ESG - ENVIRONMENTAL, SOCIAL AND GOVERNANCE
SINGEURB
IV Simpósio Nacional de Engenharia Urbana
Rio de Janeiro, 22 a 24 de novembro de 2023

PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA BASEADA EM BIBLIOMETRIA PARA A CONSTRUÇÃO *OFFSITE*

TECHNOLOGICAL PROSPECTION BASED ON BIBLIOMETRY FOR OFFSITE CONSTRUCTION

PACHECO, Alan Pereira Amorim[1]; NAJJAR, Mohammad[2]

[1]Universidade Federal do Rio de Janeiro, alanpamorimp@poli.ufrj.br
[2]Universidade Federal do Rio de Janeiro, mnajjar@poli.ufrj.br

RESUMO

A indústria da construção convive com escassez de mão de obra, baixa produtividade, alto desperdício de materiais e condições de trabalho inseguras. Em contraste, a construção *offsite* se apresenta como um método moderno de construção com potencial de trazer melhorias significativas em relação aos métodos convencionais. No entanto, para que haja maior eficiência da construção *offsite*, torna-se necessário estudar a sua combinação com tecnologias de automação. Nesse sentido, este artigoobjetiva visualizar tendências sobre construção *offsite* por intermédio de uma prospecção tecnológica baseada em bibliometria. Para atingir esse objetivo, foram selecionados 394 artigos científicos na base de dados *Scopus*. Esses artigos foram analisados, inicialmente, sob uma perspectiva macro que revelou um crescimento do número de publicações, os respectivos países de origem e os assuntos relevantes abordados durante o período de 2013 a 2022. A automação da construção *offsite* foi então analisada, sob a ótica meso, a partir da seleção criteriosa de publicações relacionadas ao tema. Os resultados demonstraram que as tecnologias de "modelagem e simulação" lideraram as pesquisas. Por fim, a análise micro revelou que o estudo de*BuildingInformationModelling* (BIM) e a sua integração com outras tecnologias emergentes constituem as principais tendências de automação da construção *offsite*.

Palavras-chave: indústria da construção, pré-fabricação, automação.

ABSTRACT

The construction industry faces labor shortages, low productivity, high waste of materials and unsafe working conditions. On the other hand, offsite construction presents itself as a modern construction method with the potential to bring significant improvements in relation to convenient methods. However, in order to achieve greater efficiency in offsite construction, it is necessary to study its combination with automation technologies. In this sense, thisarticle aims to visualize trends in offsite construction through technological prospecting based on bibliometrics. To achieve this objective, 394 scientific articles were selected from the Scopus

database. These articles were initially analyzed from a macro perspective that revealed an increase in the number of publications, the respective countries of origin and the relevant subjects involved during the period from 2013 to 2022. The automation of offsite construction was then proven, from the perspective meso, based on the careful selection of publications related to the topic. The results discovered that "modeling and simulation" technologies led the research. Finally, the micro analysis revealed that the study of Building Information Modeling (BIM) and its integration with other relevant emerging technologies are the main trends in offsite construction automation.

***Keywords**: construction industry, prefabrication, automation.*

1 INTRODUÇÃO

Não é de hoje que a construção convencional, caracterizada por processos artesanais com pouca precisão e uso intensivo de mão de obra,sofre críticas por seus impactos ambientais negativos e por sua baixa produtividade, qualidade e segurança(JIANG *et al*., 2019).

Estudos indicam que a indústria da construção civil é responsável, globalmente, por cerca de 40% do consumo de energia, 25% do consumo de água, 30% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e 36% da produção de resíduos(BERIZZI *et al*., 2021; LUNA-TINTOS *et al*., 2020).

Para além dos impactos ambientais, existe também uma preocupação social crescente relacionada ao déficit habitacional. No caso específico do Brasil, segundo relatório da Fundação João Pinheiro (2021), o déficit registrado, no ano de 2019, foi de 5,8 milhões de domicílios. Ademais, o relatório constatou que quase 25 milhões de moradias brasileiras apresentaram algum tipo de inadequação.

Para enfrentar as deficiências mencionadas, existe uma abordagem de construção que envolve a produção de componentesem ambiente fabril, sob condições controladas, e posterior transporte, posicionamento e montagem no canteiro de obras(JIANG *et al*., 2019). Trata-se da construção *offsite*, também conhecida, a depender do país, como pré-fabricação, construção industrializada, métodos modernos de construção ou construção modular(JANG; LEE; SON, 2022).

Desse modo, este artigoobjetiva visualizar tendências sobre construção *offsite*por intermédio de uma prospecção tecnológica baseada em bibliometria. Para tal, este artigo recorrerá, parcialmente, à metodologia descrita por Borschiver e Lemos (2016) para elaboração de *Technology Roadmaps.*

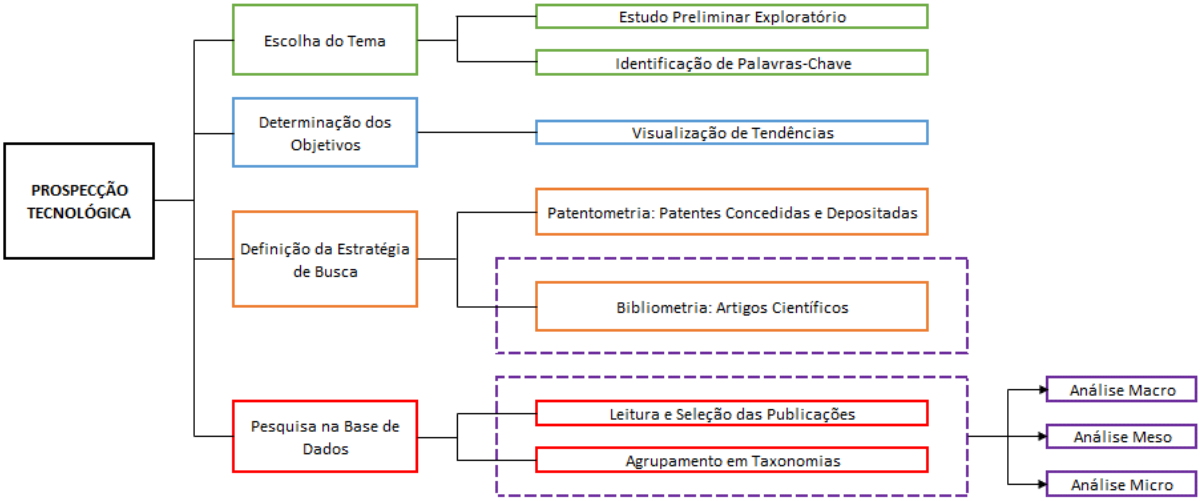
Segundo Borschiver e Lemos (2016), *Technology Roadmaps*são ferramentas que permitem a visualização de tendências, mudanças tecnológicas, oportunidades parainovação, desafios e ameaças, a partir da conjugação de dois métodos prospectivos: patentometria (análise quantitativa e qualitativa de informações de patentes concedidas e depositadas) e bibliometria (análise quantitativa e qualitativa de informações de artigos científicos).

2 METODOLOGIA DE TRABALHO

A metodologia de*Roadmapping*desenvolvida por Borschiver e Lemos (2016), abarca as seguintes etapas: pré-prospectiva (estudo preliminar), prospectiva ou prospecção tecnológica (definição da estratégia e análise dos resultados), pós-prospectiva (construção do*Roadmap* Tecnológico), pós-*Roadmap* (avaliação estratégica) e realimentação (atualização do *Roadmap* Tecnológico).

Em função do escopo delimitado para este trabalho, as etapas pré-prospectiva e prospectiva foram aglutinadas em uma única etapa e as demais foram desconsideradas. Além disso, optou-se por utilizar apenas o método prospectivo baseado em bibliometria. O fluxograma da metodologia de trabalho aplicada neste artigo está ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma da metodologia de trabalho



Fonte: Autores (2023)

A Figura 1 pode ser explicada da seguinte forma:

Escolha do tema: estudo preliminar exploratório sobre o assunto a ser pesquisado, no qual foram obtidas informações acerca de aspectos gerais e palavras-chave relacionados à construção *offsite*.

Determinação dos objetivos:o escopo delimitado para este artigo objetivou a visualização de tendências a partir de método prospectivo baseado em bibliometria.

Definição da estratégia de busca: as palavras-chave identificadas foram conectadas por meio de operadores booleanos específicos e restrições de pesquisa foram definidas para limitar os resultados dos documentos obtidos na base de dados.

Pesquisa na base de dados:a pesquisa documental (artigos científicos) foi realizada por meio de consulta no site da base de dados*Scopus* de acordo com a estratégia de busca orientada.

Análise dos dados:as informações extraídas da pesquisa na base de dados *Scopus*foram analisadas sob três diferentes níveis: macro, meso e micro.

3 DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE BUSCA

Para a prospecção bibliométrica, foram realizadas buscas por publicações na base de dados *Scopus* (http://www.scopus.com). O processo de pesquisa foi efetuado no dia 30 de agosto de 2023, o qual pode ser detalhado da seguinte forma:

I) Palavras-chave:*"offsite construction"; "off-site construction"; "modular construction"; "modular integrated construction"; "modular building"; "industrialized construction"; "industrialized building";"prefabrication"; "modern methods of construction"; "construction industry"*.

II) Período analisado:publicações entre 2013 a 2022 (últimos 10 anos completos).

III) Alcance da busca:título do artigo, resumo e palavras-chave.

IV) Tipos de documentos: artigos.

V) Área de estudo: Engenharia.

A Tabela 1 resume os resultados obtidos para a estratégia orientada de busca definida como ideal para os objetivos desse trabalho.

Tabela 1 – Estratégia de busca e seus resultados

Estratégia de Busca	Resultados
(TITLE-ABS-KEY("offsite construction") OR TITLE-ABS-KEY("off-site construction") OR TITLE-ABS-KEY("modular construction") OR TITLE-ABS-KEY("modular integrated construction") OR TITLE-ABS-KEY("modular building") OR TITLE-ABS-KEY("industrialized construction") OR TITLE-ABS-KEY("industrialized building") OR TITLE-ABS-KEY("prefabrication") OR TITLE-ABS-KEY("modern methods of construction") AND TITLE-ABS-KEY("construction industry")) AND PUBYEAR > 2012 AND PUBYEAR < 2023 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENGI"))	394

Fonte: Os autores

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

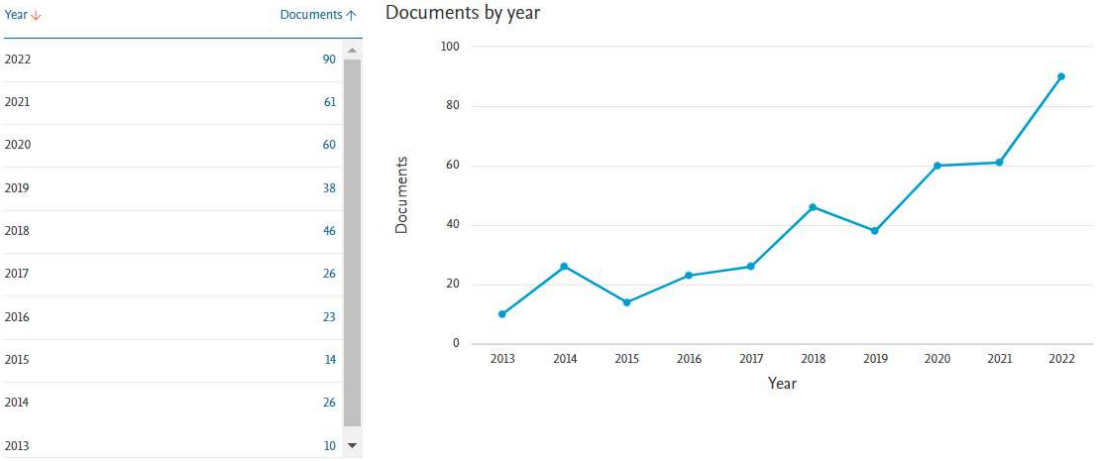
Nesta seção, as informações extraídas da pesquisa na base de dados*Scopus* serão analisadas sob três diferentes níveis, conforme explicitado a seguir:

- Nível macro: panorama geral das publicações sobre construção *offsite*, incluindo análises acerca da sua distribuição ao longo dos anos e por país ou território.
- Nível meso: abordagem mais restritiva do nível macro, consistindo na seleção, quantificação e agrupamento, em taxonomias, das publicações relacionadas a tecnologias de automação na construção *offsite*.
- Nível micro: abordagem mais restritiva do nível meso, consistindo na identificação e quantificação das tecnologias emergentes que foram objetos de estudo dentro da taxonomia mais relevante.

4.1 Análise Macro

A Figura 2 mostra a distribuição de publicações sobre construção *offsite* nos últimos 10 anos. A análise do gráfico revela um crescimento contínuo a partir de 2015 com uma queda pontual em 2019. O ano de 2022 foi o ano com maior concentração de artigos científicos, o que demonstra um interesse atual e expressivo pelo tema.

Figura 2 – Publicações de artigos científicos por ano (2013 – 2022)

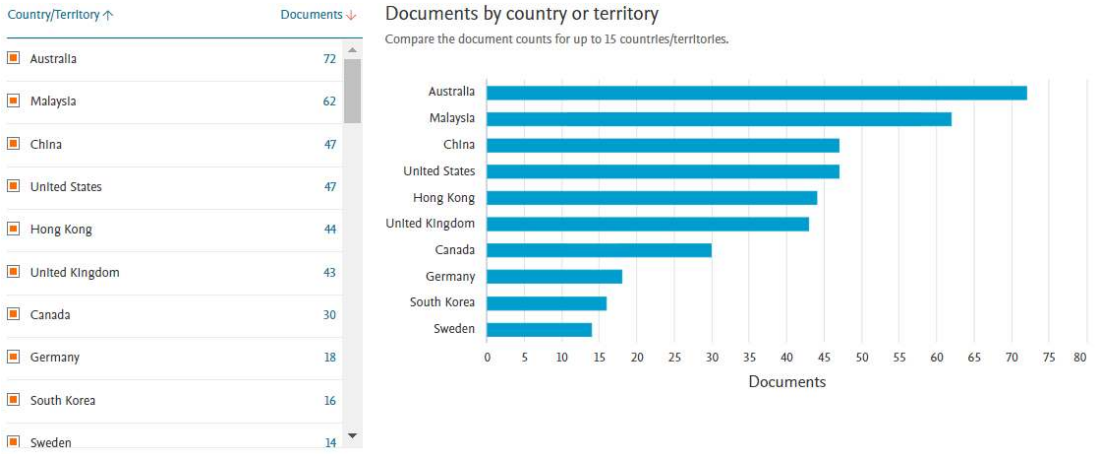


Year	Documents
2022	90
2021	61
2020	60
2019	38
2018	46
2017	26
2016	23
2015	14
2014	26
2013	10

Fonte: Base de dados *Scopus*(2023)

A Figura 3 apresentaos 10 países ou territórios com mais publicações sobre construção *offsite* durante o período de 2013 a 2022. A análise do gráfico revela que seis países (Austrália, Malásia, China, EUA, Hong Kong e Reino Unido) concentraram 80% do total de documentos. Embora não esteja no gráfico, cabe destacar que o Brasil contribuiu com apenas seisartigos científicos (2% do total).

Figura 3 – Publicações de artigos científicos por país ou território (2013 – 2022)



Country/Territory	Documents
Australia	72
Malaysia	62
China	47
United States	47
Hong Kong	44
United Kingdom	43
Canada	30
Germany	18
South Korea	16
Sweden	14

Fonte: Base de dados *Scopus*(2023)

Em relação aos principais assuntos abordados por essas publicações, constatou-se que foram relacionados à economia circular, geração e gerenciamento de resíduos, emissões de gases de efeito estufa (GEE), barreiras e desafios para sua adoção, aplicações em tipologias construtivas diversas (arranha-céus, residências, situações de emergência, etc.) e automação. Esse último tema será aprofundado nas próximas análises.

4.2 Análise Meso

Este artigo utilizou as classificações descritas por Gusmao Brissi *et al*. (2022) como taxonomias meso para descrever a automação da construção *offsite*. Segundo os autores, a automação engloba uma ampla gama de aplicativos e tecnologias que podem ser agrupadas em 5 categorias principais, conforme Quadro 1.

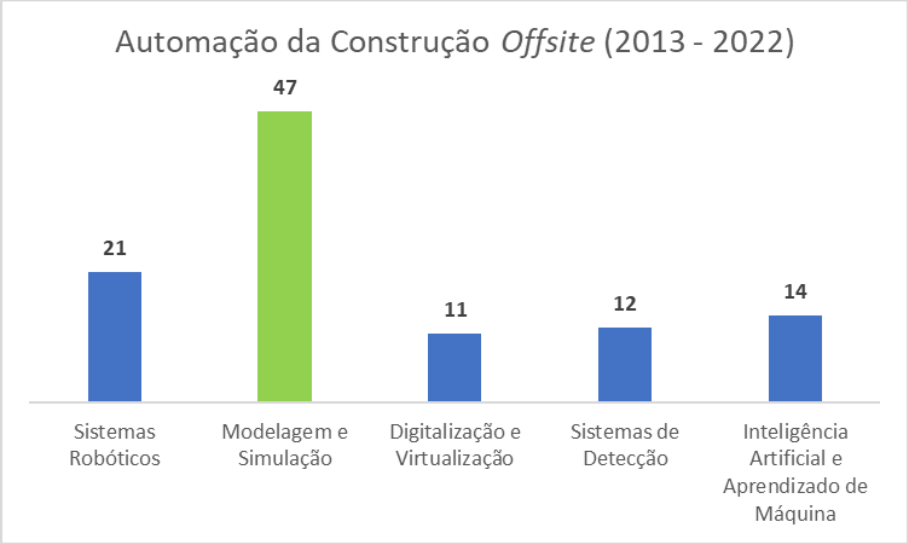
Quadro 1 – Conceituação das taxonomias meso

Automação da Construção *Offsite*	**Conceituação**
Sistemas Robóticos	Termo que envolveo uso de robôs, equipamentos automatizados, manufatura aditiva (impressão 3D), manufatura subtrativa (usinagem), manufatura assistida por computador, veículos aéreos não tripulados, veículos guiados automaticamente, dispositivos vestíveis e exoesqueletos.
Modelagem e Simulação	Termos que envolvem o uso de ferramentas BIM (3D, 4D e 5D), realidade virtual, realidade aumentada, realidade mista, simulação de jogos, modelos e simulações de computador.
Digitalização e Virtualização	Termos que envolvem o uso de sistemas de informações empresariais, computação em nuvem e plataformas digitais,Internet das Coisas/Internet dos Serviços e *Big Data*.
Sistemas de Detecção	Termo que envolveo uso de sistemas de localização em tempo real, varredura a laser, nuvem de pontos e detecção de imagem.
Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina	Termos que envolvem o uso de algoritmos, rede neural artificial, máquinas de vetores de suporte, sistemas baseados em regras e em conhecimento, análise de dados e processamento de linguagem natural.

Fonte: Gusmao Brissi *et al*. (2022)

Após leitura criteriosa dos resumos, títulos e palavras-chave dos 394 artigos científicos resultantes da pesquisa na base de dados *Scopus*, as publicações relacionadas à automação da construção *offsite* puderam ser quantificadas e agrupadas nas taxonomias de referência, como ilustrado na Figura 4. Cabe destacar que algumas publicações mesclaram diferentes tecnologias e que, por este motivo, um mesmo artigo pode estar representado em mais de uma taxonomia.

Figura 4 – Publicações de artigos científicos por taxonomia meso (2013 – 2022)



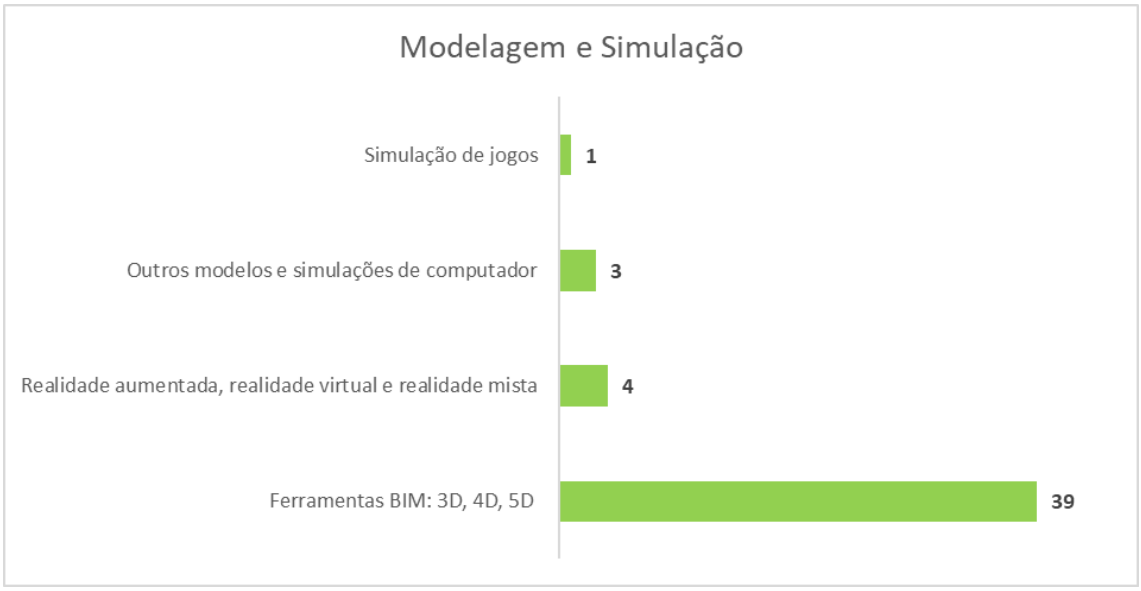
Fonte: Os autores(2023)

Os resultados da Figura4 mostramum predomínio absoluto de artigos científicos sobre tecnologias de "modelagem e simulação", revelando que as pesquisas sobre as demais taxonomias ainda se encontram em estado incipiente. No entanto, foi possível identificar tendências associadas a elas, a saber: 1) "sistemas robóticos": uso de robôs e manufatura aditiva (impressão 3D); 2) "digitalização e virtualização": *blockchain,* Internet das Coisas e Gêmeos Digitais; 3) "sistemas de detecção": identificação por radiofrequência, varredura a laser e nuvem de pontos; e 4) "inteligência artificial e aprendizado de máquina": uso de algoritmos e rede neural artificial.

4.3 Análise Micro

A Figura 5 detalha os artigos científicospresentes na taxonomia "modelagem e simulação" conforme seus objetos de pesquisa. A avaliaçãodo gráfico aponta que a tecnologia mais estudadadurante o período de 2013 a 2022 foi o *BuildingInformationModelling*(BIM). Esse resultado confirma que a tendência mundial de incentivo e impulsionamentodo uso de BIM na construção, especialmente por parte de políticas governamentais,tem surtido efeito.

Figura 5 – Publicações de artigos científicos por taxonomia micro (2013 – 2022)



Fonte: Os autores(2023)

O *BuildingInformationModelling*(BIM), ou Modelagem de Informação da Construção, é uma tecnologia de modelagem e simulação auxiliada por computador capaz dereproduzir as informações reais de projetos de construção e que tem como característica facilitar a colaboração entre as diversas partes interessadas(CHATZIMICHAILIDOU; MA, 2022).

Embora existam vários estudos sobre o uso do BIM de forma independente, a análise dos artigos científicos revelouuma tendência de pesquisas promissoras que envolvem a sua integração com outras tecnologias emergentes. Por exemplo, Pibal,Khoss e Kovacic (2022)eWei, Choi eLei (2022)estudaram a combinação de BIM com algoritmos de *design* para avaliação iterativa de opções de projeto para construção modular. Katiyar e Kumar (2022) propuseram um método de monitoramento automatizado do progresso da construção de estruturas pré-fabricadas de concreto por intermédio da integração de BIM e Internet das

Coisas.Rashidi*et al*. (2022) abordaram o planejamento da construção por meio da integração de BIM 4D com realidade virtual para um projeto de construção industrializado baseado em *Light metálica secundáriaFraming* (LSF). Arashpour *et al*. (2020) desenvolveram um sistema de monitoramento de qualidade para otimizar a pré-fabricação, onde nuvens de pontos geradas por *scanners* a laser são registradas e comparadas com modelos BIM para medir com precisão os desvios geométricos.

Desse modo, fica claro que, embora a automação da construção *offsite*ainda esteja muito ligada à adoção de ambientes virtuais baseados em BIM, existe uma janela de oportunidade para inovação a partir do uso de outras tecnologias emergentes, combinadas ou não.

5 CONCLUSÕES

A construção *offsite* é uma abordagem construtiva com potencial de mitigar muitos dos atuais desafiosdaindústriada construção, incluindo, por exemplo, baixa produtividade, escassez de mão-de-obra qualificada e impactos ambientais adversos. Por sua vez, a automação dos processos, por meio da aplicação de tecnologias emergentes, é um fator que tende a impactar na eficiência deste método de construção em ambiente controlado. Portanto, a combinação de ambos podeintroduzir novos desenvolvimentos na indústria da construção civil.

Para identificação de tendências atreladas a esse campo de estudo, este artigo propôs uma prospecção tecnológicabaseada em bibliometria. Desse modo, a metodologia de trabalho foi baseada na busca e análise de publicações gerais sobre construção *offsite*, em nível macro, e de publicações associadas à sua automação, em níveis meso e micro. Sob a ótica meso, estas foram quantificadas e categorizadas em taxonomias e, sob a perspectiva micro, foram extraídas informações sobre os objetos de pesquisa da taxonomia mais relevante.

Os resultados forneceram informações acerca de tendências de pesquisas sobre o tema ao longo dos últimos 10 anos (2013 – 2022). A nível macro, a análise demonstrou um crescimento no número de publicações ao longo do tempo, com destaque para países como Austrália e Malásia. A nívelmeso, constatou-se que a taxonomia "modelagem e simulação" concentrou a maior quantidade de artigos científicos sobre automação da construção *offsite*. A nível micro, o *BuildingInformationModelling* (BIM) evidenciou-se como o objeto de pesquisa mais pesquisado, revelando ser uma tecnologia emergente relevante para a construção *offsite*.

Por fim, cabe destacar que a prospecção tecnológica realizada representa um retrato do horizonte delimitado pela pesquisa. Como a inovação tecnológica é umprocesso dinâmico, há que se considerar a necessidade constante de atualização dosestudos sobre as tendências de automação de modo a se obter descrições fidedignas.

Para futuros trabalhos, recomenda-se que sejam pesquisadas outras fontes além do *Scopus*. Além disso, sugere-se que as prospecções tecnológicas incluam a análise de documentação patentária. Ademais, trabalhos que incluam as etapas de *Roadmapping* não consideradas neste artigo podem contribuir com os estudos sobre o tema.

REFERÊNCIAS

ARASHPOUR, M. et al. Performance-based control of variability and tolerance in off-site manufacture and assembly: optimization of penalty on poor production quality. **Construction Management and Economics**, v. 38, n. 6, p. 502–514, 2 jun. 2020.

BERIZZI, C. et al. Sustainable and affordable prefabricated construction: Developing a natural, recycled, and recyclable mobile home. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 15, 2021.

BORSCHIVER, S.; LEMOS, A. **TECHNOLOGY ROADMAP - Planejamento Estratégico para alinhar Mercado-Produto-Tecnologia**. Ed. Interciência, 2016.

CHATZIMICHAILIDOU, M.; MA, Y. Using BIM in the safety risk management of modular construction. **Safety Science**, v. 154, n. January, p. 105852, 2022.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil –2016-2019**. Belo Horizonte: FJP, 2021.

GUSMAO BRISSI, S. et al. A review on the interactions of robotic systems and lean principles in offsite construction. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 29, n. 1, p. 383–406, 2022.

JANG, Y. E.; LEE, J. M.; SON, J. W. Development and Application of an Integrated Management System for Off-Site Construction Projects. **Buildings**, v. 12, n. 7, 2022.

JIANG, Y. et al. Sustainable performance of buildings through modular prefabrication in the construction phase: A comparative study. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 20, 2019.

KATIYAR, A.; KUMAR, P. Automated Construction Progress Monitoring of Prefabricated Concrete Structures using Building Information Modeling and Internet of Things. **International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication**, v. 10, n. 7, p. 14–18, 2022.

LUNA-TINTOS, J. F. et al. "Methodology comparative analysis" in the solar decathlon competition: A proposed housing model based on a prefabricated structural system. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 6, 2020.

PIBAL, S. S.; KHOSS, K.; KOVACIC, I. Framework of an algorithm-aided BIM approach for modular residential building information models. **International Journal of Architectural Computing**, v. 20, n. 4, p. 777–800, 4 nov. 2022.

RASHIDI, A. et al. Construction planning through 4D BIM-based virtual reality for light steel framing building projects. **Smart and Sustainable Built Environment**, 2022.

SCOPUS. Site da Internet. Disponível em: <www.scopus.com>.Acesso: Ago, 2023.

WEI, Y.; CHOI, H.; LEI, Z. A generative design approach for modular construction in congested urban areas. **Smart and Sustainable Built Environment**, v. 11, n. 4, p. 1163–1181, 2022.