



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NA
INDÚSTRIA DO CONCRETO PRÉ-MOLDADO

RAFAEL DE AMORIM OLIVEIRA
MATRÍCULA: 20170114039

JOÃO PESSOA
2022

RAFAEL DE AMORIM OLIVEIRA

SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NA
INDÚSTRIA DO CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Engenharia Civil da Universidade Federal
da Paraíba, como um dos requisitos para a
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Hidelbrando José
Farkat Diógenes.

JOÃO PESSOA

2022

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

048s Oliveira, Rafael de Amorim.
Sobre a implementação do BIM na indústria do
concreto pré-moldado / Rafael de Amorim Oliveira. -
João Pessoa, 2022.
42 f. : il.

Orientação: Hidelbrando José Farkat Diógenes.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Indústria. 2. pré-moldado de concreto. 3.
metodologia BIM. I. Diógenes, Hidelbrando José Farkat.
II. Título.

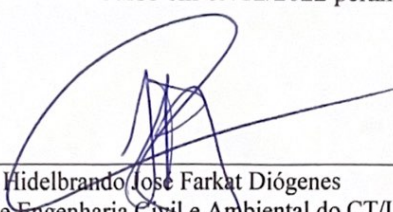
UFPB/CT CDU 624(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

RAFAEL DE AMORIM OLIVEIRA

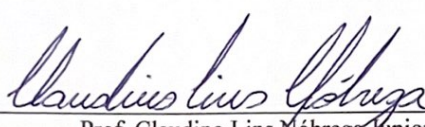
SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NA INDÚSTRIA DO CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Trabalho de Conclusão de Curso em 09/12/2022 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Prof. Hidelbrando José Farkat Diógenes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



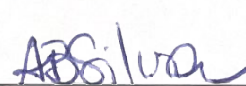
Prof. Claudino Lins Nobrega Junior
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof. Givanildo Alves de Azeredo
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof.ª Andrea Brasiliano Silva
Matrícula Siape: 1549557
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que ao longo da minha história me deram suporte e estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado força, saúde e perseverança para conseguir esta realização;

Aos meus pais Josineide e Ubiratã, e minha irmã Maria Gabriela, sem os quais nada seria possível;

Aos meus avós maternos Maria Neide e José de Souza, e ao meu avô paterno Vandilmo (in memoriam), por todos os valores ensinados;

A toda minha família e, em especial, a minha tia Josicleide por todo apoio acadêmico nessa jornada;

A Margarida por ter cuidado também de mim durante muitos anos da minha vida;

A minha namorada Mariana, por estar ao meu lado em todos os momentos;

Ao Professor Dr. Hidelbrando José Farkat Diógenes por seu empenho na orientação desta pesquisa;

Ao meu amigo, Gabriel, pela oportunidade de aprendizado e crescimento profissional;

Aos meus amigos que fizeram parte da minha trajetória ;

A todos que de alguma forma contribuíram durante esses anos para essa conquista;

Por fim, agradeço pela vida maravilhosa que tenho.

RESUMO

A construção civil é um dos setores mais tradicionais da economia, porém novas formas de desenvolvimento de edificações estão sendo aplicadas tornando os processos mais lucrativos e eficientes; entre elas, citamos a construção de pré-moldado de concreto. Contudo, apesar de se reconhecer os seus benefícios para impulsionar a industrialização das construções, esse tipo de indústria enfrenta desafios em seu processo produtivo, necessitando de metodologias que auxiliem no enfrentamento das adversidades. Assim, o objetivo deste trabalho é identificar os principais problemas existentes no processo de projeto, fabricação e montagem de estruturas de concreto pré-fabricado, de modo a apresentar e discutir possíveis soluções mediante a adoção do BIM. A pesquisa tem caráter exploratório, com procedimento técnico de revisão sistemática por meio da aplicação adaptada da metodologia PRISMA. Os resultados apontam como principais campos de fluxo construtivo em que se detectam problemas: a coordenação, a modelagem e a gestão. Entre os problemas identificados, mencionam-se: atrasos na entrega, sistemas de modelagem ineficazes e alocação desnecessária ou ineficiente dos pré-moldados. Como propostas de soluções, os artigos analisados apresentam: utilização dos fundamentos da metodologia BIM e algumas de suas ferramentas correlacionadas à coordenação entre os processos e colaboradores da construção; criação e utilização de novas metodologias, informações e famílias em programas BIM relacionadas às especificidades da fabricação e montagem dos elementos pré-moldados; e utilização do BIM 4D integrado com sistemas de rastreamento. Conclui-se que a metodologia BIM tem capacidade para solucionar problemas na indústria de concreto pré-moldado, tendo em vista a sua versatilidade e eficiência.

Palavras-chave: Indústria; pré-moldado de concreto; metodologia BIM.

ABSTRACT

Civil construction is one of the most traditional sectors of the economy, however new forms of building development are being applied, making processes more profitable and efficient, including precast concrete construction. Nevertheless, despite recognizing its benefits to boost the construction industrialization, this type of industry faces a challenge in its production process, requiring methodologies that help to tackle adversities. Thus, this study aims to identify the main problems existing in the design, manufacture and assembly process of precast concrete structures, in order to present and discuss possible solutions by means of the adoption of Building Information Modeling (BIM). The research has an exploratory nature, with a technical procedure of systematic review by using the adapted application of the PRISMA methodology. The results point to the main fields of constructive flow in which problems are detected: coordination, modeling and management. Among the identified problems, we mention: delivery delays, ineffective modeling systems and unnecessary or inefficient allocation of precast elements. As proposals for solutions, the analyzed articles present: fundamentals use of the BIM methodology and some of its tools related to the coordination between construction processes and employees; creation and use of new methodologies, information and families in BIM programs pertained to the specificities of manufacturing and assembly of precast elements; and use of 4D BIM integrated with tracking systems. It is concluded that the BIM methodology has the capacity to solve problems in the precast concrete industry, by considering its versatility and efficiency.

Keywords: Industry; precast concrete; BIM methodology.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	12
1.2 Justificativa.....	13
1.3 Método Geral do TCC.....	13
1.4 Estrutura do Trabalho	14
2 A INDÚSTRIA DE PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO E O BIM COMO O NOVO PARADIGMA DA CONSTRUÇÃO CIVIL	15
3 MÉTODO DE PESQUISA	20
4 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	23
4.1 Avaliação dos artigos	26
4.2 Seleção e análise de novos artigos	27
4.3 Análise e discussão dos resultados.....	31
4.3.1 Campo do fluxo construtivo	31
4.3.2 Problemas identificados e soluções propostas pelos artigos analisados	33
4.3.3 Resumo crítico dos resultados e discussão	35
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
REFERÊNCIAS.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Empresas, pessoas ocupadas, salários, retiradas e outras remunerações no setor da construção.....	13
Figura 2 – Estratégias para elaboração de uma revisão sistemática.....	20
Figura 3 – Resultados após aplicação dos descritores e dos filtros 1 ao 4.....	23
Figura 4 – Resultados encontrados após aplicação dos filtros 5, 6, 7 e 8.....	25
Figura 5 – Operários instalando peças pré-fabricadas para montar os módulos do hospital Huoshenshan.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Combinações de descritores.....	22
Tabela 2 – Artigos divergentes na análise dos pesquisadores.....	24
Tabela 3 – Artigos excluídos na avaliação crítica.....	26
Tabela 4 – Artigos que restaram após aplicação da metodologia PRISMA, na base de dados SCOPUS.....	26
Tabela 5 – Artigos adicionados através de buscas livres no Google.....	27
Tabela 6 – Artigos científicos para revisão sistemática.....	27
Tabela 7 – Pesquisadores e instituições às quais estão vinculados.....	28
Tabela 8 – Campo do fluxo construtivo com ocorrência de falhas.....	31
Tabela 9 – Problemas e soluções propostas por artigo analisado.....	33

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 - Campos do fluxo construtivo com maiores incidências de problemas.....31

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores mais tradicionais da economia. Entretanto, a modernização do setor, bem como a busca mercadológica por métodos mais eficientes, estão cada vez mais presentes no planejamento e na administração dessa atividade empresarial. Isso se deve ao fato de que as inovações que surgem para a execução de obras civis têm possibilitado soluções para os desafios existentes no cotidiano.

Assim, as construções pré-fabricadas de concreto surgem como uma opção mais atrativa, quando comparadas aos métodos convencionais utilizados pelo setor, pois além de enfatizarem a produção em massa de componentes de construção em fábricas externas, também promovem a capacidade de haver um maior controle de qualidade das peças produzidas frente às fabricadas *in situ* (TADDELE, 2018).

Nesse método, a fabricação dos componentes da construção será realizada em instalações fora do local da obra (EL DEBS, 2017), resultando em menor consumo de energia que os métodos tradicionais (YEE, 2001; LU; YUAN, 2013). Quanto a isso, Hong *et al.* (2016) constataram, em sua pesquisa, que até 14% do consumo total de energia poderia ser economizado mediante o uso de componentes pré-fabricados em substituição a uma quantidade equivalente de elementos que fossem feitos no local.

Com base nas ideias dos autores supracitados, infere-se que os pré-fabricados de concreto prometem benefícios para a execução de obras, destacando-se dentre esses: a qualidade e segurança dos componentes fabricados, a redução do tempo para realização da obra, além da redução de custos, seja de energia ou da mão de obra empregada.

Em que pesem todos os benefícios provenientes dos pré-fabricados de concreto em impulsionar a industrialização das construções, não se pode negar que as empresas especializadas no ramo enfrentam também desafios em seu processo produtivo, necessitando, portanto, de metodologias que auxiliem no enfrentamento das condições adversas.

Nesse sentido, tem-se como uma possível solução a adoção do *Building Information Modeling* (BIM), ou Modelagem da Informação da Construção, que surgiu na engenharia civil como uma metodologia para gerenciamento de projetos e obras, proporcionando aos projetistas e gestores o aumento da capacidade de assertividade e controle em diversas etapas construtivas. O BIM também promove maior

capacidade de solucionar problemas, quando comparado a outros métodos convencionais utilizados na coordenação de obras (MASOTTI, 2014).

Nessa mesma linha de raciocínio, Kaner *et al.* (2008) consideram que os benefícios mais significativos do BIM são a precisão na estimativa de custos e a redução do tempo de trabalho. Evidencia-se, com isso, que a adoção do BIM torna-se oportuna para empresas que pretendem se manter competitivas em um mercado que exige sempre mais qualidade e preços mais acessíveis.

A adoção do BIM por indústrias de construções de pré-moldados de concreto pode auxiliar na solução de problemas e também otimizar a capacidade assertiva nas mais variadas etapas de fabricação, proporcionando melhoria para o processo produtivo. Por essas vias, torna-se interessante conhecer os obstáculos que são apresentados no cotidiano dessas indústrias, de modo a entender como eles podem ser enfrentados por meio da implantação dessa metodologia.

Assim, considerando as questões que permeiam a adoção da Modelagem da Informação da Construção, o que motiva a realização deste trabalho é a perspectiva de identificar as principais problemáticas que ocorrem no processo produtivo de indústrias de estruturas de pré-moldados de concreto, e, mediante isso, discutir as possíveis soluções práticas com o uso do BIM para minimizar ou mitigar tais problemas.

Nesse sentido, este trabalho parte da seguinte indagação: *Quais as problemáticas no processo de projeto, fabricação e montagem de estruturas de concreto pré-fabricado que poderiam ser mitigadas com o uso do BIM?*

1.1 Objetivos

A fim de responder à questão inicial, tem-se como objetivo geral identificar os principais problemas existentes no processo de projeto, fabricação e montagem de estruturas de concreto pré-fabricado, de modo a apresentar e discutir possíveis soluções mediante a adoção do BIM, tomando por base uma revisão sistemática da literatura. Para tanto, têm-se como objetivos específicos:

- Revisar sistematicamente a literatura que trata da indústria de pré-moldados e da metodologia BIM;
- Apresentar os problemas identificados mediante revisão sistemática e sugerir possíveis soluções;

- Discutir como a indústria de pré-moldados pode se beneficiar com o uso do BIM em seus processos.

1.2 Justificativa

A implementação de novos métodos de trabalho, em geral, acarreta novas dificuldades, às quais o mercado precisa se adaptar. No entanto, as novas tecnologias surgem justamente para facilitar e trazer soluções para esses problemas. Nesse sentido, é necessário o desenvolvimento de pesquisas e estudos que busquem atualizar e aprofundar a temática, propiciando a aplicabilidade de forma correta dessas novas ferramentas, resultando, assim, em mais eficiência no trabalho realizado.

Nesse aspecto, este trabalho se adequa a essas prerrogativas, tendo em vista sua contribuição para ampliar as discussões acerca da utilização de tecnologias para o enfrentamento de problemas na indústria de estruturas de pré-moldado de concreto. O estudo contribui, também, para a estratégia nacional de disseminação do BIM, nos termos do Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019, comprovando-se, portanto, relevante a sua realização.

1.3 Método Geral do TCC

Para a realização deste trabalho, foram empregadas três etapas que nortearam todo o estudo, sendo elas:

- I. Seleção de artigos científicos: nesta etapa, foram utilizados métodos de pesquisa para a identificação de artigos com informações úteis para responder o problema de pesquisa, adotando-se, para tanto, a metodologia *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), adaptada por Sampaio e Mancini (2007), e também algumas buscas livres na internet, por meio do site Google;
- II. Revisão sistemática: consistiu na leitura do conteúdo selecionado e na organização dos dados obtidos;
- III. Análise dos resultados: os resultados foram analisados qualitativamente, com base nos achados dos artigos selecionados para a pesquisa, de modo a identificar as seguintes variáveis:

- os campos do fluxo construtivo¹ em que ocorrem os problemas na indústria de pré-moldados de concreto;

- frequência de incidência dos problemas nos campos dos fluxos construtivos nas etapas do processo de projeto, fabricação e montagem.

IV. Elaboração de um resumo crítico sobre os achados da pesquisa, que permite subsidiar interessados na temática, visando a implementação do BIM na cadeia do pré-moldado.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho está organizado em mais quatro seções para além desta. A segunda seção trata de uma fundamentação teórica com abordagens sobre a indústria de concreto pré-moldado e da metodologia BIM. Na terceira parte, foram apresentados os métodos utilizados na execução da pesquisa e na sua aplicação. A quarta abrange os resultados obtidos e sua discussão. A última parte discorre sobre as considerações finais da pesquisa.

¹ coordenação, gestão, modelagem, informação, inspeção e interoperabilidade.

2 A INDÚSTRIA DE PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO E O BIM COMO O NOVO PARADIGMA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Muito se tem discutido a respeito da construção civil, tendo em vista que esse setor exerce importante papel na economia e no desenvolvimento do Brasil, uma vez que os seus impactos positivos podem ser constatados por meio de sua representatividade no Produto Interno Bruto (PIB), que é a soma de todos os bens e serviços finais produzidos no país, mas também em termos de geração de emprego e renda, assim como em bem-estar social.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), o PIB brasileiro registrou aumento de 1,2% no segundo trimestre de 2022 em comparação aos primeiros três meses do corrente ano. Já o setor da construção obteve crescimento de 2,7%, resultando em uma variação de 10,5% no acumulado de doze meses (IBGE, 2022).

Além disso, na mais recente Pesquisa Anual da Indústria da Construção, relativa ao ano de 2020, apurou-se que o valor gerado pelo setor correspondeu a R\$ 325,1 bilhões, sendo R\$ 304,4 bilhões relativos a obras e/ou serviços, com representação de 93,6% do total apurado, e outros R\$ 20,7 bilhões em incorporações, com representatividade de 6,4% da totalização do valor registrado. Por outro lado, a mesma pesquisa aponta que nesse período 131,8 mil empresas da área de construção empregavam 2,0 milhões de pessoas que auferiram salários, retiradas e outras remunerações equivalentes a R\$ 58,7 bilhões (PAIC, 2020), conforme pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Empresas, pessoas ocupadas, salários, retiradas e outras remunerações no setor da construção



Fonte: adaptado de IBGE. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Estatísticas Estruturais e Temáticas em Empresas, Pesquisa Anual da Indústria da Construção, 2020.

Apesar de se observar um interessante desempenho do setor, não se pode negar que a construção civil é considerada uma indústria atrasada em comparação a outros setores industriais. Em linhas gerais, isso se deve, entre outras variáveis, à baixa produtividade, ao desperdício de materiais empregados, ao tempo despedido para a conclusão da obra, bem como ao baixo controle de qualidade (EL DEBS, 2017).

No decorrer dos anos, verifica-se a implementação conjunta de esforços e várias iniciativas de melhoramento de técnicas, de capacitação profissional, inclusive da industrialização da construção. Tal discussão não é recente, tendo em vista que o setor tem buscado o seu aprimoramento, considerando a industrialização como uma opção viável que visa mitigar alguns impactos negativos inerentes ao setor.

Quanto a isso, importa esclarecer que a industrialização da construção civil se trata-se de um processo que objetiva melhorar a produtividade e o nível de produção, bem como aperfeiçoar a *performance* da atividade construtiva, mediante inovações organizacionais e implementação de novas tecnologias, de modo a possibilitar melhoria em termos de planejamento e controle (ABDI, 2015).

No mesmo sentido, Arnold Van Acker (2002) pondera que industrializar o setor consiste em transferir o trabalho executado nos canteiros de obras para as fábricas permanentes e modernas, visto que nelas os processos de produção são mais eficientes e racionais, além de contarem com mão de obra especializada, e também possibilitarem a repetição de tarefas e o controle de qualidade, dentre outros.

Assim, tem-se como concretização prática o elemento pré-fabricado, ou seja, o elemento pré-moldado industrialmente em instalações permanentes de empresas com esta atividade-fim (NBR 9062, 2017), de modo a garantir condições mais rigorosas de controle de qualidade.

Infere-se que essas condições conferem melhorias ao setor, as quais podem ser observadas em termos de redução de custos, de tempo de execução de obra, como também em termos de segurança e qualidade empregadas na atividade construtiva.

A história dá conta de que a pré-fabricação teve o seu início no período após a Segunda Guerra Mundial, ocasião em que sua intensiva utilização se deu para suprir a necessidade de construção em grande escala.

Porém, Vasconcellos (2002) sinaliza que não se pode afirmar precisamente a data de início da pré-fabricação, mas sim que ela está atrelada à invenção do concreto

armado, tendo em vista que o seu surgimento ocorreu com a pré-modelagem de elementos, fora do local em que o mesmo seria utilizado.

Para Talbot e Francis (2012), o primeiro registro do uso de concreto pré-moldado na construção civil se deu com o desenvolvimento do uso de placas pré-moldadas em concreto utilizadas em construção rápida e econômica, tendo sido desenvolvida pelo engenheiro John Alexander Brodie e aplicada em diversas obras na cidade de Liverpool.

Isso remete ao entendimento de que não há um consenso entre os pesquisadores quanto à data de origem do pré-moldado, mas fica evidenciada sua utilização para atender construções econômicas em grande escala e com previsão célere para a conclusão da obra.

A indústria de estruturas de pré-moldados de concreto, como em qualquer outra empresa de transformação, tem em seu processo produtivo etapas que devem ser observadas de modo a garantir que todo o fluxo seja plenamente executado, assegurando, com isso, a qualidade exigida para o produto final. Entre as fases do processo produtivo dessa indústria estão: projetos, fabricação, armazenamento, transporte, montagem, entre outras etapas.

Considerando o objeto de pesquisa deste estudo, foram analisadas, principalmente, as etapas de projeto, fabricação e montagem. Assim, tem-se que a etapa de projeto se refere ao documento desenvolvido pelo projetista, que contém as informações sobre a construção, com dados relacionados a detalhes da obra, tecnologias, prazos, materiais, dimensionamentos e outros, visando alcançar um produto final de qualidade e durável (RAUBER, 2005).

Quanto à fase de fabricação, considera-se que ela compreende as atividades de armação, montagem das fôrmas, concretagem, acabamento e manuseio de peças (MELO, 2007). Já a fase de montagem corresponde à instalação dos componentes, devendo ser realizada sob a orientação e supervisão de um engenheiro de montagem, que assume integralmente a responsabilidade de todos os itens relacionados à montagem dos elementos. Para tanto, tem-se como atividade essencial o planejamento da montagem, que, entre outras ações, visa prevenir situações que possam afetar questões de segurança dos envolvidos, bem como a integridade da estrutura e o cronograma proposto. Nessa etapa, também se define o método de montagem, condições do canteiro, proteção contra acidentes, interfaces e alterações

nos sistemas, manuseio e armazenagem (ABNT NBR 9062, 2017; Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI, 2015).

O cumprimento dessas etapas promove condições para que a indústria de estruturas de concreto pré-moldado alcance benefícios que atestem e consolidem cada vez mais a sua participação no mercado de construção. No entanto, há de se reconhecer que tal indústria também enfrenta desafios em seu processo produtivo, passíveis de serem superados. Para tanto, faz-se necessária a adoção de metodologias que auxiliem na mitigação dos problemas que lhes são inerentes.

Uma solução que se concebe como um novo paradigma da construção civil é a adoção do *Building Information Modeling*, que desponta como uma metodologia para gerenciamento de projetos e obras, que, entre outras funcionalidades, proporciona incremento na capacidade de assertividade e controle nas várias etapas construtivas, bem como promove maior capacidade de solucionar problemas (MASOTTI, 2014). Nesse contexto, pode-se observar que a adoção do BIM na indústria de concreto pré-moldado torna-se interessante desde que a gestão de construção das empresas incorpore processos, tecnologias e pessoas para atingirem bons objetivos táticos (NASCIMENTO *et al.*, 2017).

Salienta-se que além da possibilidade de melhorar a produtividade e a qualidade em curto prazo, a aplicabilidade do BIM também permite mudanças nos processos de gerenciamento de projetos (MANENTI *et al.*, 2020), já que suas funcionalidades permitem novas formas de processos que são fundamentais na gestão de projetos e obras, pois fornecem os insumos necessários para a harmonização de uma intensa pluralidade e quantidade elevada de informações, que é um dos princípios fundamentais da produção enxuta (WOMACK; JONES, 2003). Evidencia-se, assim, que o BIM é um método versátil e diversificado, com capacidade de ser implantado em diversas situações, proporcionando inúmeras vantagens.

Para melhorar a eficiência dos processos e a qualidade do produto final, o BIM tem significativa influência em diversos campos do fluxo construtivo, a saber:

a) **COORDENAÇÃO:** Relaciona-se com a coordenação tática da empresa, onde os enfoques principais são em obter a operacionalização, o controle e a fiscalização das etapas produtivas, nas quais serão analisados a qualidade dos serviços desenvolvidos, o controle dos prazos e dos custos, o bom fluxo de informações entre os envolvidos nos processos, entre outros. (FERREIRA, 2001; FONTENELLE, 2002).

- b) **GESTÃO**: Relaciona-se com os gerenciamentos estratégicos que são necessários desde a concepção de todas as atividades produtivas, onde a atuação principal está no planejamento, na organização, na direção e no gerenciamento dos processos de projetos. Com isso, salienta-se que o BIM pode ser utilizado nesse meio, pois possibilita uma gestão integrada de projetos e obras, o que ocasiona melhoras na qualidade, com custos e prazos de execução reduzidos (EASTMAN *et al.*, 2014).
- c) **INSPEÇÃO**: Baseia-se em técnicas adequadas e afere se uma atividade ou produto está conforme o que é desejado (FEITAL, 2017). Sabendo disso, é válido frisar que, de acordo com Puri e Turkan (2017), o BIM pode ser utilizado por engenheiros fiscais para inspecionar os elementos e serviços relacionados ao concreto pré-fabricado.
- d) **INFORMAÇÃO**: Refere-se aos dados necessários e relacionados com as etapas ou componentes do processo produtivo. Pode-se utilizar o BIM como método que promove projetos com maior quantidade de informações atreladas aos seus componentes, sendo um dos principais aspectos desse processo a descrição digital do ativo a ser construído. A criação de um modelo digital de informações de construção permite que aqueles que interagem com a construção otimizem suas ações, resultando em um maior valor para o ativo (BRASIL, 2021).
- e) **MODELAGEM**: Etapa da construção em que são criadas as representações tridimensionais dos elementos e processos. Para Neil Calvert (2013), na modelagem em BIM há a possibilidade de adicionar uma dimensão espacial ao plano, em que se torna possível visualizar os objetos dinamicamente. Assim, no modelo 3D pode-se observar a perspectiva de um empreendimento em que o BIM pode promover uma precisão do modelo combinada com animações e simulações, permitindo que os empreiteiros acessem o layout do projeto antes que a construção ocorra e façam alterações, integrando a equipe de construção no processo de projeto. Além disso, tem-se que todas as informações relevantes para uma execução eficiente podem estar atreladas ao modelo criado, o que torna o projeto em BIM uma construção virtual de fato, não apenas visualmente representativo.
- f) **INTEROPERABILIDADE**: Refere-se à troca de informações entre *softwares* utilizados no processo de projeto e à capacidade deles de interpretação desses dados (EASTMAN *et al.*, 2008). Nesse sentido, o BIM permite que os profissionais de todas as disciplinas relevantes acessem e alterem os dados do protótipo de maneira colaborativa e rápida, de acordo com os projetos específicos de cada disciplina (SILVEIRA, 2013).

3 MÉTODO DE PESQUISA

Este trabalho consiste em uma pesquisa básica, tendo em vista o seu objetivo de gerar conhecimentos úteis em prol do desenvolvimento da ciência, sem que haja, necessariamente, sua implicação prática (KAUARK; MANHÃES; MEDEIROS, 2010), já que se pretende identificar os problemas inerentes à indústria de estruturas de pré-moldados de concreto e discutir suas possíveis soluções mediante a adoção do BIM.

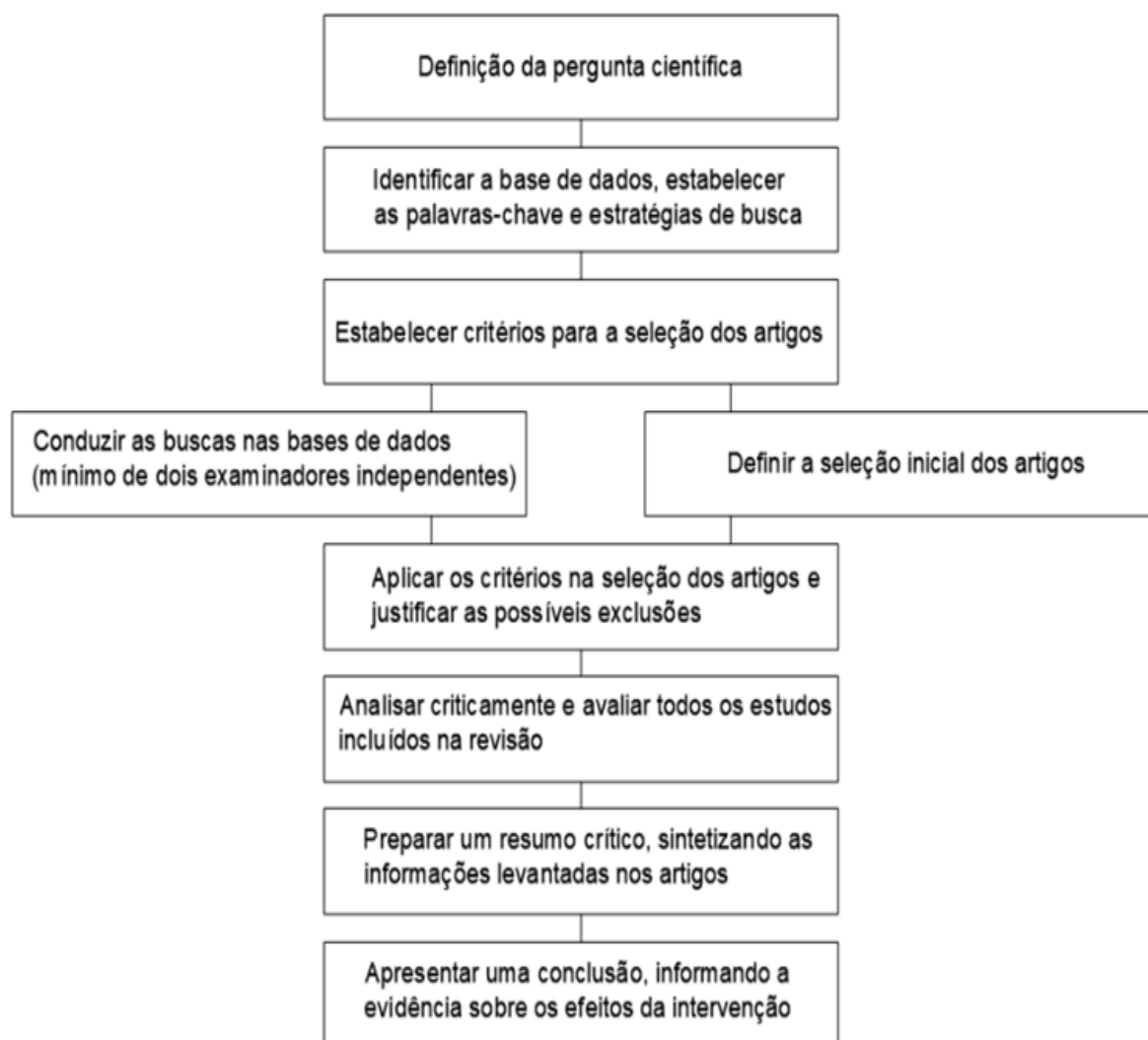
A pesquisa se classifica como exploratória, uma vez que buscou se aproximar do problema, de modo a torná-lo mais explícito e, com isso, aprimorar ideias (GIL, 2008). Sua abordagem é qualitativa, tendo em vista o objetivo de aprofundar a compreensão dos fatos analisados (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Quanto aos procedimentos técnicos, optou-se pela revisão sistemática, que se utiliza da literatura existente como fonte de informação, associando-se com metodologias que avaliam os resultados encontrados, de modo a responder a pergunta do tema em questão (SAMPAIO; MANCINI, 2007).

Para selecionar os artigos da revisão sistemática, é necessário estabelecer um método específico que possibilite maior uniformidade e qualidade na pesquisa realizada. Dessa maneira, é possível comunicar de forma clara e objetiva todo o processo de identificação e seleção de evidências para essa revisão.

Nesse sentido, elegeu-se como base a metodologia *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), adaptada da proposta original por Sampaio e Mancini (2007), que cria um fluxograma no qual cada etapa serve como filtro que elimina artigos que não serão úteis para a revisão sistemática, conforme pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2 - Estratégias para a elaboração de uma revisão sistemática.



Fonte: Adaptado de Sampaio Mancini (2007).

Para iniciar o processo de busca, optou-se pelo banco de dados da plataforma *SCOPUS*, por reunir grande número de artigos científicos e por ser de livre acesso, mediante e-mail institucional do discente.

Em seguida, definiu-se os descritores que direcionaram a fase de filtragem dos artigos. Para tanto, foram utilizadas três combinações de palavras para tornar a busca ampla e eficiente, considerando-se, neste critério, os termos que são mais utilizados como padrão de busca em títulos, resumos ou palavras-chave de artigos que abordam a mesma temática. Entretanto, em virtude das limitações de pesquisas em língua portuguesa, foi necessário determinar palavras em inglês, vislumbrando-se aumentar a quantidade de artigos a serem selecionados.

Desse modo, determinou-se as combinações de descritores que expressam e se relacionam diretamente ao tema por meio dos operadores booleanos *AND* e *OR*,

quais sejam: Combinação 1 - *Precast concrete AND BIM OR Building Information Modeling OR Critical factors*; Combinação 2 - *Precast concrete AND BIM OR Building Information Modeling OR problems*; Combinação 3 - *Precast concrete AND BIM OR Building Information Modeling OR difficulties*.

Considerando-se tais combinações para as buscas preliminares, obteve-se para a Combinação 1 o correspondente a 196 artigos científicos, já para a Combinação 2 foram totalizados 1.301, enquanto para a Combinação 3 foram levantados 265 trabalhos.

Logo após a pesquisa para cada combinação de descritores na plataforma SCOPUS, foram estabelecidos critérios de inclusão e exclusão que serviram como filtros para aperfeiçoar a busca dos artigos.

Nesse sentido, para os critérios de inclusão, optou-se pelo Filtro 1, que corresponde ao recorte temporal, compreendendo os anos entre 2017 e 2022, bem como o Filtro 2, que delimita as buscas de artigos para a língua inglesa ou portuguesa.

Quanto aos critérios de exclusão, foram definidos o Filtro 3, que exclui os artigos não relacionados com a área de engenharia; o Filtro 4, que exclui artigos que não possuem acesso aberto na base de dados; o Filtro 5, que descarta os trabalhos que não apresentam nenhuma situação-problema tratada; o Filtro 6, que retira os trabalhos em que as construções pré-moldadas não são o foco; o Filtro 7, que elimina aqueles que não tratam o BIM como assunto principal; e, por fim, o Filtro 8, que descarta os artigos cuja temática é voltada para cálculo estrutural.

Considerando-se que, após a utilização dos Filtros e análise crítica, a busca inicial levantou apenas 6 artigos na base de dados SCOPUS, optou-se por, adicionalmente, realizar pesquisas livres na internet, mediante o *site* de busca Google, utilizando-se dos mesmos Filtros adotados anteriormente. Dessa forma, foi possível ampliar o número de artigos para a revisão sistemática, cuja amostra final foi composta por 8 pesquisas científicas.

Destaca-se que o processo de identificação e seleção dos artigos compreendeu o período de julho a setembro de 2022. Os resultados obtidos foram apresentados por meio do uso de tabelas e gráficos, tendo sido analisados qualitativamente, com base nos achados dos artigos selecionados.

4 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para a revisão sistemática da literatura, optou-se por utilizar a metodologia PRISMA, que prevê inicialmente a definição da pergunta científica, qual seja: Quais as problemáticas no processo de projeto, fabricação e montagem de estruturas de concreto pré-fabricado que poderiam ser mitigadas com o uso do BIM?

Para responder essa questão, definiu-se como base de dados para as buscas dos artigos científicos a plataforma SCOPUS e como descritores as combinações contidas na Tabela 1:

Tabela 1 - Combinações de descritores

COMBINAÇÃO	DESCRITORES
COMBINAÇÃO 1	Precast concrete AND BIM OR Building Information Modeling OR Critical factors.
COMBINAÇÃO 2	Precast concrete AND BIM OR Building Information Modeling OR problems.
COMBINAÇÃO 3	Precast concrete AND BIM OR Building Information Modeling OR difficulties.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Vale ressaltar que nessa metodologia as buscas iniciais nas etapas de seleção de artigos científicos devem ser feitas por pelo menos dois pesquisadores independentes, com base em critérios de inclusão e exclusão definidos no protocolo de pesquisa. Sabendo-se disso, as etapas de definição e aplicação dos parâmetros de seleção dos artigos científicos foram realizadas pelo autor deste trabalho e pela doutoranda Sara Marques, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), os quais serão denominados de Pesquisador 1 e Pesquisador 2, respectivamente.

Inicialmente, coube aos dois pesquisadores o papel de proceder à busca dos artigos científicos no banco de dados selecionado, mediante os critérios estabelecidos previamente, e, em segundo momento, analisar a similaridade entre os resultados encontrados por ambos. Posteriormente, os pesquisadores realizaram uma avaliação dos títulos e resumos dos artigos levantados, de modo a definir se os mesmos serviriam para compor a amostra submetida à revisão sistemática. Essa etapa é importante por garantir maior confiabilidade na aplicação do fluxograma da metodologia PRISMA, que foi adaptada neste trabalho para atender ao objetivo da

pesquisa. Coube ainda ao Pesquisador 1 proceder à análise crítica e à discussão dos resultados obtidos por meio da revisão sistemática.

Para além disso, cabe destacar a participação do orientador deste trabalho no desenvolvimento da pesquisa, tendo em vista sua essencialidade na validação de todas as etapas cumpridas, bem como na definição da seleção final da amostra analisada.

Na Figura 3, observa-se o fluxograma dos resultados obtidos inicialmente com base nos descritores, nos critérios de inclusão e em alguns dos critérios de exclusão. Foram levantados para a primeira combinação de descritores um total de 196 artigos, já a segunda combinação totalizou 1.301 e a terceira combinação 265 trabalhos, que depois de aplicados os filtros 1, 2, 3 e 4 reduziram-se para 20, 81 e 14 artigos, respectivamente.

Figura 3 - Resultados após aplicação dos descritores e dos filtros 1 ao 4.



Fonte: elaborado pelo autor.

Salienta-se que o Pesquisador 1 e o Pesquisador 2 obtiveram os mesmos resultados nesta etapa da pesquisa, tendo em vista que foi utilizado o mesmo banco de dados e critérios para a busca dos artigos, garantindo a confiabilidade e reduzindo a possibilidade de erros nas etapas de seleção.

Adicionalmente, foram incorporados outros filtros com base na leitura do título e do resumo, tendo por finalidade excluir artigos que, apesar de todos os parâmetros aplicados, não apresentavam relação direta com a temática explorada. Assim, o Filtro 5 serviu para excluir os trabalhos que não apresentam nenhuma situação-problema tratada, o Filtro 6 retirou os trabalhos em que as construções pré-moldadas não são o foco, o Filtro 7 eliminou aqueles que não tratam o BIM como assunto principal, e, por fim, o Filtro 8 descartou os artigos cuja temática é voltada para cálculo estrutural.

No entanto, como a análise dos Filtros 5, 6, 7 e 8 tem caráter mais interpretativo e subjetivo comparadamente aos quatro primeiros (Filtros 1, 2, 3 e 4), observou-se que houve divergência entre os resultados obtidos pelos dois pesquisadores no que tange ao número de artigos selecionados, os quais constam na Tabela 2.

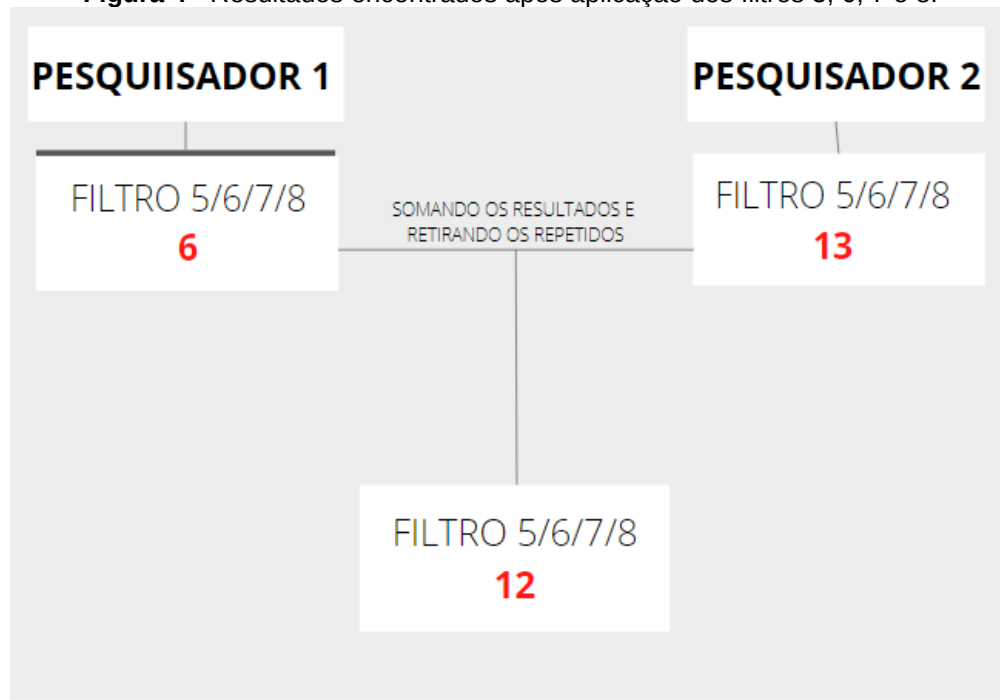
Tabela 2 - Artigos divergentes na análise dos pesquisadores.

ARTIGOS PESQUISADOR 2(SM)	ARTIGOS PESQUISADOR 1(RO)
A Multi-Objective Variable Neighborhood Search Algorithm for Precast Production Scheduling	Coordinating Atypical Architectural Precast Concrete Façades
Site Selection of Precast Concrete Component Factory Based on PCA and GIS	Thermal comfort practices for precast concrete building construction projects: towards BIM and IOT integration
Briefing: Design for manufacture and off-site construction at Woolston Wastewater Treatment Works (UK)	-
Scheduling the Production of Precast Concrete Elements Using the Simulated Annealing Metaheuristic Algorithm	-
Research on multi-agent control system for concrete distribution	-
Pre-Cast Concrete, a Key Option for the Reconstruction Phase after War	-
Simulation-based optimisation using simulated annealing for crew allocation in the precast industry	-

Fonte: elaborado pelo autor.

Mediante isso, ficou definido, junto ao orientador da pesquisa, que todos os artigos que divergiram nas bases dos dois pesquisadores passariam também para a avaliação mais crítica, que consistia na leitura completa do texto, permitindo a melhor e mais ampla exploração do conteúdo. A partir disso, elaborou-se outra esquematização, que complementa a Figura 3, retratando os resultados obtidos após aplicação dos Filtros 5, 6, 7 e 8, conforme consta na Figura 4:

Figura 4 - Resultados encontrados após aplicação dos filtros 5, 6, 7 e 8.



Fonte: elaborado pelo autor.

Com base na Figura 4, observa-se que com a aplicação dos filtros 5, 6, 7 e 8 o Pesquisador 1 obteve 6 artigos, e o Pesquisador 2 levantou 13 trabalhos. Após a leitura dos títulos e resumos, foram retirados aqueles que estavam repetidos na base dos dois pesquisadores, restando 12 artigos a serem avaliados criteriosamente, tendo como principal objetivo identificar as seguintes informações:

- 1) As situações-problema relacionadas à indústria de concreto pré-moldado;
- 2) Soluções existentes com o uso do BIM;
- 3) Campo da etapa do fluxo construtivo em questão no estudo.

Tais critérios possibilitaram confirmar de forma definitiva se os artigos obtidos serviriam para a revisão sistemática em questão.

4.1 Avaliação dos artigos

Para efetuar a avaliação mais crítica dos trabalhos selecionados para a revisão sistemática, foi necessária a leitura de todas as informações contidas em cada artigo, avaliando introdução, métodos, resultados, discussão, entre outros. O objetivo era obter a confirmação de que aqueles trabalhos realmente apresentavam correlação com a problemática proposta.

Após a análise, verificou-se que havia a necessidade de excluir outros artigos da amostra até então selecionada, os quais foram descartados devido à incompatibilidade com o trabalho, principalmente por não apresentarem a metodologia BIM como solução para os problemas identificados. Os artigos excluídos nesta etapa constam na Tabela 3.

Tabela 3 - Artigos excluídos na avaliação crítica.

TÍTULO DO ARTIGO	MOTIVO DA EXCLUSÃO
A Multi-Objective Variable Neighborhood Search Algorithm for Precast Production Scheduling	Não apresenta o BIM como solução
Pre-Cast Concrete, a Key Option for the Reconstruction Phase after War	Não apresenta o BIM como solução
Research on multi-agent control system for concrete distribution	Não apresenta o BIM como solução
Simulation-based optimisation using simulated annealing for crew allocation in the precast industry	Não apresenta o BIM como solução
Site Selection of Precast Concrete Component Factory Based on PCA and GIS	Não apresenta o BIM como solução
Scheduling the Production of Precast Concrete Elements Using the Simulated Annealing Metaheuristic Algorithm	Não apresenta o BIM como solução

Fonte: Elaborado pelo autor, mediante dados da pesquisa.

Devido a essa exclusão, dos 12 artigos que haviam sido selecionados restaram somente 6, que atendem aos critérios estabelecidos nesta pesquisa, mediante a aplicação da metodologia PRISMA, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - Artigos que restaram após aplicação da metodologia PRISMA, na base de dados SCOPUS.

TÍTULO DO ARTIGO	ANO DA PUBLICAÇÃO
Coordinating atypical architectural precast concrete façades	2019
Toward automated dimensional quality control of precast concrete elements using design bim	2017
Effective allocation of manpower in the production of precast concrete elements with the use of metaheuristics	2022
Real-time optimization of precast concrete component transportation and storage	2020
Research on assembly sequence planning and optimization of precast concrete buildings	2018
The significance of coordination for industrialised building system (IBS) precast concrete in construction industry	2017

Fonte: Elaborado pelo autor, mediante dados da pesquisa.

4.2 Seleção e análise de novos artigos

Tendo em vista que, com a aplicação dessa metodologia, foi possível alcançar uma amostra relativamente pequena para fazer uma revisão satisfatória,

identificar as informações consideradas importantes e obter uma análise adequada ao tema estudado, houve a necessidade de buscar e adicionar outros artigos para construir uma revisão mais ampla. Para tanto, optou-se pela realização de pesquisas livres na internet, mediante o *site* de busca Google, utilizando-se dos mesmos filtros adotados para a plataforma SCOPUS.

Tabela 5 - Artigos adicionados através de buscas livres no Google

TÍTULO DO ARTIGO	ANO DA PUBLICAÇÃO
A Physical Internet-enabled Building Information Modelling System for prefabricated construction	2017
Design for Manufacture and Assembly-oriented parametric design of prefabricated buildings	2018

Fonte: Elaborado pelo autor, mediante dados da pesquisa.

A busca resultou em mais 2 artigos para a composição da amostra final da revisão sistemática. Pode-se observar que, nesse caso, o filtro 4, que foi aplicado na primeira etapa de seleção de artigos pelo método PRISMA, não foi considerado, visto que os artigos selecionados nessa etapa não fazem parte do banco de dados SCOPUS, já que são provenientes de buscas livres na internet.

A amostra final dos artigos científicos selecionados para a revisão sistemática resultante das buscas no banco de dados SCOPUS e no *site Google* consta na Tabela 6.

Tabela 6 – Artigos científicos para revisão sistemática

Nº REF.	AUTORES	ANO PUBLIC.	TÍTULO DO ARTIGO
01	Puri; Turkan	2017	Toward automated dimensional quality control of precast concrete elements using design BIM
02	Othman <i>et al.</i>	2017	The significance of coordination for industrialised building system (IBS) precast concrete in construction industry
03	Chen <i>et al.</i>	2017	A Physical Internet-enabled Building Information Modelling System for prefabricated construction
04	Wang; Yuan; Sun	2018	Research on assembly sequence planning and optimization of precast concrete buildings
05	Yuan; Sun; Wang	2018	Design for Manufacture and Assembly-oriented parametric design of prefabricated buildings
06	Collins; Gentry	2019	Coordinating atypical architectural precast concrete façades
07	Liu <i>et al.</i>	2020	Real-time optimization of precast concrete component transportation and storage
08	Podolski	2022	Effective allocation of manpower in the production of precast concrete elements with the use of metaheuristics

Fonte: Elaborado pelo autor, mediante dados da pesquisa.

Com base na Tabela 6, verifica-se que no recorte temporal entre 2017 e 2022 foram localizados 8 artigos científicos que atenderam aos critérios desta pesquisa. O ano de 2017 apresenta o maior volume de produção, com 3 trabalhos desenvolvidos. Já no ano de 2018 foram produzidos 2 artigos, enquanto nos anos de 2019, 2020 e 2022 constatou-se a incidência de 1 trabalho por ano. Observa-se que em 2021 não foi localizado nenhum artigo científico dentro dos critérios estabelecidos para esta pesquisa. Intui-se que a pandemia provocada pela COVID-19, que teve o seu início em 2020, possa ter impactado, em alguma medida, o desenvolvimento de produções científicas. Contudo, não há dados que comprovem a influência do período pandêmico na produção dessas pesquisas.

A Tabela 6 também permite observar que os pesquisadores Wang, Yuan e Sun possuem o maior número de pesquisas desenvolvidas nessa temática, totalizando 2 artigos publicados no ano de 2018. Os demais pesquisadores participantes da amostra publicaram apenas 1 trabalho entre os anos analisados.

A amostra analisada permitiu identificar as instituições às quais os pesquisadores estão vinculados, conforme mostra a Tabela 7.

Tabela 7 – Pesquisadores e instituições às quais estão vinculados

PESQUISADORES	INSTITUIÇÕES VINCULADAS	PAÍS
Nisha PURI	Oregon State University	EUA
Yelda TURKAN	Oregon State University	EUA
Mohd Khairul Fitri OTHMAN	Universiti Teknologi MARA	Malásia
Wan Mohd Nurdden Wan MUHAMMAD	Universiti Teknologi MARA	Malásia
Nurulhudaya Abd HADI	Universiti Teknologi MARA	Malásia
Mohd Azrai AZMAN	Universiti Teknologi MARA	Malásia
Ke CHEN	University of Hong Kong	China
Gangyan XU	University of Hong Kong	China
Fan XUE	Hong Kong Polytechnic University	China
Ray Y. ZHONG	University of Auckland, Auckland	Nova Zelândia
Weisheng LU	University of Hong Kong	China
Yaowu WANG	Harbin Institute of Technology	China
Zhenmin YUAN	Harbin Institute of Technology	China
Chengshuang SUN	Beijing University of Civil Engineering and Architecture	China
Jeffrey COLLINS	Kennesaw State University	EUA
Russell GENTRY	Georgia Institute of Technology	EUA
Donghai LIU	Tianjin University	China
Xin LI	Tianjin University	China
Junjie CHEN	Tianjin University	China
Rui JIN	Tianjin University	China
Michał PODOLSKI	Wrocław University of Science and Technology	Polônia

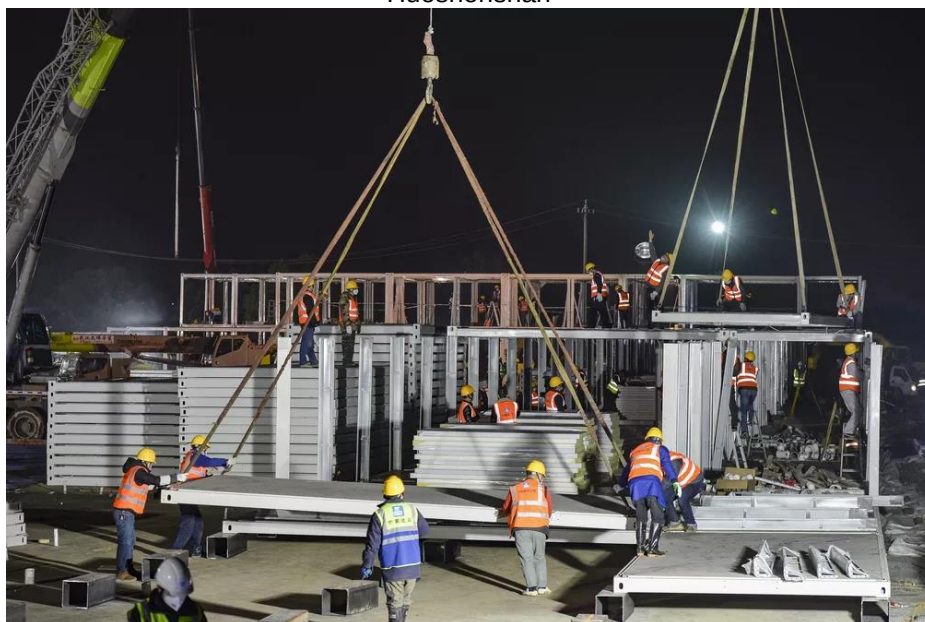
Fonte: Elaborado pelo autor, mediante dados da pesquisa.

Conforme Tabela 7, verifica-se que as pesquisas constantes na amostra dos artigos selecionados para a revisão sistemática foram desenvolvidas por pesquisadores vinculados institucionalmente aos seguintes países: China, Estados Unidos da América, Malásia, Nova Zelândia e Polônia. Observa-se, além disso, que mais de 50% dos pesquisadores estão ligados a instituições chinesas, evidenciando-se que a China foi o país que mais contribuiu com artigos científicos publicados.

Cabe recordar que em 2020, em meio à pandemia da COVID-19, provocada pelo vírus SARS-CoV-2, muitos ficaram surpresos com a capacidade da China em construir o hospital Huoshenshan em menos de 10 dias, sendo que esses tipos de obras realizadas em tempo recorde não são algo inédito na China, pois ainda em 2003 as autoridades chinesas já afirmavam que construiriam o hospital Xiaotangshan em apenas 7 dias durante a crise do vírus da SARS. É importante destacar que esses feitos se tornaram viáveis devido ao uso de peças pré-fabricadas em suas construções (VIDIGAL, 2020).

Na Figura 5, é possível observar as instalações de peças pré-fabricadas na montagem dos módulos do hospital Huoshenshan.

Figura 5 - Operários instalando peças pré-fabricadas para montar os módulos do hospital Huoshenshan



Fonte: Vidigal, 2020.

Observando esses acontecimentos, pode-se afirmar que a China possui muita *expertise* em construções pré-fabricadas, algo que só pode ser atingido caso haja investimentos em pesquisas, estudos e experimentos para que esse setor da

construção civil atinja níveis de maturidade como os relatados. Dessa forma, consegue-se entender o motivo da China despontar como a primeira colocada em realizações de pesquisas encontradas para a revisão sistemática deste trabalho.

4.3 Análise e discussão dos resultados

Após a leitura dos artigos selecionados, torna-se essencial proceder à análise das informações obtidas, de modo a identificar quais os principais problemas existentes na indústria de pré-moldados de concreto, tendo por base a amostra desta pesquisa. Além disso, é fundamental compreender qual o campo do fluxo construtivo em que as falhas ocorrem e as metodologias de controle, mediante o uso do BIM, propostas pelos autores dos trabalhos analisados, para que seja realizado o resumo crítico dos resultados alcançados nesta pesquisa.

Nesse sentido, optou-se por apresentar a análise e a discussão dos resultados em três tópicos:

- I. Campo do fluxo construtivo onde os problemas estão ocorrendo;
- II. Problemas identificados e metodologias de controle por meio do BIM;
- III. Resumo crítico.

4.3.1 Campo do fluxo construtivo

A primeira análise consistiu em identificar a etapa ou campo do processo produtivo em que as falhas ocorrem, com a finalidade de observar algum padrão de recorrência.

Nessa perspectiva, a Tabela 8 apresenta os resultados obtidos, no qual é possível verificar os principais campos do processo construtivo em que se faz necessário intervir com alguma metodologia de controle para resolver os problemas identificados. Com isso, os coordenadores de empresas e pesquisadores do ramo podem visualizar onde devem focar a atenção para que outros problemas e possíveis soluções sejam identificados, de modo a promover o desenvolvimento desse setor produtivo.

Tabela 8 - Campo do fluxo construtivo com ocorrência de falhas.

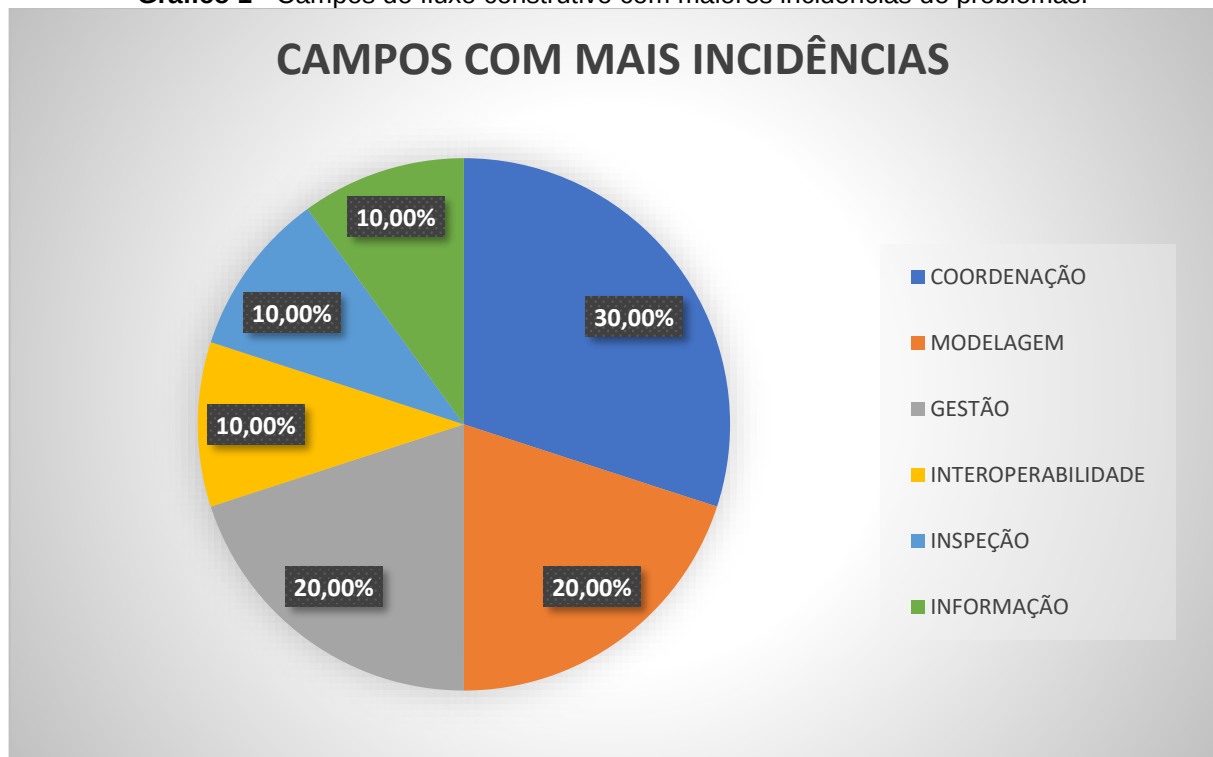
TÍTULO DO ARTIGO	CAMPO DO FLUXO CONSTRUTIVO
Toward automated dimensional quality control of precast concrete elements using design bim	Interoperabilidade, inspeção e informação

The significance of coordination for industrialised building system (IBS) precast concrete in construction industry	Coordenação
A Physical Internet-enabled Building Information Modelling System for prefabricated construction	Gestão
Research on assembly sequence planning and optimization of precast concrete buildings	Modelagem
Design for Manufacture and Assembly-oriented parametric design of prefabricated buildings	Modelagem
Coordinating atypical architectural precast concrete façades	Coordenação
Real-time optimization of precast concrete component transportation and storage	Gestão
Effective allocation of manpower in the production of precast concrete elements with the use of metaheuristics	Coordenação

Fonte: elaborado pelo autor.

Com base na Tabela 8, verifica-se a ocorrência de problemas em distintos campos do fluxo construtivo, sendo os principais deles aqueles em que se observa maior incidência na amostra estudada. Para destacar esse resultado, pode-se verificar no gráfico 1 a distribuição de incidências de problemas por campo do fluxo construtivo.

Gráfico 1 - Campos do fluxo construtivo com maiores incidências de problemas.



Fonte: elaborado pelo autor.

O Gráfico 1 evidencia que as principais dificuldades identificadas na amostra da pesquisa concentram-se, em maior parte, na área de coordenação de projetos e obras, representando 30% de incidência em termos de problemas e metodologias

propostas entre os artigos selecionados. Percebe-se, com isso, que a comunicação, a simultaneidade de trabalhos entre diversas equipes e colaboradores, bem como as logísticas empregadas para melhoria da eficiência do processo produtivo, ainda são deficientes e impõem desafios a serem superados pelo setor.

Observa-se, também, que o campo da modelagem apresentou incidência de 20% de problemas e metodologias propostas nos artigos analisados. Considera-se que essa etapa muitas vezes serve de base e porta de entrada para a execução da obra que utilizará a metodologia BIM, visando adquirir melhores índices de aproveitamento nos recursos envolvidos. Contudo, mesmo sabendo-se da importância desse campo, ainda se constatam são falhas nessa etapa, resultando, por conseguinte, em problemas para as etapas posteriores. Verificou-se, ainda, que o campo da gestão das construções pré-moldadas apresentou incidência de 20% no que tange aos problemas que podem ser solucionados com o uso do BIM. Por fim, a interoperabilidade, informação e inspeção tiveram representatividade de 10% em relação aos mesmos aspectos analisados, os quais também trarão muitos benefícios para a indústria de pré-moldados de concreto se forem corrigidos com as metodologias propostas.

Cabe destacar que apenas a pesquisa desenvolvida por Puri e Turkan (2017) apresentou problemas em mais de um campo do fluxo construtivo, sendo eles: interoperabilidade, inspeção e informação. Nos demais artigos, foram constatados somente um campo com problemas identificados.

4.3.2 Problemas identificados e soluções propostas pelos artigos analisados

No que tange à identificação dos problemas levantados pelos autores dos artigos analisados, pode-se observar que cada pesquisa apresentou uma especificidade. Dessa forma, optou-se por expor os problemas identificados separadamente, de modo a auxiliar na compreensão das soluções propostas, bem como do resumo crítico.

Tabela 9 - Problemas e soluções propostas por artigo analisado.

Artigo analisado	Coordinating atypical architectural precast concrete façades
Problema identificado	Nesse artigo, foi verificado que algumas fachadas que possuíam especificidades atípicas e eram desenvolvidas através do método construtivo de pré-moldados de concreto tinham gestores que estavam apresentando dificuldades em coordenar sua execução, o que gerava falhas no processo construtivo e perda da qualidade do produto final.
Solução proposta	Desenvolver projetos com adoção da modelagem em BIM, atrelando informações aos elementos que compõem o projeto, as quais serão úteis na etapa de execução. Desse modo, haverá a capacidade de promover um mapeamento de descrições globais e locais do projeto e dos componentes, facilitando, assim, a coordenação.
Artigo analisado	Toward automated dimensional quality control of precast concrete elements using design BIM
Problema identificado	Identificou-se a ineficiência para se ter uma boa verificação da execução de elementos de concreto pré-moldado devido à falta de especificações relacionadas às tolerâncias dos componentes, as quais atualmente não são suportadas e integradas no modelo de projeto em BIM. Assim, não se consegue verificar se eles estão ou não dentro das tolerâncias previstas em projeto, já que uma deficiência nessa etapa acaba gerando falhas no controle de qualidade das empresas, o que pode acarretar em diversos outros problemas futuros.
Solução proposta	Criar um banco de dados, através de programação, com capacidade de marcar elementos projetados em IFC (BIM) com informações relacionadas às tolerâncias exigidas. Logo, se permitiria o acesso a todas as informações necessárias para se fazer as verificações em um único banco de dados, o que ajudaria a tomar decisões oportunas, que evitariam retrabalhos e atrasos na programação.
Artigo analisado	Effective allocation of manpower in the production of precast concrete elements with the use of metaheuristics
Problema identificado	Identificou-se que os métodos atuais de formação dos processos de produção dos elementos pré-moldados não são muito adequados, pois não levam em conta as especificidades da produção desses elementos, o que gera ineficiência do trabalho realizado.
Solução proposta	Usar um modelo de programação da produção de pré-moldados que usa um dos conceitos BIM, que é a possibilidade da utilização de mais de um grupo de trabalho para realizar uma determinada atividade e a capacidade de realizar atividades selecionadas em paralelo, a fim de tornar a alocação da mão de obra mais eficaz.
Artigo analisado	Real-time optimization of precast concrete component transportation and storage
Problema identificado	Identificou-se que durante a fase de execução de construções que usam os pré-moldados de concreto como método construtivo pode haver situações em que arranjos inadequados de transporte, de armazenamento e de içamento desses componentes podem causar a alocação desnecessária ou ineficiente dos pré-moldados, o que consequentemente gera atrasos no andamento das construções.
Solução proposta	Utilização do BIM 4D integrado com sistemas de rastreamento, com capacidade de criar cronogramas, planejamentos de obra e extrair informações em tempo real de cada processo construtivo, facilitando o gerenciamento da obra.
Artigo analisado	Research on assembly sequence planning and optimization of precast concrete buildings
Problema identificado	Identificou-se que as construções de pré-moldados de concreto necessitam de modelagens com planejamentos eficazes, que garantam uma otimização dos processos atuais, principalmente na sequenciação da montagem dos edifícios.
Solução proposta	Utilizar o BIM em conjunto com algoritmos computacionais para criar modelagens paramétricas, que sejam capazes de gerar simulações e testar as montagens dos elementos, a fim de que se encontre uma sequência de montagem ideal.

Artigo analisado	The significance of coordination for industrialised building system (IBS) precast concrete in construction industry
Problema identificado	Identificou-se que o setor de concreto pré-moldado enfrenta diversos tipos de dificuldades em seus projetos, como por exemplo atrasos na entrega, excesso de custos, baixa qualidade do produto final, impactos ambientais acima do devido, entre outros.
Solução proposta	Utilizar um dos fundamentos da metodologia BIM e algumas de suas ferramentas que estão correlacionadas à coordenação entre os diversos processos e colaboradores envolvidos na construção, visando harmonizar todo o processo e reduzir problemas que são ocasionados devido à fragmentação dos recursos e etapas envolvidas, melhorando assim a entrega do projeto de concreto pré-moldado.
Artigo analisado	A Physical Internet-enabled Building Information Modelling System for prefabricated construction
Problema identificado	Identificou-se gestão ineficiente dos recursos e das logísticas que estão envolvidos nos processos de obras de concreto pré-moldado, devido a erros humanos e informações defasadas entre os setores responsáveis pela construção.
Solução proposta	Adotar um sistema, baseado no BIM, que proporciona a capacidade de coletar, transmitir, processar e visualizar as informações do projeto que está sendo desenvolvido em tempo real e em todas as etapas do processo, a fim de diminuir erros humanos e melhorar a alocação dos recursos.
Artigo analisado	Design for Manufacture and Assembly-oriented parametric design of prefabricated buildings
Problema identificado	Identificou-se que os sistemas de modelagem utilizados atualmente muitas vezes não atendem às necessidades específicas de um projeto de construção pré-fabricada, o que diminui a qualidade desse projeto.
Solução proposta	Criar e utilizar novas metodologias, informações e famílias em programas BIM que sejam relacionadas às especificidades da fabricação e montagem dos elementos pré-fabricados de concreto, a fim de que os detalhes necessários para um projeto de qualidade sejam atendidos e realizados.

Fonte: elaborado pelo autor.

4.3.3 Resumo crítico dos resultados e discussão

Para finalizar a revisão sistemática, faz-se necessário proceder ao resumo crítico, que compreende uma das etapas da metodologia PRISMA.

Observa-se que apesar de ser imprescindível a aplicação de uma metodologia reconhecida para a obtenção dos dados, tendo em vista que isso proporciona uma revisão do estudo de forma mais eficaz, tem-se que as estratégias de buscas devem ser criadas de forma cautelosa. Essa observação se deve ao fato de que embora os resultados obtidos nesta pesquisa tenham sido proveitosos, sua amostra foi composta por um baixo quantitativo de artigos que foram analisados.

Também não se pode deixar de destacar que um dos possíveis motivos para o baixo número de artigos revisados pode ter ocorrido por conta da escolha dos descritores, em que se considerou o termo “Precast concrete”. Verificou-se,

posteriormente, que a retirada da palavra “concrete” aumentava o número de artigos localizados na base de dados selecionada, os quais, caso atendessem aos demais critérios elegíveis, poderiam ter feito parte da amostra, bem como servido de fonte de informações para esta revisão.

Por outro lado, há de se considerar também que o tema proposto é relativamente recente, intuindo-se a escassez de pesquisas científicas direcionadas a essa temática. Ressalta-se, ainda, o baixo interesse por parte de algumas empresas em participarem de pesquisas devido à exposição da análise de alguns parâmetros, que, em alguma medida, podem intervir na concorrência comercial existente no mercado.

Esclarecido isso, e adentrando nos dados que os artigos analisados apresentaram, pode-se constatar que a metodologia BIM consegue resolver muitos desafios encontrados no modelo de produção de elementos relacionados ao concreto pré-moldado.

Além disso, verificou-se que o BIM atinge uma variedade de campos e etapas de trabalho muito ampla, podendo ser utilizado para resolver problemas desde a concepção do projeto até as etapas de montagem dos componentes pré-fabricados, tendo aplicabilidade em diversas fontes de obstáculos, confirmando, dessa forma, o que foi exposto na segunda seção deste trabalho, sobre a diversidade de possibilidades de atuações que o BIM pode promover.

Entre os problemas que podem ser solucionados com a adoção do BIM, pode-se citar, com base na amostra desta pesquisa, aqueles relacionadas à coordenação de colaboradores e de serviços; à modelagem de projetos; à inspeção da qualidade dos elementos fabricados; à falta de informação necessária para o desenvolvimento de um projeto; à gestão ineficiente dos recursos envolvidos no processo construtivo; entre outras fontes.

Desse modo, sabendo-se das capacidades do BIM para o solucionamento de problemas, atesta-se que com o estudo das melhores práticas que tal metodologia pode promover, muitos dos problemas atuais enfrentados pela indústria de concreto pré-moldado podem ser resolvidos, tendo em vista a sua versatilidade e eficiência, que foram analisadas mediante a revisão sistemática deste trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria de concreto pré-moldado exerce papel importante na área de construção civil, bem como na economia e no desenvolvimento do país, tendo em vista as diversas possibilidades de participações em obras, assim como a geração de emprego e renda e a redução de custos e segurança que promove aos variados projetos arquitetônicos. Contudo, observa-se que essa atividade empresarial enfrenta problemas que podem ser solucionados com a adoção da metodologia BIM.

Infere-se, portanto, que as informações obtidas neste estudo têm importância para a indústria de pré-moldados de concreto, pois como todo setor da economia os desafios do aumento da produtividade e da eficiência são desejados pelos empresários e também pela sociedade, já que a diminuição dos custos, uma boa previsibilidade dos recursos aplicados e o encurtamento dos prazos de entrega dos serviços acabam sendo benéficos tanto para os empresários quanto para os clientes.

Assim, esta pesquisa possibilitou identificar os principais problemas existentes no processo de fabricação de estruturas de concreto pré-moldado que podem ser solucionados pela metodologia BIM. Entre eles, destacam-se aqueles relacionados à coordenação de colaboradores e de serviços; à modelagem de projetos; à inspeção da qualidade dos elementos fabricados; à falta de informação necessária para o desenvolvimento de um projeto; à gestão ineficiente dos recursos envolvidos no processo construtivo; entre outros.

Destaca-se a importância que esta pesquisa teve ao identificar exemplos de dificuldades enfrentadas atualmente por algumas indústrias do ramo de concreto pré-moldado, possibilitando que as empresas que enfrentam tais obstáculos possam extrair ideias de como melhorar seus fluxos de trabalho, de modo a gerar mais valor para os seus serviços prestados ou produtos fabricados. Além disso, também podem reduzir os custos envolvidos nos processos e obter uma redução do tempo de trabalho, a depender do caso em questão. Dessa forma, pode-se afirmar que o uso dessas tecnologias, aliadas às boas práticas de construção e de desenvolvimento de projetos, conforme visto ao longo desta pesquisa, possibilitarão resultados úteis e satisfatórios para esse setor da construção civil.

Por tudo isso, as verificações feitas em casos práticos, que foram trazidas pelos artigos estudados, podem servir de inspiração para que engenheiros e empresários busquem sempre identificar os gargalos que impedem o bom funcionamento das

etapas de trabalho e, assim, busquem as soluções, tendo como uma opção viável a metodologia BIM. Desse modo, pode-se observar que as justificativas para a realização desse trabalho foram atendidas, pois apesar do número limitado de artigos analisados, houve a compreensão de que o BIM é muito vantajoso para os envolvidos em construções de concreto pré-moldado. Esta pesquisa também pode servir de apoio para estudantes e professores que desejam aprofundar a investigação realizada. Com isso, conclui-se que houve o incentivo para a estratégia nacional de disseminação do BIM, nos termos do Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019.

Como limitação para a realização deste trabalho de conclusão de curso, destaca-se o baixo número de artigos científicos localizados nas bases consultadas para a composição da amostra analisada.

Sugere-se para novas pesquisas verificar a aplicabilidade das soluções propostas pelos artigos selecionados, mediante um estudo de multicasos, fazendo primeiramente uma investigação em empresas, a fim de identificar problemas similares aos constados nesta revisão sistemática e propor as realizações das metodologias de controle que foram citadas neste trabalho, de modo a validar se as soluções indicadas pela amostra analisada são eficientes em qualquer empresa que as adote.

REFERÊNCIAS

- ACKER, Arnold Van. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. 2002. Tradução: Marcelo Ferreira (ABCIC-2003). Disponível em: <http://www.netpre.ufscar.br/wp-content/uploads/2016/12/Manual-de-Pr%C3%A9-Fabricados-de-Concreto.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2022.
- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. **Manual da construção industrializada**: conceitos e etapas. Volume 1: estrutura e vedação. Brasília: ABDI, 2015. Disponível em: https://api.abdi.com.br/file-manager/upload/files/Manual_construcao_industrializada-versao_digital.pdf. Acesso em: 18 nov. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6092**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Terceira edição. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: http://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosUpload/14026/material/NBR9062_2017.pdf. Acesso em: 18 nov. 2022.
- BRASIL. Ministério de Infraestrutura. Departamento Nacional de Transportes. **Conceito BIM**. Brasília: Ministério de Infraestrutura, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/bim-no-dnit/o-que-e-o-bim#:~:text=O%20BIM%20ou%20Modelagem%20da,cada%20aspecto%20do%20ativo%20constru%C3%ADdo>. Acesso em: 11 nov. 2022.
- CALVERT, Neil. Why we care about BIM. 2013. **Directions Magazine**, December 12, 2013. Disponível em: <https://www.directionsmag.com/article/1486>. Acesso em: 17 nov. 2022.
- CHEN, Ke *et al.* A Physical Internet-enabled Building Information Modelling System for prefabricated construction International. **Journal of Computer Integrated Manufacturing**, DOI: 10.1080/0951192X.2017.1379095, September, 2017. Disponível em: <https://hub.hku.hk/bitstream/10722/245220/1/Content.pdf?accept=1>. Acesso em: 15 ago. 2022.
- COLLINS, Jeffrey; GENTRY, Russell. Coordinating atypical architectural precast concrete façades. **Building Information Modelling 2**, v. 2, p. 261-268, 2019. Disponível em: http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaadesigradi2019_404.pdf. Acesso em: 08 ago. 2022.
- EASTMAN, C. *et al.* **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- EL DEBS, Mounir Khalil. **Concreto pré-moldado**: fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo : Oficina de Textos, 2017.

FEITAL, Marcelo Rosa. **Uso de VANT (veículo aéreo não tripulado) para inspeção de projetos de construção civil**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gerenciamento de Projetos) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2017. Disponível em: <http://pmkb.com.br/uploads/tcc-marcelo-rosa-feital.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2022.

FERREIRA, R. C. Os diferentes conceitos adotados entre gerência, coordenação e compatibilização de projeto na construção de edifícios. In: Workshop nacional: gestão do processo de projeto na construção de edifícios, n. 1, 2001, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EESC/USP, 2001. CD-ROM.

HONG, J. *et al.* Life-cycle energy analysis of prefabricated building components: an input–output-based hybrid model. **Journal of Cleaner Production**, 112, p. 2198–2207. 2016. Disponível em: <https://sci-hub.se/10.1016/j.jclepro.2015.10.030>. Acesso em: 10 nov. 2022.

IBGE. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Estatísticas Estruturais e Temáticas em Empresas. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2020**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/54/paic_2020_v30_informativo.pdf. Acesso em: 14 nov. 2022.

KANER, Israel *et al.* Case studies of BIM adoption for precast concrete design by mid-sized structural engineering firms. **ITcon**, v. 13, Special issue Case studies of BIM use, p. 303-323. 2008. Disponível em: <https://www.itcon.org/paper/2008/21>. Acesso: em 09 nov. 2022.

KAUARK, Fabiana da Silva; MANHÃES, Fernanda Castro; MEDEIROS, Carlos Henrique. **Metodologia da pesquisa**: um guia prático. Bahia: Editora Via Litterarum, 2010. Disponível em: http://www.pgcl.uenf.br/arquivos/livrode metodologia da pesquisa 2010_011120181549.pdf. Acesso em: 20 out. 2022.

LIU *et al.* Real-time optimization of precast concrete component transportation and storage. **Advances in Civil Engineering**, v. 2020, Article ID 5714910, 18 pages. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/ace/2020/5714910/>. Acesso em: 11 ago. 2022.

LU, W. S.; YUAN, H. P.. 2013. Investigating Waste Reduction Potential in the Upstream Processes of Offshore Prefabrication Construction. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 28, p. 804-811, december, 2013. DOI: 10.1016/j.rser.2013.08.048. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032113005881>. Acesso em: 12 nov. 2022.

MANENTI, E. M.; MARCHIORI, R. F.; CORRÊA, L. de A. Plano de execução BIM: proposta de diretrizes para contratantes e fornecedores de projeto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 65-85, jan./mar. 2020. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/ac/a/vkgs3gbrMC7H45PFn3w5nXz/?lang=pt>. Acesso: 08 nov. 2022.

MASOTTI, Luis Felipe Cardoso. **Análise da implementação e do impacto do BIM no Brasil**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/127335/TCC%20-%20Luis%20Felipe%20Cardoso%20Masotti%20-%20BIM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 nov. 2022.

MELO, Carlos Eduardo Emrich. **Manual munte de projetos em pré-fabricados de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007.

NASCIMENTO, Daniel *et al.* Sinergia entre princípios do Lean Thinking e funcionalidades de BIM na interdisciplinaridade de gestão em plantas industriais. **Journal of Lean Systems**, v. 2, n. 4, p. 80-105. 2017. Disponível em: <https://docplayer.com.br/168380097-Sinergia-entre-principios-do-lean-thinking-e-funcionalidades-de-bim-na-interdisciplinaridade-de-gestao-em-plantas-industriais.html>. Acesso em: 15 nov. 2022.

OTHMAN, Mohd Khairul Fitri *et al.* The significance of coordination for Industrialised Building System (IBS) precast concrete in construction industry. **MATEC Web of Conferences** 103, 03004 (2017) DOI: 10.1051/mateconf/201710303004.

PODOLSKI, Michal. Effective allocation of manpower in the production of precast concrete elements with the use of metaheuristics. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 28, Issue 4: p. 247–260, 2022. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/131956f0135bcf8a5672e19d34f6f0e0/1.pdf?pq-origsite=gscholar&cbl=1386355>. Acesso em: 09 ago. 2022.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. Disponível em: <https://www.feevale.br/Comum/midias/0163c988-1f5d-496f-b118-a6e009a7a2f9/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

PURI, Nisha; TURKAN, Yelda. Toward automated dimensional quality control of precast concrete elements using design BIM. **WIT Transactions on The Built Environment**, v. 169, p. 203-210, 2017. Disponível em: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/BIM17/BIM17019FU1.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2022.

RAUBER, Felipe Claus. **Contribuições ao projeto arquitetônico de edifícios em alvenaria estrutural**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2005. Disponível em:

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7931/Felipe%20Claus%20Rauber.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

SAMPAIO, R.F.; MANCINI, M.C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Rev. Bras. Fisioter.**, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 83-89, jan./fev. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbfis/a/79nG9Vk3syHhnSgY7VsB6jG/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 jul. 2022.

SILVEIRA, Naiara Ariana Nogueira Costa. **O papel do BIM para a qualidade do projeto: avaliação da técnica em escritório de arquitetura**. 2013. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais Escola de Engenharia, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9AZK6J/1/monografia_naiara_silveira.pdf. Acesso em: 11 nov. 2022.

TADDELE, Gebeyaw. **Assessment of problems in prefabricated concrete elements used in Addis Ababa building projects**. The case of building technology and construction sector, ECWC. Addis Ababa: National Academic Digital Repository of Ethiopia, 2018. (Master of Science in Construction Technology and Management) - Addis Ababa Science and Technology University. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/199939015.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2022.

TALBOT, Darren; FRANCIS, Stuart. Cost Model: Standardised School. 2012. **Building Magazine**. DISPONÍVEL EM; <https://www.building.co.uk/cost-model-standardised-schools/5032033.article>. Acesso em: 02 nov. 2022.

VIDIGAL, Lucas. **Entenda como a China pode construir um hospital em 10 dias**. Rio de Janeiro: Globo.com, 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/mundo/noticia/2020/01/31/entenda-como-a-china-pode-construir-um-hospital-em-10-dias.ghtml>. Acesso em: 19 nov. 2022.
WANG, Yaowu; YUAN, Zhenmin; SUN, Chengshuang. Research on assembly sequence planning and optimization of precast concrete buildings. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 24, Issue 2: p. 106–115, 2018.

YEE, A. A. Structural and Economic Benefits of Precast/Prestressed Concrete Construction. **PCI Journal**. 7 (8): 34–42, 2001. DOI: 10.15554/pcij.07012001.34.42. Disponível em: https://www.pci.org/PCI_Docs/Publications/PCI%20Journal/2001/July-Aug/Structural%20and%20Economic%20Benefits%20of%20Precast%20Prestressed%20Concrete%20Construction.pdf. Acesso em: 11 nov. 2022.

YUAN, Zhenmin; SUN, Chengshuang; WANG, Yaowu. Design for Manufacture and Assembly-oriented parametric design of prefabricated buildings. **Automation in Construction** 88, p.13–22, 2018. Disponível em: <https://daneshyari.com/article/preview/6695807.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2022.