 2022.

BORTOLINI, R.; SHIGAKI, J. S.; FORMOSO, C. T. Site logistics planning and control using 4D modeling: a study in a lean car factory building site. In: 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. **Anais: ...**. Perth, Australia, 2015. p. 361-370.

BRITO, D. M. de. **Fatores Críticos de Sucesso para Implantação de Building Information Modelling (BIM) por Organizações Públicas**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019.

BRITO, D.; FERREIRA, E.; COSTA, D. Framework for building information modeling adoption based on critical success factors from Brazilian public organizations. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 147, n. 7, p. 05021004, 2021.

DAKHIL, A.; UNDERWOOD, J.; AL SHAWI, M. Critical Success Competencies for the BIM Implementation Process: UK Construction Clients. **Journal of Information Technology in Construction**, Vol. 24, 2019.

DALMORO, M.; VIEIRA, K. Dilemas na construção de escalas Tipo Likert: o número de itens e a disposição influenciam nos resultados?. **Revista gestão organizacional**, v. 6, n. 3, 2013.

DAO, V.; LANGELLA, I.; CARBO, J. From green to sustainability: Information Technology and an integrated sustainability framework. **The Journal of Strategic Information Systems**, v. 20, n. 1, p. 63-79, 2011.

CAREZZATO, G. G. **Protocolo de gerenciamento BIM nas fases de contratação, projeto e obra em empreendimentos civis baseados na iso 19650**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

CALETANI, W. **Implementação do BIM para construtoras e incorporadoras: parte 1 – fundamentos BIM**. Brasília, DF. CBIC - Câmara Brasileira da Construção Industrializada, 2016.

CHAN, C. Barriers of implementing BIM in construction industry from the designers' perspective: a Hong Kong experience, **Journal of System and Management Sciences**, Vol. 4 No. 2, pp. 24-40, 2014.

CHAN, D.; OLAWUMI, T.; HO, A. Perceived benefits of and barriers to Building Information Modelling (BIM) implementation in construction: The case of Hong Kong. **Journal of Building Engineering**. 2019.

CHEN, Y.; YIN, Y.; BROWNE, G. J.; LI, D. Adoption of building information modeling in Chinese construction industry: The technology-organization-environment framework. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 26, n. 9, p. 1878–1898, 2019.

CRONBACH, L. Coefficient alpha and the internal structure of tests, **Psychometrika**, Vol. 16 No. 3, pp. 297-334, 1951.

DAO, T. N.; CHEN, P. H.; NGUYEN, T. Q. Critical Success Factors and a Contractual Framework for Construction Projects Adopting Building Information Modeling in Vietnam. **International Journal of Civil Engineering**, v. 19, n. 1, p. 85–102, 2021.

DAVIS, F. D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. **MIS quarterly**, p. 319-340, 1989.

DONIAK, J. L. O.; FILIPPI, G. Selo de Excelência ABCIC: compromisso com a construção sustentável. **Revista Concreto e Construções**, São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto–IBRACON, n. 59, 2010.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Bookman Editora, 2015.

EASTMAN, C. M.; SACKS, R. Relative productivity in the AEC industries in the United States for on-site and off-site activities. **Journal of construction engineering and management**, v. 134, n. 7, p. 517-526, 2008.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **Manual de BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Porto Alegre: Bookman, 2011.

EL DEBS, L. C.; FERREIRA, S. L. Diretrizes para processo de projeto de fachadas com painéis pré-fabricados de concreto em ambiente BIM. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 2, p. 41-60, 2014.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. Oficina de Textos. São Paulo, 2017.

EVANS, M.; FARREL, P.; MASHALI, A.; ZEWEIN, W. Critical success factors for adopting building information modelling (BIM) and lean construction practices on construction mega-projects: a Delphi survey. **Journal of Engineering, Design and Technology**. 2020.

FERREIRA, M. A. **Análise e comportamento de estruturas em concreto pré-moldado**, 2018. Notas de aula (Slide).

FIELD, A.; MILES, J.; FIELD, Z. Discovering statistics using R. **Sage Publications**, 2012.

FIGUEIREDO FILHO, D.; SILVA JÚNIOR, J.. Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. **Opinião pública**, v. 16, p. 160-185, 2010.

GASPERIN, T. **Características de aceitação e uso da TI na indústria da construção civil: Estuo nos municípios de Pato Branco e Francisco Beltrão**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019.

GBADAMOSI, A. Q.; OYEDELE, L.; MAHAMADU, A. M.; *et al.* Big data for Design Options Repository: Towards a DFMA approach for offsite construction. **Automation in Construction**, v. 120, n. August, p. 103388, 2020.

GONG, C.; XU, H.; XIONG, F.; ZUO, J.; DONG, N. Factors impacting BIM application in prefabricated buildings in China with DEMATEL-ISM. **Construction Innovation**, v. 23, n. 1, p. 19-37, 2023.

HAIR, J. F. *et al.* **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: **Bookman**, 2005. 593 p.

HE, R.; LI, M.; GAN, V. J. L.; MA, J. BIM-enabled computerized design and digital fabrication of industrialized buildings: A case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, p. 123505, 2021.

HONG, J.; SHEN, G. Q.; MAO, C.; LI, Z.; LI, K. Life-cycle energy analysis of prefabricated building components: an input–output-based hybrid model. **Journal of cleaner production**, v. 112, p. 2198-2207, 2016.

HWANG, B.; SHAN, M.; LOOI, K. Key constraints and mitigation strategies for prefabricated prefinished volumetric construction. **Journal of Cleaner Production**, v. 183, p. 183-193, 2018.

HYVARY I. **Project management effectiveness in different organizational conditions**. 2006. Tese (Doutorado). Helsinki School of Economics, ACTA Universitatis Oeconomicae Helsingiensis, Finlandia, 2006.

ISMAIL, Z. Improving conventional method on precast concrete building maintenance: towards BIM. **Industrial management & data system**, Vol. 117 No. 7, pp. 1485-1502, 2017.

JAILLON, L.; POON, C. Sustainable construction aspects of using prefabrication in dense urban environment: a Hong Kong case study. **Construction management and Economics**, v. 26, n. 9, p. 953-966, 2008.

JEONG, Y. S., EASTMAN, C. M., SACKS, R., & KANER, I. Benchmark tests for BIM data exchanges of precast concrete. **Automation in construction**, v. 18, n. 4, p. 469-484, 2009.

JI, Y.; LI, K.; LIU, G.; SHRESTHA, A.; JING, J. Comparing greenhouse gas emissions of precast in-situ and conventional construction methods. **Journal of Cleaner Production**, v. 173, p. 124-134, 2018.

JI, Y.; CHANG, S.; QI, Y.; *et al.* A BIM-Based Study on the Comprehensive Benefit Analysis for Prefabricated Building Projects in China. **Advances in Civil Engineering**, v. 2019, 2019.

KANAI, J. Método para fluxo do processo de painéis pré-fabricados baseado em KanBIM. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade de Campinas, Campinas, 2019.

KASSEM, M.; SUCCAR, B. Macro BIM adoption: Comparative market analysis. **Automation in Construction**, v. 81, p. 286-299, 2017.

KHABA, S.; BHAR, C. Modeling the key barriers to lean construction using interpretive structural modeling. **Journal of Modelling in Management**, 2017.

KIM, M. K., WANG, Q., PARK, J. W., CHENG, J. C., Sohn, H., Chang, C. C. Automated dimensional quality assurance of full-scale precast concrete elements using laser scanning and BIM. **Automation in Construction**, v. 72, p. 102-114, 2016.

KNIGHT, A; RUDDOCK, L. **ADVANCED RESEARCH METHODS IN THE BUILT ENVIRONMENT**. JOHN WILEY & SONS, WEST SUSSEX, UK, 2008

KONG, L.; LI, H.; LUO, H.; DING, L.; ZHANG, X. Sustainable performance of just-in-time (JIT) management in time-dependent batch delivery scheduling of precast construction. **Journal of Cleaner Production**, v. 193, p. 684-701, 2018.

KORDESTANI GHALENOEI, N.; BABAEIAN JELODAR, M.; PAES, D.; SUTRISNA, M. Challenges of offsite construction and BIM implementation: providing a framework for integration in New Zealand. **Smart and Sustainable Built Environment**, 2022.

LEOPOLDSEDER, T.; SCHACHINGER, S. Building Information Modelling (BIM) and *Software* for the Design and Detailing of Precast Structures. In: ELLIOTT, Kim S.; HAMID, Zuhairi Abd

(Ed.). **Modernisation, Mechanisation and Industrialisation of Concrete Structures**. John Wiley & Sons, 2017.

LI, C. Z.; HONG, J.; XUE, F.; SHEN, G. Q.; XU, X.; LUO, L. SWOT analysis and Internet of Things-enabled platform for prefabrication housing production in Hong Kong. **Habitat International**, v. 57, p. 74-87, 2016.

LIAO, L.; TEO, E. A. L. Critical Success Factors for enhancing the Building Information Modelling implementation in building projects in Singapore. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 23, n. 8, p. 1029–1044, 2017.

LIAO, L.; TEO, E. A. L.; CHANG, R. Reducing critical hindrances to building information modeling implementation: The case of the Singapore construction industry. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 9, n. 18, 2019.

LIU, G.; NZIGE, J.; LI, K. Trending topics and themes in offsite construction (OSC) research: The application of topic modelling. **Construction innovation**, 2019.

LU, W., CHEN, K., XUE, F., PAN, W. Searching for an optimal level of prefabrication in construction: an analytical framework. **Journal of Cleaner Production**. 201, 236e245, 2018.

LU, N.; KORMAN, T. Implementation of building information modeling (BIM) in modular construction: Benefits and challenges. In: **Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice**. p. 1136-1145, 2010.

MA, G.; JIA, J.; DING, J.; SHANG, S.; JIANG, S.; Interpretive structural model based factor analysis of BIM adoption in Chinese construction organizations. **Sustainability**, v. 11, n. 7, p. 1982, 2019.

MA, X.; DARKO, A.; CHAN, A. P. C.; WANG, R.; ZHANG, B. An empirical analysis of barriers to building information modelling (BIM) implementation in construction projects: evidence from the Chinese context. **International Journal of Construction Management**, v. 0, n. 0, p. 1–9, 2020a.

MA, X.; CHAN, A. P. C.; LI, Y.; ZHANG, B.; XIONG, F. Critical Strategies for Enhancing BIM Implementation in AEC Projects: Perspectives from Chinese Practitioners. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 146, n. 2, p. 05019019, 2020b.

MATOS, D.; RODRIGUES, E. Análise fatorial. Brasília: **ENAP**. 2019.

MELO, A; MENDES, J. **Fatores críticos de sucesso na implementação do BIM em escritórios de projetos no Brasil**. 2021. Monografia (Especialização em Gestão de Projetos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2021.

MOHAN, N.; GROSS, R.; MENZEL, K.; THEIS, F. Opportunities and challenges in the implementation of building information modeling for prefabrication of heating, ventilation and air condition systems in small and medium-sized contracting companies in Germany: a case study. **WIT Transactions on The Built Environment**, v. 205, p. 117-126, 2021.

MOSTAFA, S.; KIM, K.; RAHNAMAYIEZEKAVAT, P. Building information modelling within the Australian prefabrication: Findings of opportunities and barriers. **Proceedings of 22nd International Conference on Advancement of Construction Management and Real Estate**, CRIOCM 2017, p. 975–982, 2017.

MOSTAFA, S.; KIM, K.; TAM, V.; RAHNAMAYIEZEKAVAT, P.; Exploring the status, benefits, barriers and opportunities of using BIM for advancing prefabrication practice. **International Journal of Construction Management**, v. 20, n. 2, p. 146-156, 2018.

OLANREWAJU, O. I.; CHILESHE, N.; BABARINDE, S. A.; SANDANAYAKE, M. Investigating the barriers to building information modeling (BIM) implementation within the Nigerian construction industry. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 27, n. 10, p. 2931–2958, 2020.

OZORHON, B.; KARAHAN, U. Critical Success Factors of Building Information Modeling Implementation. **Journal of Management in Engineering**, v. 33, n. 3, p. 04016054, 2017.

PHANG, T. C. H.; CHEN, C.; TIONG, R. L. K. New Model for Identifying Critical Success Factors Influencing BIM Adoption from Precast Concrete Manufacturers' View. **Journal of Construction Engineering and Management**. v. 146, n. 4, 2020.

POIRIER, E.; STAUB-FRENCH, S.; FORGUES, D. Measuring the impact of BIM on labor productivity in a small specialty contracting enterprise through action-research. **Automation in construction**, 58, 74-84, 2015.

QI, B.; RAZKENARI, M.; LI, J.; COSTIN, A.; KIBERT, C.; QIAN, S. Investigating us industry practitioners' perspectives towards the adoption of emerging technologies in industrialized construction. **Buildings**, 10(5), 85, 2020.

QI, B.; RAZKENARI, M.; LI, J.; COSTIN, A.; KIBERT, C.; FU, M. A systematic review of emerging technologies in industrialized construction. *Journal of building engineering*, v. 39, p. 102265, 2021.

QIN, H. Building information modelling implementation in prefabricated building research field and barriers analysis. In: **International Conference on Smart Transportation and City Engineering 2021**. SPIE, 2021. p. 86-89.

RAZKENARI, M.; FENNER, A.; SHOJAEI, A.; HAKIM, H.; KIBERT, C. Perceptions of offsite construction in the United States: An investigation of current practices. **Journal of Building Engineering**, v. 29, n. April 2019, p. 101138, 2020.

ROGERS, E. M. **Diffusion of innovations**. Free Press, Glencoe, 1962.

RUSSO, R. de F. S. M.; SILVA, L. F. Critérios de sucesso e fatores de sucesso: é crítico distinguir o significado de ambos. **Revista de Gestão e Projetos**. Vol. 10, n. 2, 2019.

SACKS, R.; KOSKELA, L.; DAVE, B. A.; OWEN, R. Interaction of lean and building information modeling in construction. **Journal of construction engineering and management**, 136(9), 968-980, 2010.

SACKS, R.; GUREVICH, U.; SHRESTHA, P. A review of building information modeling protocols, guides and standards for large construction clients. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, [s. l.], v. 21, p. 479-503, 2016.

SAGE, A. P.; **Interpretive Structural Modeling: Methodology for Large-scale Systems**. McGraw-Hill, New York, 1977.

SAKA, A. B.; CHAN, D. W. M. Profound barriers to building information modelling (BIM) adoption in construction small and medium-sized enterprises (SMEs): An interpretive structural modelling approach. **Construction Innovation**, v. 20, n. 2, p. 261–284, 2020.

SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. A.; PIGOZZO, B. N. Evolução dos pré-fabricados de Concreto. In: Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado, 1, 2005, São Carlos/São Paulo. **Anais 1º ENPPPCPM**. São Carlos: SET/EESC, 2005.

SHARIF, M.; CHUO, S.; HAAS, C. Rapid 3D Quality Control in Prefabrication Using a 3D Digital-Templates Framework. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 148, n. 11, p. 04022117, 2022.

SHEN, Y.; XU, M.; LIN, Y.; CUI, C.; SHI, X.; LIU, Y. Safety risk management of prefabricated building construction based on ontology technology in the BIM environment. **Buildings**, v. 12, n. 6, p. 765, 2022.

SINOH, S. S.; OTHMAN, F.; IBRAHIM, Z. Critical success factors for BIM implementation: a Malaysian case study. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 27, n. 9, p. 2737–2765, 2020.

SOHANI, N.; SOHANI, N. Developing interpretive structural model for quality framework in higher education: Indian context. **Journal of Engineering, Science & Management Education**, v. 5, n. 2, p. 495-501, 2012.

SON, R.; HAN, K.. Automated Model-Based 3D Scan Planning for Prefabricated Building Components. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 37, n. 2, p. 04022058, 2023.

SPADETO, T. F. **Industrialização na construção civil: uma contribuição à política de utilização de estruturas pré-fabricadas em concreto**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in construction**, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009.

SUN, Y.; WANG, J.; WU, J.; *et al.* Constraints hindering the development of high-rise modular buildings. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 10, n. 20, p. 1–20, 2020.

TAM, V.; TAM, C.; ZENG, S.; NG, W. Towards adoption of prefabrication in construction. **Building Environment**. 42 (10), 3642e3654, 2009

TAN, T.; CHEN; K.; XUE, F.; LU, W. Barriers to Building Information Modeling (BIM) implementation in China's prefabricated construction: An interpretive structural modeling (ISM) approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 219, p. 949-959, 2019.

TAVAKOL, M; DENNICK, R. Making sense of Cronbach's alpha. **International Journal of Medical Education**, Vol. 2, pp. 53-55.

TERRY, L.; KELLEY, K. Sample size planning for composite reliability coefficients: Accuracy in parameter estimation via narrow confidence intervals. **British Journal of Mathematical and Statistical Psychology**, v. 65, n. 3, p. 371–401, 2012.

TILLMANN, P. A. *et al.* Bim and Lean in the Design - Production Interface of ETO. **23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction**, n. July, 2015.

TSAI, M.; MOM, M.; HSIEH, S. Developing critical success factors for the assessment of BIM technology adoption: part I. Methodology and survey. **Journal of the Chinese Institute of Engineers**, v. 37, n. 7, p. 845-858, 2014.

VAN ACKER, A. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. Traduzido por Marcelo de Araújo Ferreira. São Paulo, SP: Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto, 2002.

VAN AKEN, J. E.; BERENDS, Hans; VAN DER BIJ, HANS. **Problem Solving in Organizations**. Cambridge university press, ed. 2, 2012.

VENKATESH, V.; MORRIS, M.; DAVIS, G.; DAVIS, F. User acceptance of information technology: Toward a unified view. **MIS quarterly**, 425-478, 2003.

VERNIKOS, V. K.; GOODIER, C. I.; BROYD, T. W.; ROBERY, P. C.; GIBB, A. G. Building information modelling and its effect on off-site construction in UK civil engineering. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Management, Procurement and Law**, v. 167, n. 3, p. 152-159, 2014.

WANG, Y.; YUAN, Z.; SUN, C. Research on Assembly Sequence Planning and Optimization of Precast Concrete Buildings. **Journal of Civil Engineering and Management**, v.24, 2018.

WON, J.; LEE, G.; DOSSICK, C.; MESSNER, J. Where to focus for successful adoption of building information modeling within organization. **Journal of construction engineering and management**, v. 139, n. 11, p. 04013014, 2013.

WU, P.; JIN, R.; XU, Y.; LIN, F.; DONG, Y.; PAN, Z. The analysis of barriers to bim implementation for industrialized building construction: A China study. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 27, n. 1, p. 1–13, 2021.

XU, H.; CHANG, R.; DONG, N.; ZUO, J.; WEBBER, R. Interaction mechanism of BIM application barriers in prefabricated construction and driving strategies from stakeholders' perspectives. *Ain Shams Engineering Journal*, v. 14, n. 1, p. 101821, 2022.

YADAV, D. K.; BARVE, A. Analysis of critical success factors of humanitarian supply chain: An application of Interpretive Structural Modeling. **International journal of disaster risk reduction**, v. 12, p. 213-225, 2015.

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, 2018.

YAO, Y.; QIN, H.; WANG, J. Barriers of 5D BIM implementation in prefabrication construction of buildings. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 580, n. 1, 2020.

YIN, X.; LIU, H.; CHEN, Y.; AL-HUSSEIN, M.; Building information modelling for off-site construction: review and future directions. **Automation in Construction**, v. 101, p. 72-91, 2019.

YUKSEL, E.; KARANDOGAN, F.; BAL, E.; ILKI, A.; BAL, A.; INCI, P. Seismic behavior of two exterior beam–column connections made of normal-strength concrete developed for precast construction. **Engineering Structures**, v. 99, p. 157-172, 2015.

ZHAI, Y. CHEN, K.; ZHOU, J. X. An Internet of Things-enabled BIM platform for modular integrated construction: A case study in Hong Kong. **Advanced Engineering Informatics**, v. 42, n. September, p. 100997, 2019.

ZHANG, W.; LEE, M. W.; JAILLON, L.; POON, C. S. The hindrance to using prefabrication in Hong Kong's building industry. **Journal of cleaner production**, v. 204, p. 70-81, 2018.

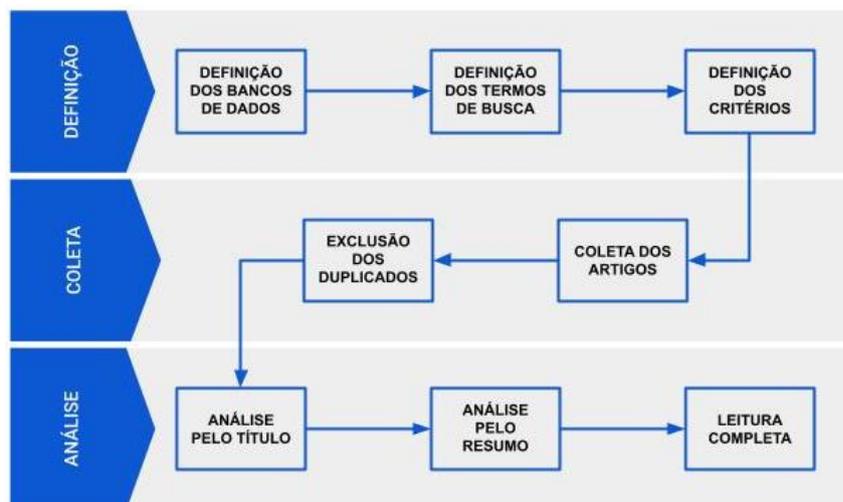
ZHANG, J.; LONG, Y.; LV, S.; LV, S.; XIANG, Y.; BIM-enabled modular and industrialized construction in China. **Procedia engineering**, v. 145, p. 1456-1461, 2016.

ZHANG, S.; LI, Z.; LI, T.; YUAN, M. A holistic literature review of building information modeling for prefabricated construction. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 27, n. 7, p. 485-499, 2021.

APÊNDICE A – Revisão Sistemática de Literatura

A revisão sistemática de literatura (RSL) apresenta-se como uma ferramenta prática e eficiente para assegurar aos pesquisadores acesso ao conhecimento produzido previamente sobre o assunto estudado (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR.; 2015). Assim sendo, este trabalho realizou uma RSL abordando os desafios e barreiras envolvidas no processo de implementação do *Building Information Modeling* (BIM) pelo setor de pré-moldado de concreto (PMC). Seguindo o método para RSL proposto por Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015), o protocolo de pesquisa é apresentado na Figura A.1.

Figura A.1 - Esquema da Revisão Sistemática da Literatura



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como primeiro passo da revisão, tem-se a definição dos bancos de dados a ser utilizados. Essas bases precisam ser reconhecidas na comunidade acadêmica para, deste modo, fornecer confiabilidade aos documentos analisados. Nesse sentido, a busca dos artigos foi realizada nas bases *Scopus*, *Web of Science* e *Engineering Village*, devido ao seu recorrente uso por trabalho da área de gestão da construção. Além disso, os bancos foram acessados por meio do Portal de Periódicos da CAPES (CAF-e).

Posteriormente, de modo a abranger todos os assuntos abordados neste trabalho, definiu-se que o termo de busca, para os três bancos, seria: (bim OR "building information model*") AND ("barrier*" OR "hindrance*" OR "challenge*" OR "critical success factor*") AND (precast OR prefabrication OR prefabricated OR "offsite construction" OR "off-site construction"). Como critérios de inclusão, foram aceitos artigos completos publicados em

periódicos ou anais de congresso, não havendo restrição de datas. A Tabela A.0.1 apresenta o total de documentos identificados em cada banco de dados.

Tabela A.0.1 - Quantidade artigos por base

Base	Nº de artigos
Scopus	91
Web of Science	82
Engineering Village	12
Total	185

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os artigos foram coletados com o auxílio do *software* Mendley® e Microsoft Excel®, permitindo uma melhor gestão dos artigos e a identificação dos duplicados. Após exclusão desses, totalizou-se 76 artigos sem duplicata para análise. De forma inicial, os artigos foram analisados pelo título, descartando aqueles que divergem do tema abordado por este trabalho. Posteriormente, os aprovados tiveram o resumo e conclusão lidos, excluindo aqueles que não apontavam barreiras à implementação do BIM. Assim sendo, entendeu que 20 publicações eram pertinentes para análise sistemática. No **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e esses artigos são apresentados.

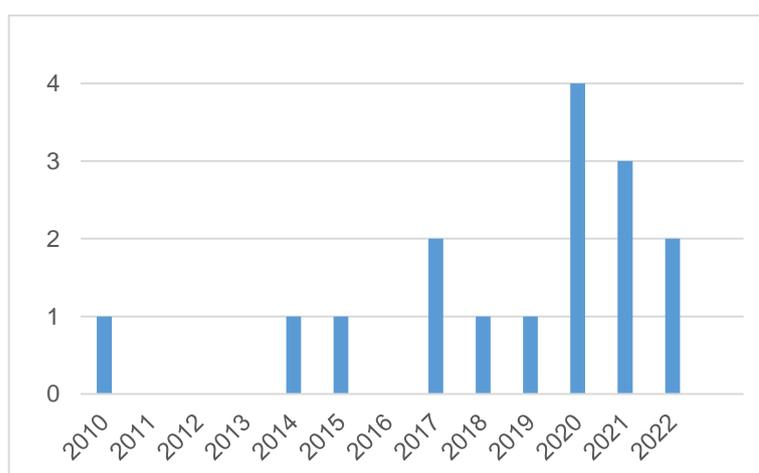
Ano	Autores	Título
2010	Lu e Korman	Implementation of Building Information Modeling (BIM) in Modular Construction: Benefits and challenges
2014	Vernikos <i>et al.</i>	Building information modelling and its effect on off-site construction in UK civil engineering
2015	Tillmann <i>et al.</i>	BIM and Lean in the design-production interface of ETO components in complex projects
2017	Mostafa, Kim e Rahnamayezekavat	Building information modelling within the Australian prefabrication: Findings of opportunities and barriers
2017	Abanda, Tah e Cheung	BIM in off-site manufacturing for buildings
2018	Mostafa <i>et al.</i>	Exploring the status, benefits, barriers and opportunities of using BIM for advancing prefabrication practice
2019	Tan <i>et al.</i>	Barriers to Building Information Modeling (BIM) implementation in China's prefabricated construction: An interpretive structural modeling (ISM) approach
2020	Gbadamosi <i>et al.</i>	Big data for design options repository: Towards a DFMA approach for offsite construction
2020	Phang, Chen e Tiong	New model for identifying critical success factors influencing BIM adoption from precast concrete manufacturers' view

2020	Yao, Qin e Wang	Barriers of 5D BIM implementation in prefabrication construction of buildings
2020	Ben Mahmoud, Lehoux e Blanchet	Best practices for implementing building information modeling in the prefabrication sector
2021	Wu <i>et al.</i>	The analysis of barriers to BIM implementation for industrialized building construction: A China study
2021	He <i>et al.</i>	BIM-enabled computerized design and digital fabrication of industrialized buildings: A case study
2021	Quin	Building information modelling implementation in prefabricated building research field and barriers analysis
2022	Ghaleonoei <i>et al.</i>	Challenges of offsite construction and BIM implementation: providing a framework for integration in New Zealand
2022	Xu <i>et al.</i>	Interaction mechanism of BIM application barriers in prefabricated construction and driving strategies from stakeholders' perspectives

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Percebe-se que alguns trabalhos possuem o objetivo de analisar as barreiras do processo de implementação, como Tan *et al.* (2019), Yao, Quin e Wang (2020), Phang, Chen e Tiong (2020), e Wu *et al.* (2021). Outros apontam desafios ao processo por meio da aplicação prática do BIM, como Tillmann *et al.* (2015), Gbadamosi *et al.* (2020) e He *et al.* (2021) e Mohan *et al.* (2022). Outros fazem uma revisão bibliográfica como Mostafa *et al.* (2018) e Zhang *et al.* (2021). A relação de publicações por ano é mostrada na Figura A.2.

Figura A.2 - Publicações por ano



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao analisar a distribuição das publicações ao longo dos anos, observa-se a inexistência de uma tendência. Encontra-se uma grande lacuna entre 2011 e 2013 e uma tendência de crescimento em 2020 e 2021, com quase metade das publicações, demonstrando que o interesse pelo assunto se encontra em crescimento. No entanto, é

importante ressaltar que foram escolhidos artigos que abordam o tema, restringindo, dessa forma, o número de publicações. Continuando a revisão, analisou-se o número de citações de cada artigo apresentado na base de dados Scopus e o valor do *SCImago Journal Rank* (SJR) dos periódicos, ambos foram coletados na base de dados Scopus e estão apresentados na Tabela A.0.2.

Tabela A.0.2 - Informações dos artigos

Artigo	Nº de Citações	Publicação	SJR (2021)
Lu e Korman (2010)	52	Construction Research Congress	-
Vernikos <i>et al.</i> (2014)	14	Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Management, Procurement and Law	0,309
Tillmann <i>et al.</i> (2015)	7	23th Conference of the International Group for Lean Construction	-
Abanda, Tah e Cheung (2017)	49	Journal of Building Engineering	1,164
Mostafa, Kim e Rahnamayiezekavat (2017)	0	22nd International Conference on Advancement of Construction Management and Real Estate	-
Mostafa <i>et al.</i> (2018)	15	International Journal of Construction Management	0,719
Tan <i>et al.</i> (2019)	47	Journal of Cleaner Production	1,921
Ben Mahmoud, Lehoux e Blanchet (2020)	0	International Conference on Information Systems, Logistics e Supply Chain	-
Yao, Qin e Wang (2020)	0	2nd International Conference on Civil, Architecture and Urban Engineering	-
Phang, Chen e Tiong (2020)	1	Journal of Construction Engineering Management	1,070
Gbadamosi <i>et al.</i> (2020)	0	Automation in Construction	2,401
He <i>et al.</i> (2021)	1	Journal of Cleaner Production	1,921
Wu <i>et al.</i> (2021)	0	Journal of Civil Engineering Management	0,543
Quin (2021)	6	International Conference on Smart Transportation and City Engineering 2021	-
Ghaleonoei <i>et al.</i> (2022)	0	Smart and Sustainable Built Environment	0,465
Xu <i>et al.</i> (2022)	1	Ain Shams Engineering Journal	0,680

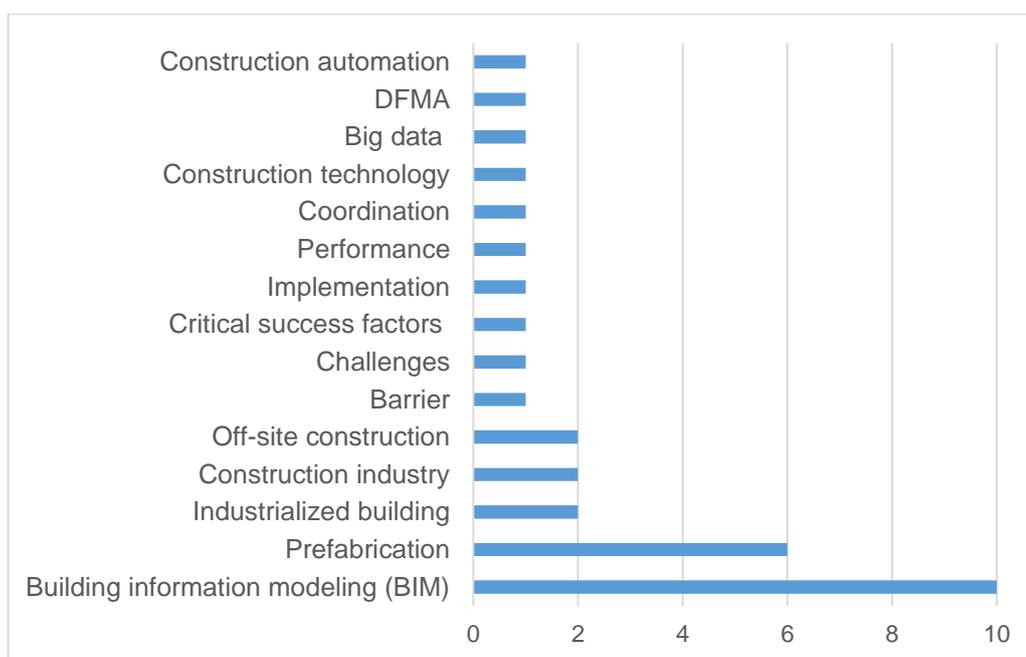
Fonte: Elaborado pelo autor

Ao analisar o número de citações, cabe destacar os artigos Lu e Korman (2010), Abanda, Tah e Cheung (2017) e Tan *et al.* (2019) com 52, 49 e 47 citações, respectivamente. O primeiro, resalta-se pelo pioneirismo na análise do processo de implementação do BIM em

construções modulares. Abanda, Tah e Cheung (2017) realizaram uma robusta revisão de literatura sobre os benefícios e dificuldades da implantação do BIM para construções *off-site*. Tan *et al.* (2019) analisaram as barreiras em relação ao mercado chinês, por meio da aplicação de questionário, análise estatística de interrelações e hierarquização dos fatores. Por esses motivos, eles tornaram-se referência para área.

Além disso, observa-se que, dentre os artigos analisados, 46,15% foram publicados em 2020 e 2021 (até março). Desta forma, o baixo número de citações para eles era esperado. Em relação ao local de publicação, observa-se que 38,46% dos artigos foram publicados em congressos e, entre as publicações em periódicos, percebe-se uma variabilidade do fator de impacto dos periódicos. Destacando-se *Journal of Cleaner Production* e *Automation in Construction* com JCR de 1,886 e 1,690, respectivamente. Na Figura A.3 apresenta-se as palavras-chave utilizadas nos artigos analisados.

Figura A.3 - Palavras-chave utilizadas



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Como é possível observar, a palavra-chave mais recorrente foi o BIM, identificando que esse assunto é central na grande maioria dos artigos analisados. Em segundo lugar, destaca-se a industrialização da construção apresentada por meio de suas nomenclaturas: *prefabrication*, *industrialized building* e *offsite construction*. Posteriormente, tem-se o uso dos termos *barrier*, *challenges* e *critical success factors* que foram adotados para analisar processo de implementação do BIM. Por fim, observa-se o uso da tecnologia na indústria de pré-fabricados, entre eles: *construction tecnology*, *big data*, *DFMA* e *construction automation*.

APÊNDICE B – Questionário Aplicado na Indústria

QUESTIONÁRIO - IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NA INDÚSTRIA DE PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO

Olá, tudo bem contigo?

Chamo-me Arthur Melo, sou mestrando em Engenharia Civil pela UFSCar, sob orientação da Prof.^a Dr.^a Sheyla Serra e gostaria de iniciar agradecendo sua participação nessa pesquisa. Nosso objetivo é contribuir para a maior aplicação da modelagem BIM no setor de Pré-Moldado de Concreto (PMC) no Brasil. Antes de apresentarmos as perguntas, pedimos que você leia atentamente o Consentimento Livre e Esclarecido (CLE) e, caso concorde, assinale o item "CONCORDO COM O CLE". Esse termo garante a proteção de todos os dados e que eles serão usados somente para fins acadêmicos, sem a identificação de qualquer respondente ou empresa. Caso você ainda tenha alguma dúvida, solicito que entre em contato comigo antes de responder o questionário.

E-mail: ahvmelo@gmail.com

Whatsapp: (82) 99608-2244

Concordo com o CLE

1º Parte

A primeira etapa do questionário será composta por perguntas abertas sobre a sua formação, a empresa e a sua percepção acerca do processo de implementação da metodologia BIM. Informo novamente que nenhuma das perguntas tem o objetivo de identificar o respondente ou a empresa, somente caracterizar o setor e auxiliar a análise das respostas da 2º Parte. Além disso, reiteramos que os dados fornecidos são protegidos.

1.1 Qual o nome da empresa que você trabalha?

1.2 Em qual desses setores da empresa você trabalha atualmente?

1.3 Qual seu cargo atual na empresa?

1.4 Quanto tempo você está na empresa?

1.5 Quanto tempo de atuação você possui no setor de PMC?

1.6 Qual sua formação acadêmica

2.1 Quais as áreas de atuação da empresa?

2.2 O sistema de pré-fabricação adotado pela empresa pode ser considerado?

2.3 Quantos funcionários efetivos a empresa possui?

2.4 Como você julga o seu nível de conhecimento sobre BIM?

2.5 Em qual momento a empresa observou a necessidade de implementar o BIM? Por quê? Qual o ano que começou o processo de implementação?

2.6 Quais eram os principais objetivos da empresa com o BIM? Na sua percepção, esses objetivos iniciais foram alcançados?

2.7 Houve algum estudo prévio para implementação (observação de casos de sucesso, análise de benefícios, avaliação de *softwares*, ...)?

2.8 Quais *softwares* baseados em BIM vocês usam? Como ocorreu a escolha deles? Quais são as vantagens deles para a empresa?

2.9 Em relação à preparação para adoção do BIM, como foi o processo de treinamento dos colaboradores e aquisição de *softwares* e *hardwares*? Quais foram os principais desafios?

2.10 De forma simplificada, como é o processo de projeto de um empreendimento da empresa? A adoção do BIM alterou o processo de projeto de alguma forma? Se sim, essa mudança foi fácil de ser executada? Comente.

2.11 Qual o principal benefício do BIM para a empresa? Na sua percepção, o BIM está sendo utilizado em sua totalidade pela empresa?

2.12 Na sua percepção, o BIM tem aplicação vantajosa no seu tipo de sistema pré-fabricado (aberto, fechado e flexível)? E com os demais?

EXTRA 1 - Você tem algum ponto a mais para comentar e colaborar com a pesquisa? Fique à vontade.

2.1 Como você julga o seu nível de conhecimento sobre a metodologia BIM?

2.2 Você fez algum curso ou treinamento para trabalhar com BIM? Se sim, fale um pouco sobre ele (s)?

2.3 A empresa forneceu algum treinamento para utilização do BIM? Se sim, na sua percepção, esse treinamento foi importante?

2.4 Na sua percepção, houve mudança nos processos dentro da empresa devido à adoção do BIM? Fale um pouco sobre as mudanças mais importantes.

2.5 Na sua percepção, o processo de adoção do BIM na sua empresa foi bem-sucedido? Justifique sua resposta.

2.6 Na sua percepção, quais os principais fatores contribuíram para o sucesso/fracasso da implementação do BIM na sua empresa? Justifique.

2.7 Na sua percepção, a implementação do BIM é vantajosa para o setor de PMC? Como podemos impulsionar a adoção do BIM nesse setor?

EXTRA 2 - Você tem algum ponto a mais para comentar e colaborar com a pesquisa? Fique a vontade.

Qual a sua expectativa em relação à implementação do BIM nas empresas da sua região?

2º Parte

Chegamos a segunda e última parte do nosso questionário, contudo, ainda precisamos da sua total atenção. Nessa etapa, alguns fatores que impedem o sucesso do processo de adoção do BIM são apresentados e você deve analisá-los de forma crítica com base na sua própria experiência. Posteriormente, você deve julgar o nível de importância que o fator analisado exerce sobre a implementação do BIM por meio de uma escala de 5 pontos, onde o 1 representa TOTALMENTE INSIGNIFICANTE, e o 5 representa TOTALMENTE SIGNIFICANTE.

BARREIRAS		1	2	3	4	5
B01	Falta de profissionais com capacidade técnica e comportamental para trabalhar com BIM					
B02	Resistência ao trabalho integrado e colaborativo entre os projetistas, clientes e fábrica					
B03	Incompreensão dos benefícios do BIM por parte dos stakeholders (projetistas, alta gerência, clientes ...)					
B04	Resistência à mudança por parte dos stakeholders devido ao costume de documentos 2D					
B05	Alto custo para aquisição de <i>softwares</i> e <i>hardwares</i> , treinamento de pessoal e manutenção das licenças					
B06	Problemas de interoperabilidade na troca de informações entre <i>softwares</i> BIM					
B07	Falta de suporte técnico dos desenvolvedores dos <i>softwares</i> em tempo hábil					
B08	Ausência de ferramentas BIM bem estabelecidas para atender o setor de PMC					
B09	Falta de ligação direta entre o modelo BIM e os sistemas ERP e de produção da fábrica					
B10	Falta de liderança e compromisso da alta direção no processo de implementação					
B11	Ausência de um plano para implementação com definição de prazos, metas e responsabilidades					
B12	Incerteza dos benefícios econômicos e do retorno do investimento proporcionados pela adoção do BIM					
B13	Necessidade de contratação de consultoria em BIM para auxiliar o processo de implementação					
B14	Problemas no processo de coordenação entre disciplinas (<i>clash detection</i> e tomada de decisão)					
B15	Resistência ao compartilhamento de informações entre os projetistas					
B16	Dificuldade de adaptação dos processos baseados em documentos 2D para modelos em BIM					
B17	Ausência de fluxos de trabalho bem estabelecidos baseados em BIM para o setor de PMC					
B18	Necessidade de adequação dos modelos BIM devido à falta de informações necessárias para à produção					
B19	Ausência de políticas governamentais de incentivo à adoção do BIM no setor de PMC					
B20	Falta de padrões e normativas para orientar e fomentar a adoção do BIM no setor de PMC					
B21	Baixa pressão externa para adoção do BIM (exigência dos clientes, adoção por empresas concorrentes ...)					
B22	Ausência de padronização de contratos em BIM e respaldo jurídico (gestão de conflitos, cobertura de seguro ...)					

B23	Problemas envolvendo o direito de propriedade intelectual em relação ao modelo					
B24	Falta de estudos voltados a implementação do BIM no setor de PMC					
B25	Falta de guias e manuais voltados a adoção do BIM pelo setor de PMC					

APÊNDICE C – Estudo Piloto

Como mencionado anteriormente, espera-se que, em cada empresa a ser analisada, quatro colaboradores participem da pesquisa, sendo um respondente de cada setor: comercial, engenharia (projetos), produção (fábrica) e administrativo (direção). No caso do estudo piloto, foi possível somente a participação de um profissional da área de engenharia. A respondente é graduada e mestre em Engenharia Civil, e atua como engenheira de estruturas há 03 anos na empresa. Para análise estrutural dos elementos, utiliza-se o *software* Scia ® que realiza troca de informações com modelos por meio do *Industry Foundation Classes* (IFC), no entanto, por usar o modelo já federado, a entrevistada considera ter conhecimento intermediário na metodologia BIM. O processo de adoção do BIM na empresa iniciou-se em 2015, por meio da implementação do *software* Tekla ®, sendo ele utilizado até o momento.

No mais, a empresa adquiriu a infraestrutura necessária ao BIM e o treinamento dos colaboradores deu-se pelo próprio desenvolvedor da ferramenta. Atualmente, a empresa tem 100% de seus projetos modelados em BIM, contudo, ao trabalhar com parceiros, encontra dificuldade pela não adoção da metodologia BIM por parte deles. Além disso, a respondente considera a adoção do BIM bem sucedida na sua empresa e que os principais empecilhos estavam relacionados ao alto custo das licenças dos *softwares* e o tempo necessário para treinamento dos colaboradores. Essa percepção pode ser observada também na avaliação das barreiras. Contudo, os benefícios do BIM são percebidos pelo setor de pré-moldado de concreto (PMC), principalmente pelo maior detalhamento do projeto nas etapas iniciais, diminuindo as revisões e auxiliando a produção, corroborando com a literatura (LU; KORMAN, 2010; ABANDA; TAH; CHEUNG, 2017; BEN MAHMOUD; LEHOUX; BLANCHET, 2020).

No mais, percebeu-se que, apesar do BIM ser utilizado mais pelos setores comercial e de engenharia, a implementação trouxe modificações de processos em todos as áreas da empresa. A quantificação de peças e materiais é realizada de forma automática no modelo, alterando, por exemplo, a forma do financeiro receber os relatórios. Além disso, a entrevistada explicou que o *software* Tekla ® transmite as informações para o sistema de produção da fábrica por meio do IFC, otimizando os processos e reduzindo as perdas de informações. Por fim, a empresa ainda está criando uma biblioteca de objetos parametrizados de modo a facilitar a fase de projetos.

Em relação à avaliação das barreiras, com a nota dada pela entrevistada, calculou-se a média normalizada (MN) utilizando a Equação 1. No entanto, não se calculou o desvio padrão, variância e alfa de Cronbach uma vez que só houve um respondente. O resultado é apresentado na Tabela C.1.

Tabela C.1 - Cálculo da média normalizada

Código	Média	Média Normalizada	Código	Média	Média Normalizada
B01	4,0	0,75	B14	3,0	0,50
B02	2,0	0,25	B15	3,0	0,50
B03	3,0	0,50	B16	3,0	0,50
B04	2,0	0,25	B17	3,0	0,50
B05	5,0	1,00	B18	4,0	0,75
B06	2,0	0,25	B19	2,0	0,25
B07	2,0	0,25	B20	3,0	0,50
B08	1,0	0,00	B21	3,0	0,50
B09	2,0	0,25	B22	3,0	0,50
B10	3,0	0,50	B23	2,0	0,25
B11	3,0	0,50	B24	2,0	0,25
B12	5,0	1,00	B25	2,0	0,25
B13	4,0	0,75			

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com o método de pesquisa, as barreiras com média normalizada maior ou igual a 0,5 foram classificadas como Fator Crítico de Sucesso (FCS). Portanto, das 25 barreiras analisadas, considerou-se 15 como FCS, eles estão apresentados na Tabela C.2. Ao analisá-los, observa-se que todas as áreas do PCBIM *Hexagon* estão contempladas nos FCS: pessoas (B01 e B03), tecnologia (B05), organização (B10, B11, B12 e B13), processos (B14, B15, B16, B17 e B18) e fatores externos (B20, B21 e B22). Contudo, identifica-se que a criticidade dos fatores ligados à tecnologia foi minimizada, enquanto, as barreiras que versam sobre a organização e os processos, foram bastante pontuados pela entrevistada.

A análise desse ranqueamento passa por duas questões. A primeira deve-se ao ambiente da empresa, onde problemas relacionados à tecnologia são diminutos pela existência de um *software* já estabelecido, com mais de 5 anos de uso e que atende à demanda requerida, ao mesmo tempo, a comunicação com os outros sistemas da empresa ocorre sem problemas. O segundo ponto relaciona-se ao conhecimento intermediário da entrevistada sobre o BIM. Nesse sentido, Awwad, Shibani e Ghostin (2020) afirmam que pessoas e empresas com pouca experiência na metodologia BIM tendem maximizar a importância de aspectos relacionados ao custo inicial da adoção, a gestão da mudança e as mudanças organizacionais. Por outro lado, ao analisar empresas com mais experiência no uso do BIM, observa-se maior preocupação com questões de gestão do conhecimento e implementação de inovações tecnológicas.

Tabela C.2 - dos fatores críticos de sucesso

Nº	Média Normalizada	Rank	Código	Descrição
1	1,00	1º	B05	Alto custo para aquisição de <i>softwares</i> e <i>hardwares</i> , treinamento de pessoal e manutenção das licenças
2	1,00	1º	B12	Incerteza dos benefícios econômicos e do retorno do investimento proporcionados pela adoção do BIM
3	0,75	2º	B01	Falta de profissionais com capacidade técnica e comportamental para trabalhar com BIM
4	0,75	2º	B13	Necessidade de contratação de consultoria em BIM para auxiliar o processo de implementação
5	0,75	2º	B18	Necessidade de adequação dos modelos para o sistema de produção devido à falta de informações
6	0,50	3º	B03	Incompreensão dos benefícios do BIM por parte dos stakeholders (projetistas, alta gerência, clientes ...)
7	0,50	3º	B10	Falta de liderança e compromisso da alta direção no processo de implementação
8	0,50	3º	B11	Ausência de um plano para implementação com definição de prazos, metas e responsabilidades
9	0,50	3º	B14	Problemas no processo de coordenação entre disciplinas (<i>clash detection</i> e tomada de decisão)
10	0,50	3º	B15	Resistência ao compartilhamento de informações entre os projetistas
11	0,50	3º	B16	Dificuldade de adaptação dos processos baseados em documentos 2D para modelos em BIM
12	0,50	3º	B17	Ausência de fluxos de trabalho bem estabelecidos baseados em BIM para o setor de PMC
13	0,50	3º	B20	Falta de padrões e normativas para orientar e fomentar a adoção do BIM no setor de PMC
14	0,50	3	B21	Baixa pressão externa para adoção do BIM (exigência dos clientes, adoção por empresas concorrentes ...)
15	0,50	3	B22	Ausência de padronização de contratos em BIM e respaldo jurídico (gestão de conflitos, cobertura de seguro ...)

Fonte: elaborado pelo autor

Por fim, ao analisar o questionário como um todo, a respondente afirmou que ele se apresentou satisfatório quanto ao entendimento das perguntas e a facilidade para resposta, não havendo questões que fujam do objetivo da pesquisa ou que causem algum constrangimento à resposta. Em relação às afirmações, apenas a barreira B18 ocasionou ambiguidade no entendimento, mas que, ao ser explicada na reunião, foi avaliada. Nesse sentido, houve melhoria na descrição da referida para a versão final do questionário.

APÊNDICE D - Resultado do Questionário Piloto

QUESTIONÁRIO PILOTO - IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NA INDÚSTRIA DE PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO		
1º Parte		
<p>O questionário será dividido em duas etapas. Essa primeira será composta por perguntas abertas sobre a sua formação, a empresa e a sua percepção acerca do processo de implementação da metodologia BIM. Informo novamente que nenhuma das perguntas tem o objetivo de identificar o respondente ou a empresa, somente caracterizar o setor e auxiliar a análise das respostas da 2º Parte. Além disso, reiteramos que os dados fornecidos são protegidos.</p>		
Pergunta	Resposta	Observação
Qual a sua formação acadêmica?	Engenheira Civil com Mestrado em Estruturas	
Quanto tempo de atuação profissional você possui?	3 anos	
Quanto tempo de atuação no setor de PMC?	3 anos	
Quanto tempo você está na empresa?	3 anos	
Qual seu cargo atual na empresa?	Engenheira de Estruturas	
Qual seu nível de conhecimento na metodologia BIM (básico, intermediário, avançado)?	Intermediário	Não faço o projeto, só utilizo o modelo para realizar o cálculo estrutural
Você fez algum curso ou aperfeiçoamento para trabalhar com BIM? Se sim, qual?	Não	Quando entrei na empresa já haviam realizado o treinamento.

Qual é a área de atuação da empresa (infraestrutura, comercial, residencial ...)?	Principalmente comercial	
Qual o número de funcionários da empresa?	Mais de 400	
Quando a empresa começou a adotar o BIM em seus projetos?	2015	
A empresa forneceu algum curso ou treinamento para utilização das ferramentas BIM?	Sim	Treinamento com a própria desenvolvedora do <i>software Tekla</i> .
Houve mudança nos processos devido à adoção do BIM? Quais processos?	Sim	Processo de listagem de peças e quantitativo de materiais é automática. O processo de venda já ocorre com base no modelo BIM
Em média, qual o percentual dos projetos executados pela empresa utiliza o BIM?	100%	Algumas obras são realizadas por empresas parceiras e essas não utilizam o BIM.
Caso seja menor que 100%. Na sua percepção, o que impede desse percentual ser maior?	-	
Quais são os setores da empresa que utilizam o BIM?	Principalmente Comercial e Engenharia	Mas todos os setores usam o modelo para extração de informações. O sistema da fábrica pode ser interligado
Na sua percepção, o processo de adoção do BIM na sua empresa foi bem sucedido?	Sim.	Na verdade, ainda está em implementação, mas falta investimento de tempo pra aprender mais.
Na sua percepção, quais fatores contribuíram para esse resultado?	Investimento financeiro e de tempo, e o interesse dos funcionários	
Quais <i>softwares</i> BIM estão sendo utilizados? Na sua percepção, eles são adequados a PMC?	<i>Tekla, Scia</i> (cálculo estrutural)	
Na sua percepção, a infraestrutura (rede de internet, computadores...) está adequada ao BIM?	Sim	
Qual a sua expectativa em relação à adoção do BIM nas empresas da sua região?	Positiva, pois tende a crescer	Valor inicial é alto (licença do <i>software</i> e treinamento) é uma barreira.

2º Parte

Chegamos a segunda e última parte do nosso questionário, contudo, ainda precisamos da sua total atenção. Nessa etapa, alguns fatores que impedem o sucesso do processo de adoção do BIM são apresentados e você deve analisá-los de forma crítica com base na sua própria experiência. Posteriormente, você deve julgar o nível de importância que o fator analisado exerce sobre a implementação do BIM por meio de uma escala de 5 pontos, onde o 1 representa TOTALMENTE INSIGNIFICANTE, e o 5 representa TOTALMENTE SIGNIFICANTE.

Barreiras		1	2	3	4	5	Está afirmação está clara? (Sim ou Não)
B01	Falta de profissionais com capacidade técnica e comportamental para trabalhar com BIM				X		SIM
B02	Resistência ao trabalho integrado e colaborativo entre os projetistas, clientes e fábrica		X				SIM
B03	Incompreensão dos benefícios do BIM por parte dos stakeholders (projetistas, alta gerência, clientes ...)			X			SIM
B04	Resistência à mudança por parte dos stakeholders devido ao costume de documentos 2D		X				SIM
B05	Alto custo para aquisição de <i>softwares</i> e <i>hardwares</i> , treinamento de pessoal e manutenção das licenças					X	SIM
B06	Problemas de interoperabilidade na troca de informações entre <i>softwares</i> BIM		X				SIM
B07	Falta de suporte técnico dos desenvolvedores dos <i>softwares</i> em tempo hábil		X				SIM
B08	Ausência de ferramentas BIM bem estabelecidas para atender o setor de PMC	X					SIM
B09	Falta de ligação direta entre o modelo BIM e os sistemas ERP e de produção da fábrica		X				SIM
B10	Falta de liderança e compromisso da alta direção no processo de implementação			X			SIM
B11	Ausência de um plano para implementação com definição de prazos, metas e responsabilidades			X			SIM

B12	Incerteza dos benefícios econômicos e do retorno do investimento proporcionados pela adoção do BIM					X
B13	Necessidade de contratação de consultoria em BIM para auxiliar o processo de implementação				X	
B14	Problemas no processo de coordenação entre disciplinas (<i>clash detection</i> e tomada de decisão)			X		
B15	Resistência ao compartilhamento de informações entre os projetistas			X		
B16	Dificuldade de adaptação dos processos baseados em documentos 2D para modelos em BIM			X		
B17	Ausência de fluxos de trabalho bem estabelecidos baseados em BIM para o setor de PMC			X		
B18	Necessidade de adequação dos modelos para o sistema de produção devido à falta de informações				X	
B19	Ausência de políticas governamentais de incentivo à adoção do BIM no setor de PMC		X			
B20	Falta de padrões e normativas para orientar e fomentar a adoção do BIM no setor de PMC			X		
B21	Baixa pressão externa para adoção do BIM (exigência dos clientes, adoção por empresas concorrentes ...)			X		
B22	Ausência de padronização de contratos em BIM e respaldo jurídico (gestão de conflitos, cobertura de seguro ...)			X		
B23	Problemas envolvendo o direito de propriedade intelectual em relação ao modelo		X			
B24	Falta de estudos voltados a implementação do BIM no setor de PMC		X			
B25	Falta de guias e manuais voltados a adoção do BIM pelo setor de PMC		X			

SIM
Não compreendi muito bem.
Está clara, mas não sei opinar.
SIM

APÊNDICE E – Respostas do Questionário Aplicado

(OBS.: as perguntas foram simplificadas para visualização no quadro comparativo. Para leitura das perguntas completas, favor consultar Apêndice B)

Respondente	1.1 Empresa	1.2 Departamento de atuação	1.3 Cargo atual	1.4 Tempo na empresa	1.5 Tempo de atuação no setor de PMC	1.6 Formação acadêmica	2.1 Área de atuação
1	A	Direção	Diretor	Mais de 5 anos	Mais de 5 anos	Engenharia Civil	Comercial / Industrial
2	B	Projetos / Engenharia	Gerente de projetos	Menos de 2 anos	Menos de 2 anos	Engenharia Civil	
3	C	Direção	Diretor	Mais de 5 anos	Mais de 5 anos	Engenharia Civil	Comercial / Industrial, Infraestrutura
4	D	Projetos / Engenharia	Engenheiro civil	Mais de 5 anos	Mais de 5 anos	Engenharia Civil	
5	D	Direção	Diretor de operações	Mais de 5 anos	Mais de 5 anos	Administração	Comercial / Industrial
6	E	Projetos / Engenharia	Engenheira de projetos	Mais de 5 anos	Mais de 5 anos	Engenharia Civil	
7	E	Direção	Gerente de PCP e Controladoria	Mais de 5 anos	Mais de 5 anos	Engenharia Mecânica	Comercial / Industrial, Logística
8	F	Comercial	Gerente Comercial	Entre 2 e 5 anos	Mais de 5 anos	Engenharia Civil	
9	G	Direção	Diretor de Engenharia	Mais de 5 anos	Mais de 5 anos	Engenharia Civil	Comercial / Industrial
10	H	Direção	Diretor	Mais de 5 anos	Mais de 5 anos	Engenharia Civil	Comercial / Industrial
11	I	Direção	Superintendente	Mais de 5 anos	Mais de 5 anos	Engenharia Civil	Comercial / Industrial

Respondente	2.2 Sistema PMC	2.3 Número de funcionários	2.4 Conhecimento sobre BIM	2.5 Processo de implementação do BIM	2.6 Objetivos BIM
1	Flexível	Menos de 50 funcionários	Intermediário	Usamos REVIT desde o início, mas não aprofundamos em outros <i>softwares</i> .	Acelerar o processo construtivo. da para melhorar muito.
2					
3	Flexível	Mais de 101 funcionários	Avançado	2020 pois passamos a ver empresas que utilizavam BIM	Os objetivos finais ainda não foram definidos pois ainda estamos em implantação
4					
5	Flexível	Mais de 101 funcionários	Básico	Diante do relacionamento com o mercado, escritórios de engenharia, arquitetura, construtoras e clientes observou-se a tendência do uso das ferramentas BIM para maior segurança e compatibilização dos modelos e melhorias na execução, como uma ferramenta que traria muitos benefícios. Ano 2018 iniciou	Melhorar e acelerar os processos, ganhar tempo, diminuir retrabalhos, estar alinhado com o que o mercado exige, maior controle de projeto e produção. Muitos objetivos foram alcançados e ainda seguimos com implementação de melhorias.
6					
7	Ciclo Aberto	Entre 50 e 100 funcionários	Básico	Nos estudos de compatibilização de projetos (Engenharia/Arquitetura e complementares). Por volta de 2011 (início de utilização do <i>software</i> Allplan).	inicialmente, foram a parametrização dos elementos pré-fabricados, quantificação de materiais e visualização 3D.
8					
9	Ciclo aberto e Flexível	Mais de 101 funcionários	Avançado	A empresa observou a necessidade por volta de 2007. Os projetos se tornaram mais complexos, com menos tempo para desenvolvimento. A implementação começou em 2010.	Melhorar a apresentação dos projetos aos clientes; Agilizar o processo de orçamentação; Elevar a produtividade no desenvolvimento de projetos; Reduzir o tempo no desenvolvimento de projetos; Projetar as armaduras, insertos e todos os elementos presentes nos elementos estruturais em 3D Reduzir índices de erros; Reduzir custos; Aumentar a velocidade na mudança de projetos;

Respondente	2.2 Sistema PMC	2.3 Número de funcionários	2.4 Conhecimento sobre BIM	2.5 Processo de implementação do BIM	2.6 Objetivos BIM
					Melhorar a apresentação dos projetos para produção; Eliminar ou reduzir tarefas repetitivas; Diminuir os retrabalhos no lançamento de dados; Unificar as informações da construção em um único modelo; Integrar as informações do modelo(projeto), com o planejamento, orçamentação e o ERP Implementar o conceito de BIM (3D,4D,5D,6D, ...) Na minha percepção os objetivos foram obtidos parcialmente, pois ocorreram muitos contratemplos ao longo dos anos.
10	Ciclo Aberto	Mais de 101 funcionários	Intermediário	2020	Melhorar a apresentação do projeto e possibilitar integração com os demais projetos! Sim
11	Ciclo Aberto	Mais de 101 funcionários	Básico	3 Anos atras, pra se diferenciar na parte comercial.	Melhorar o entendimento do cliente, na obra do compra.

Respondente	2.7 Existência de estudo prévio	2.8 Softwares BIM em uso	2.9 Processo de treinamento dos colaboradores	2.10 Processo de projeto da empresa e impacto do BIM
1	Sem estudo	REVIT	Processo.	Acelerou muito o processo, temos bastante agilidade na entrega de projetos.
2				
3	Apenas avaliação de softwares	Autodesk aec a escolha foi por ser o software mais completo	Ainda estamos em implantação maior desafio são os fornecedores que não querem ou não tem condições de implantar devido ao alto custo	Ainda estamos em implantação
4				

Respondente	2.7 Existência de estudo prévio	2.8 Softwares BIM em uso	2.9 Processo de treinamento dos colaboradores	2.10 Processo de projeto da empresa e impacto do BIM
5	Foi feito visitas em empresas, observação de casos, participação em feiras e eventos voltados ao setor.	Tekla estruturas para metodologia inicialmente utilizado na fase comercial e após a venda da obra utilizado para o desenvolvimento do modelo executivo, ajuda a melhorar a qualidade na apresentação das propostas comerciais. O Plannix para Gerenciamento e controle de produção, logística e montagem; O Graphico <i>software</i> para auxílio no corte e dobra de armaduras que recebe a informação das barras modeladas no tekla e manda para a máquina de corte e dobra.	Foram implantados os <i>softwares</i> Tekla e Plannix, e os colaboradores receberam um treinamento nestes programas, e posteriormente auxílio dos suportes de cada fornecedor para continuação da implantação. Foi adquirido novos equipamentos de informática, com melhor desempenho. Um dos maiores desafios foi a mudança de cultura e o treinamento nos novos sistemas.	Feito o contato com o cliente é orçado a obra de acordo com o projeto arquitetônico desenvolvendo-se um modelo em BIM (pré-projeto), após a venda é repassado ao setor de engenharia para seguimento do desenvolvimento e compatibilizações (projeto), para encaminhamento a produção e montagem. A adoção do BIM, de certa forma, precisou sim de uma adequação nos setores envolvidos no processo. A mudança foi sendo gradual conforme o desenvolvimento e padronização de cada setor, ainda estamos em processos de melhorias contínuas neste quesito.
6				
7	Sim, avaliação de <i>softwares</i> disponíveis referente ao custo x benefício.	Allplan e Scia. Custo e disponibilidade de suporte na época da aquisição. Padronização dos projetos (com bibliotecas específicas), integração com outros <i>softwares</i> BIM e exportação de dados para PCP.	Inicialmente um Engenheiro dedicado ao treinamento inicial. Após treinado, compartilhou expertise com demais Engenheiros. Desafio maior foi a mudança de plataforma, por exemplo de AutoCad e Stracon para Allplan.	1) Recebemos os projetos arquitetônicos do cliente 2) Montamos os projetos de Orçamento com base na arquitetura 3) Após aprovado, desenvolvemos os projetos executivos Sim. Após a adoção do Allplan, passamos a extrair listagem de peças e quantitativo de materiais de maneira mais precisa e ágil. Também passamos a apresentar para o cliente um arquivo dinâmico em 3D, facilitando sobremaneira o entendimento e visualização.
8				
9	Em 2010 foi feito um trabalho de avaliação de todos os <i>softwares</i>	Atualmente utilizamos o Tekla. Foi escolhido a partir da metodologia apresentada no item 2.7. Dentre as	Para a implementação do BIM é necessário dentre alguns aspectos muito investimento, os <i>softwares</i>	O projeto é desenvolvido de uma forma mais básica na etapa comercial a partir de premissas arquitetônicas,

Respondente	2.7 Existência de estudo prévio	2.8 Softwares BIM em uso	2.9 Processo de treinamento dos colaboradores	2.10 Processo de projeto da empresa e impacto do BIM
	disponíveis no mercado (4 <i>softwares</i>) e elaborado um relatório que contemplou uma matriz de comparação com 7 grandes áreas avaliadas (Execução do modelo, Produto do modelo, Visualização comercial, Gerenciamento e Planejamento, Integração com Cálculo Estrutural, Treinamento e Suporte, Custos). Cada grande área avaliada contemplava mais itens a serem avaliados, por exemplo, na execução do modelo existiam mais 16 subitens de avaliação. Cada subitem tinha um peso de avaliação. A comissão que avaliou os <i>softwares</i> realizou uma votação para cada subitem e a matriz proposta apresentou o <i>software</i> mais adequado para as necessidades da empresa naquele momento. A matriz no total apresentava 50 subitens a serem avaliados!	vantagens apresentadas no item 2.6, o Tekla é um <i>software</i> que permite o desenvolvimento de sub-rotinas, que possibilitam a customização de ferramentas e tornar o modelo mais "inteligente" se adequando a necessidade de empresas com diferentes sistemas construtivos e ligações entre componentes.	são caros (alguns tem o seu valor atrelado ao Dólar e Euro), a formação e retenção de pessoas é complexa, é necessário blindar os key users durante um longo tempo para que a curva de aprendizado ocorra, o retorno desejado pode levar um tempo maior que o esperado, é necessário ter disciplina para implementar o processo, é necessário ter coordenação entre os envolvidos. O BIM como conceito de banco de dados integrado, processo colaborativo e engenharia simultânea precisa ainda virar realidade em todas as empresas e partes envolvidas(stakeholders)	após a venda o projeto "comercial" se torna executivo. Com a adoção do BIM a sequência não foi alterada, mas o modelo desenvolvido no comercial é compartilhado e utilizado na etapa executiva, com a complementação de informações.
10	Sim	Tekla	Foram feitos cursos	Sim, integrou melhor as fases do projeto diminuindo os retrabalhos
11	Não.	TQS, a empresa já possuía as licenças.	O grande desafio é que utilizar o BIM em todos os projetos, hoje só	Realmente só modelamos o BIM para o uso comercial, então não temos os grandes ganhos.

Respondente	2.7 Existência de estudo prévio	2.8 Softwares BIM em uso	2.9 Processo de treinamento dos colaboradores	2.10 Processo de projeto da empresa e impacto do BIM
			utilizamos em um percentual de 50%.	

Respondente	2.11 Principal benefício do BIM	2.12 Vantagem do uso do BIM	EXTRA 1 - comentário	2.1 Conhecimento sobre BIM	2.2 Realização de curso ou treinamento em BIM
1	Evita erros	Hoje tem poucos recursos voltado ao pré-fabricado, mas já ajuda bem.			
2				Intermediário	Sim, já fiz vários cursos de REVIT, fiz master BIM do ipog (não concluído), e vivo me atualizando.
3	Ainda não está sendo utilizado na totalidade	Sim pois facilita o planejamento de fabricação e formas			
4				Intermediário	Sim. Foi realizado um curso presencial, para 4 pessoas, com tutoriais sobre o <i>software</i> escolhido, com instrutor da própria cedente do <i>software</i> , com duração de cerca de 120h. Foram criados ambientes de trabalho adaptados a empresa, execução de projetos e detalhamentos de produtos, criação de templates, e, aplicação prática de tecnologias inerentes ao <i>software</i> adquirido.
5	O benefício é a integração dos setores, melhoria na apresentação dos projetos para a produção e montagem. A adição de relatórios para futuras obras, relação e compra de materiais. O BIM por ser complexo tem	Sim tem vantagem como o controle dos materiais utilizados, e a rastreabilidade dos produtos. Sim tem aplicação			

Respondente	2.11 Principal benefício do BIM	2.12 Vantagem do uso do BIM	EXTRA 1 - comentário	2.1 Conhecimento sobre BIM	2.2 Realização de curso ou treinamento em BIM
	muito a evoluir, e ainda não estamos utilizando em sua totalidade, porém sempre buscando a melhoria contínua dos processos.				
6				Intermediário	Fiz uma disciplina na pós-graduação da USP.
7	Padronização de projetos, melhora na qualidade e fluxo das informações. Não está sendo utilizado em sua totalidade.	Sim (sistema aberto). Mesmo nos demais a qualidade da informação é essencial para qualquer empresa de engenharia.	.		
8				Avançado	Sim, feito a própria Tekla.
9	O principal benefício é a integração. O BIM não está sendo utilizado em sua totalidade, não tem linha de chegada, é uma maratona!	O BIM é muito vantajoso para qualquer sistema pré-fabricado!			
10	Ainda não	Sim			
11	Hoje está sendo comercial. Utilizamos muito longe da sua totalidade.	Não sei o que significa.	Precisamos que os clientes trabalhem com o BIM em 100% dos sistemas construtivos. Não adianta ter o BIM no Pré-fabricado se as instalações não tem o projeto em BIM.		

Respondente	2.3 Treinamento pela empresa	2.4 Eventuais mudanças nos processos	2.5 Sucesso do processo de adoção do BIM
1			
2	NÃO	Sim, auxilia na conferência dos projetos, possibilidade de gerar materiais complementares para a equipe de montagem em obra. auxilia também no orçamento, para quantificar e apresentar claramente o escopo do fornecedor.	Muito bem-sucedido. hoje conseguimos antecipar várias incompatibilidades de projetos, evitando surpresas na hora da montagem das estruturas e por consequência reduzindo custos.
3			
4	Sim, os treinamentos fornecidos foram de grande importância para entender melhor as ferramentas a serem utilizadas bem como os fluxos a seguir para uma melhor implementação e entendimento do assunto.	Uma das mais importantes acredito que foi a implantação do <i>Software</i> Tekla Structures para modelagem das obras e o Plannix para gerenciamento e controle da produção, estes por serem <i>softwares</i> BIM possuem a interoperabilidade entre eles auxiliando nas tarefas do cotidiano, diminuição de retrabalhos, auxílio no entendimento e visualização do desenvolvimento dos projetos e detalhamentos, relatórios automáticos relacionados a obra. Mudança no recrutamento de pessoal, melhoria no fluxo dos trabalhos.	Sim, foi bem-sucedido. É um processo que leva tempo e sempre possuem melhorias a serem feitas com o passar do tempo e realização de testes. Nas atividades internas da empresa as sequencias de trabalho estão funcionando conforme desejado, tendo muitos pontos positivos. Diminuição de tempo na execução e de retrabalhos, acesso em tempo real ao modelo da obra, a relatórios, na organização dos setores.
5			
6	Sim, houve treinamento.	Sim, houve melhora na interface de projetos com planejamento da produção e padronização dos projetos.	Sim, os setores compreenderam a importância de mudar a forma de trabalhar e utilizar as informações do BIM.
7			
8	Sim, foi importante	Diminuição dos erros na elaboração dos projetos	Garantia nas compatibilizações e maior velocidade no desenvolvimento dos projetos
9			
10			
11			

Respondente	2.6 Principais fatores sucesso/fracasso do BIM	2.7 Vantagem na implementação do BIM	EXTRA 2 - Comentários
1			
2	Persistência na implementação, treinamento dos usuários.	Sem dúvidas é vantajosa. disponibilizando cursos direcionados especificamente ao setor, explicando os benefícios e ensinando o fluxo de trabalho aos usuários.	O BIM tem muito a contribuir com nosso setor.
3			
4	Um dos principais fatores que contribuíram foi o apoio da direção para a implementação e a formação de uma equipe inicial específica focada para desenvolvimento dos bancos de dados no período de implantação, bem como o planejamento e definições de prazos para elaboração das tarefas. O engajamento do grupo escolhido para implementação, a liderança desse grupo, a busca pelo conhecimento, a sinergia entre os instrutores/suporte e o grupo de implantação, e a experiência das pessoas escolhidas.	A inclusão da modelagem BIM em um ambiente de pré-fabricação traz muitos benefícios, por conta de que várias pessoas envolvidas no processo, tem de alguma forma, dificuldades de assimilar as etapas, prazos, detalhamentos das obras. A visualização dos modelos reduz muitas dúvidas, traz maior entendimento do que se está executando, além de gerar relatórios dos modelos em questão, que facilitam os processos de vários setores envolvidos na manufatura. A melhor forma de impulsionar acredito que seja através de treinamentos, compartilhamento de informações, de apresentação de cases de implantação de <i>software</i> em empresas PMC, mostrando todo o desenvolvimento desde a compra até finalização do processo, formando profissionais cada vez mais capacitados.	Na minha opinião, em virtude da baixa oferta de <i>softwares</i> relacionados ao Pré-fabricado de concreto e seus altos custos cria-se uma barreira na implementação da modelagem BIM nas empresas PMC, comparado em relação a sistemas voltados a empresas de Estrutura metálica onde há uma maior oferta de tais <i>softwares</i> , com maior experiência e utilização.
5			
6	O treinamento inicial dos projetistas foi fundamental para iniciar a mudança de <i>software</i> para um na plataforma BIM.	Sim, pois permite partir do projeto diretamente para planejamento da produção, análise dos custos e posterior montagem da estrutura.	O uso atual do BIM ainda é limitado, obtendo apenas as informações de projeto para uso interno e, em alguns casos, com a arquitetura. O uso pleno do BIM, envolvendo informações entre diferentes áreas (projeto elétrico, hidráulico, arquitetônico, estrutural, etc.) ainda parece muito distante da realidade que vemos nos projetos. Além disso, utilizamos um <i>software</i> ótimo para pré-fabricados (Planbar) que não é utilizado por nenhum arquiteto e apesar de

Respondente	2.6 Principais fatores sucesso/fracasso do BIM	2.7 Vantagem na implementação do BIM	EXTRA 2 - Comentários
			compartilharmos arquivos IFC, muita informação da estrutura é perdida.
7			
8	Persistência da direção e dos colaboradores.	Agilidade em todo processo, benefício da instalação da plataforma BIM	
9			
10			
11			

Responde dente	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25
1	4	4	4	4	5	4	5	5	4	5	4	1	5	4	5	5	5	5	2	4	4	5	3	3	5
2	5	4	4	4	5	3	1	1	4	5	5	5	5	5	4	1	4	4	4	4	4	3	1	4	4
3	5	5	5	5	5	5	5	1	3	2	5	5	3	3	5	4	2	3	5	5	5	5	5	3	3
4	4	3	4	3	4	3	4	3	3	4	4	3	2	3	3	3	2	2	1	1	2	2	2	3	3
5	4	3	4	2	4	2	2	3	3	4	4	3	2	3	3	3	2	2	1	1	2	2	2	3	3
6	3	5	1	5	5	5	5	5	5	1	1	3	3	3	4	5	5	3	1	1	1	1	1	1	3
7	5	5	5	1	5	4	4	3	5	4	5	2	5	3	2	4	3	5	2	2	4	2	2	2	2
8	3	2	4	3	5	3	2	2	2	3	3	4	2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	3	2	3
9	5	4	4	3	5	5	3	3	5	5	5	4	3	4	3	3	3	5	5	3	4	4	4	4	4
10	4	3	3	2	4	3	4	2	2	1	2	1	3	2	2	2	1	2	4	3	2	3	3	3	4
11	3	4	4	5	4	4	3	5	5	4	4	5	4	5	5	5	4	3	2	2	5	2	2	2	2