XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8692

Lean Construction 4.0: Fatores Críticos em Perspectiva Bibliométrica

Lean Construction 4.0: Critical Factors in a Bibliometric Perspective

Cecília da Silva Weigert
UDESC | Joinville | Brasil | cecilia.weigert@edu.udesc.br
Leonardo do Nascimento Melo
UDESC | Joinville | Brasil | leonardo.melo@edu.udesc.br
Carla Roberta Pereira
The Open University | Milton Keynes | Inglaterra | carla.pereira@open.ac.uk
Luciana Rosa Leite
UDESC | Joinville | Brasil | luciana.leite@udesc.br

Resumo

Este estudo busca identificar tendências de pesquisa, eixos temáticos e fatores críticos de implementação do *Lean Construction* 4.0 sob uma perspectiva bibliométrica. Para isso, adotou-se uma abordagem bibliométrica a partir de uma revisão sistemática de literatura. Foram analisados 68 artigos publicados entre 2016 e 2025 nas bases *Web of Science, Scopus* e nos anais do IGLC. Os resultados indicam crescimento de publicações após 2020, com destaque para o BIM como elemento central na integração entre práticas enxutas e tecnologias digitais. Contudo, verificou-se que os fatores críticos de implementação organizacionais, tecnológicos e processuais ainda são abordados de forma fragmentada, evidenciando a ausência de uma abordagem sistêmica na literatura. A contribuição do estudo consiste em evidenciar essa lacuna e propor direções para o avanço do *Lean Construction* 4.0 como estratégia de transformação digital na construção civil.

Palavras-chave: Tecnologias digitais. Transformação digital. Bibliometrix.

Abstract

This study aims to identify research trends, thematic axes, and critical implementation factors of Lean Construction 4.0 from a bibliometric perspective. To this end, a bibliometric approach was adopted based on a systematic literature review. A total of 68 articles published between 2016 and 2025 were analyzed from the Web of Science and Scopus databases, as well as the proceedings of the IGLC. The results show a significant increase in publications after 2020, highlighting BIM as a central element in integrating lean practices and digital technologies. However, the findings indicate that critical implementation factors organizational, technological, and process-related are still addressed in a fragmented manner, revealing the lack of a systemic approach in the literature. The study contributes by highlighting this gap and proposing directions for advancing Lean Construction 4.0 as a strategy for digital transformation in the construction industry.

Keywords: Digital technologies. Digital transformation. Bibliometrix.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8692

INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil contribui para o Produto Interno Bruto, a geração de empregos e a infraestrutura urbana em diversos países [1]. No entanto, o setor apresenta baixa produtividade, além de altos índices de desperdício, retrabalho e ineficiências na gestão de processos [2]. Esse cenário tem impulsionado a busca por abordagens que promovam melhorias no desempenho dos empreendimentos.

O *Lean Construction* (LC) surge como uma adaptação do pensamento enxuto à construção civil, com foco na eliminação de desperdícios, no aumento do valor entregue ao cliente e na melhoria contínua dos processos [3]. O LC busca otimizar fluxos produtivos, integrar equipes e elevar o desempenho dos empreendimentos [4].

A Construção 4.0 (C4.0) caracteriza-se pela incorporação de tecnologias digitais aos sistemas construtivos, como Internet das Coisas (IoT), automação, sistemas ciberfísicos e análise de dados, promovendo maior conectividade e integração entre processos, dados e tecnologias [5,6]. Ferramentas como o *Building Information Modeling* (BIM) têm sido amplamente adotadas, contribuindo para a modernização, a digitalização e a melhoria da gestão da informação ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos [7].

A convergência entre os princípios do LC e tecnologias associadas à C4.0 dá origem ao conceito de *Lean Construction* 4.0 (LC 4.0), que propõe a integração entre práticas enxutas e digitalização avançada como estratégia para potencializar ganhos de eficiência, transparência e desempenho na construção [4].

A literatura destaca que essa evolução não deve se restringir à adoção de tecnologias, mas requer uma abordagem sistêmica que integre a tríade "*pessoas–processos–tecnologia*" como elemento central da transformação digital [8]. No entanto, a implementação do LC enfrenta desafios, como barreiras culturais, resistência à mudança e a necessidade de alinhamento entre *stakeholders* no processo construtivo [9]. A aplicação isolada de ferramentas *Lean*, sem a devida integração sistêmica, tende a limitar os ganhos de desempenho pretendidos [4,10].

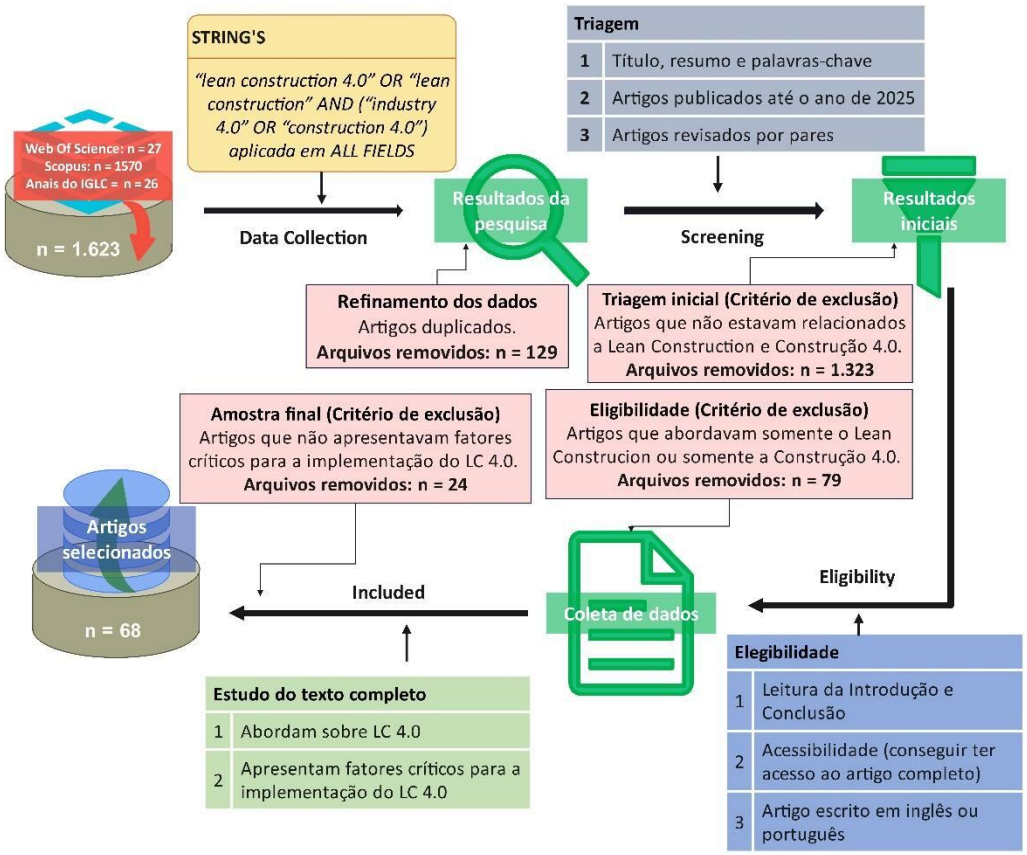
Apesar do avanço das discussões sobre a adoção do LC 4.0, o campo ainda apresenta diferentes abordagens conceituais e níveis distintos de maturidade na implementação. Assim, emerge a seguinte questão de pesquisa: *Quais são as tendências de pesquisa e os principais eixos temáticos relacionados aos fatores críticos para a implementação do Lean Construction 4.0?* Diante disto, o presente estudo tem como objetivo identificar tendências de pesquisa e os principais eixos temáticos relacionados aos fatores críticos para a implementação do LC 4.0. Para isso, utiliza-se a análise bibliométrica da literatura, permitindo o mapeamento sistemático da produção científica e a identificação de padrões e direcionamentos de pesquisa [11].

MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa foi conduzida por meio de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) com análise bibliométrica para examinar a estrutura e a evolução da produção científica

relacionada aos fatores críticos para a implementação do LC 4.0 [12]. A bibliometria permite identificar padrões de publicação, palavras-chave, instituições e países [11,13]. O método foi estruturado em cinco etapas (Figura 1).

Figura 1: Etapas da revisão sistemática de literatura



Fonte: os autores.

Na etapa de refinamento, foram removidos 129 artigos duplicados. Em seguida, realizou-se a leitura de títulos, resumos e palavras-chave. Neste filtro, 1.323 artigos foram excluídos por terem sido recuperados considerando a seleção em *ALL FIELDS.* Ou seja, embora mencione em algum momento do texto a *string*, não são diretamente relacionados ao LC 4.0 (por exemplo, estudos sobre *lean* em hospitais), conforme sugere [12].

Os artigos selecionados foram avaliados quanto à elegibilidade visando verificar o alinhamento com os fatores críticos para implementação do LC 4.0. Os metadados foram organizados no *Excel* para padronização das informações [11,13], incluindo a normalização de palavras-chave e unificação de variações como *Lean Construction* 4.0 e LC 4.0.

As análises bibliométricas foram conduzidas nos *softwares VOSviewer* e *Biblioshiny* (R). O *VOSviewer* foi utilizado para mapear a rede de coocorrência de palavras-chave [14], enquanto o *Biblioshiny* apoiou a análise e visualização do mapa temático [15]. A evolução temática foi gerada no *Biblioshiny* a partir da análise de coocorrência de palavras-chave, empregando o algoritmo de Louvain para identificação dos temas e as métricas de Callon para sua caracterização [16]. Os resultados permitem compreender

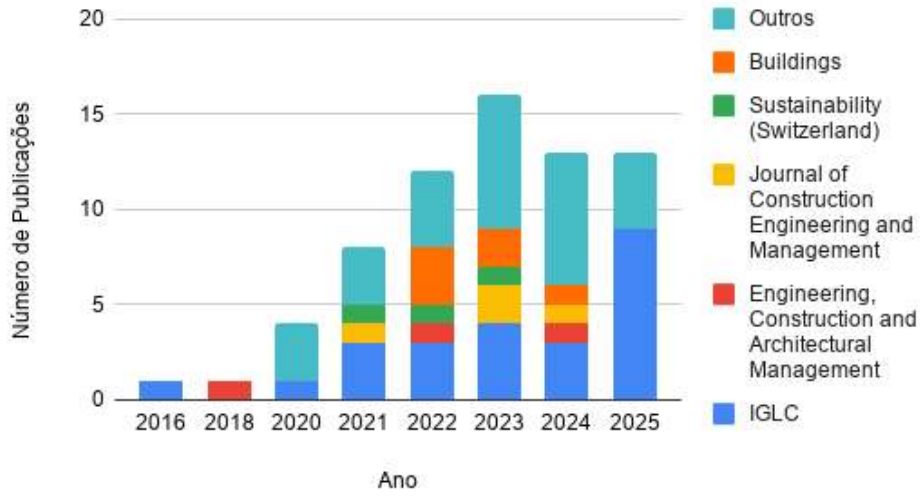
tanto a evolução temporal quanto a distribuição das publicações por fonte entre a amostra, além de possibilitar a identificação de tendências no desenvolvimento da área [15,17]. A análise bibliométrica contempla exclusivamente os 68 artigos relacionados aos fatores críticos para a implementação do LC 4.0.

RESULTADOS

EVOLUÇÃO TEMPORAL

A Figura 2 apresenta a distribuição temporal dos artigos analisados, com predominância a partir de 2020, indicando o recente interesse acadêmico pelo tema [18]. Esse movimento foi intensificado pela pandemia de COVID-19, que impulsionou a busca por eficiência, resiliência e a adoção de tecnologias digitais, ampliando pesquisas sobre LC 4.0 [19,20].

Figura 2: Evolução temporal das publicações por fonte



Fonte: os autores.

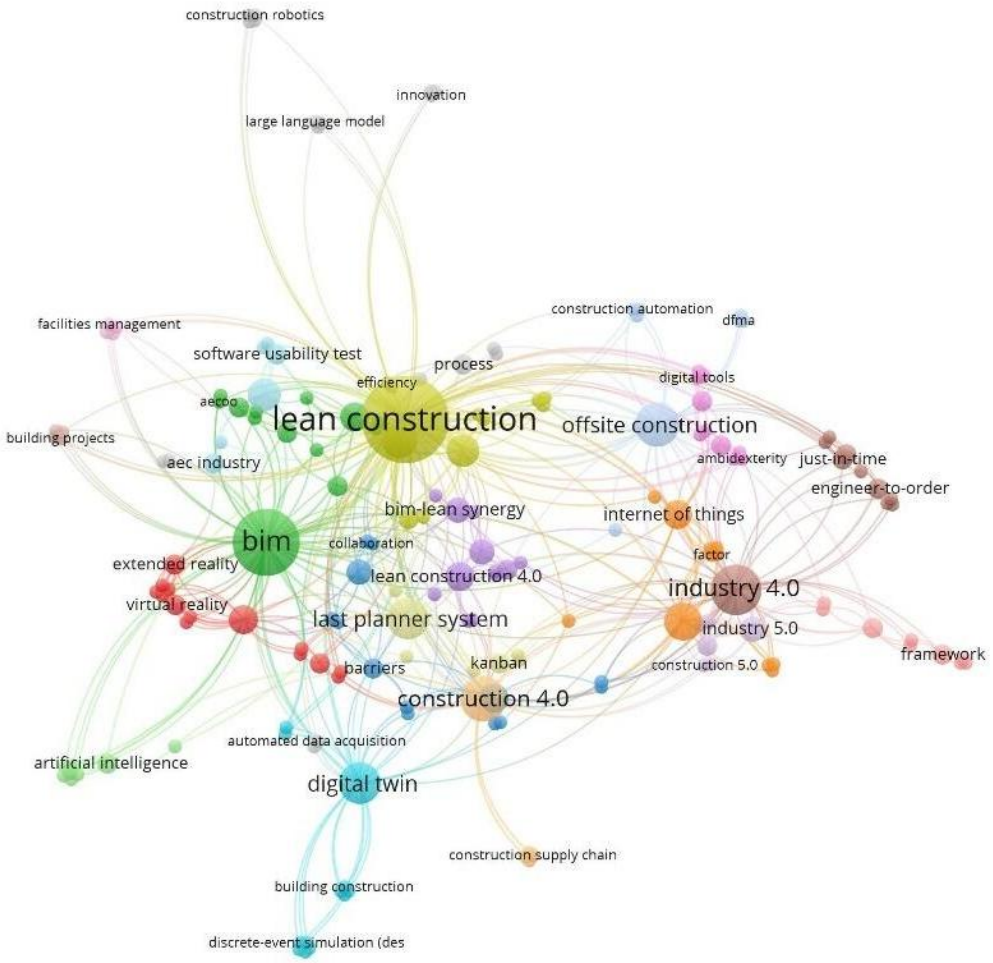
A amostra analisada está publicada em periódicos de alto impacto na área. Destacam-se o *Journal of Construction Engineering and Management* e o *Engineering, Construction and Architectural Management*, ambos classificados no quadrante Q1 (>75%) em bases de dados internacionais, como o *Scopus*, o que reforça a relevância e a qualidade científica das pesquisas analisadas nesta amostra. Adicionalmente, os anais do IGLC que, embora não classificados como periódicos tradicionais, configura-se como um dos principais fóruns internacionais da área, com forte influência na disseminação de estudos sobre LC [3,21].

ANÁLISE DE COOCORRÊNCIA DE PALAVRAS-CHAVE

A rede de coocorrência de palavras-chave (Figura 3) evidencia a estrutura da produção científica, mostrando a articulação dos principais conceitos na amostra analisada. O termo *lean construction* ocupa posição central, conectado a práticas de gestão enxuta e a tecnologias digitais, com destaque para BIM, *Industry* 4.0, *digital twin*, IoT e *Construction* 4.0, indicando a convergência entre métodos gerenciais e soluções tecnológicas na construção civil [22].

A Figura 3 ilustra os principais *clusters* da literatura pesquisada, mostrando como conceitos de digitalização da construção e filosofia *lean* se articulam no campo. Sob a ótica dos fatores críticos para implementação do LC 4.0, esses agrupamentos também revelam lacunas que limitam a integração entre as abordagens [23,24].

Figura 3: Rede de coocorrência de palavras-chave sobre LC 4.0



Fonte: os autores.

Observa-se que o termo *lean construction* ocupa posição central, indicando seu papel estruturante. O *cluster* reúne conceitos ligados ao planejamento da produção, melhoria contínua e redução de desperdícios [25,26,27]. Embora essa centralidade indique consolidação teórica, também sugere dependência de fundamentos já estabelecidos, sem avanço proporcional na aplicação integrada com tecnologias digitais, evidenciando barreiras à implementação do LC no contexto da Construção 4.0 [24,28].

O *cluster* verde destaca o BIM como a principal tecnologia associada à gestão da produção. Embora reconhecido como facilitador da integração de processos, sua posição na rede indica que a articulação entre BIM e LC pode ainda está em consolidação, evidenciando a integração entre essas abordagens como um fator crítico, cuja ausência limita os ganhos de eficiência e coordenação [5, 29].

Os conceitos como automação, digitalização e sistemas inteligentes, apesar de representarem avanços na transformação digital, aparecem pouco conectados ao *lean*, indicando um possível desalinhamento entre inovação tecnológica e práticas enxutas na amostra de artigos analisada. Esse cenário evidencia fatores críticos relacionados à capacidade organizacional, à infraestrutura tecnológica e à integração sistêmica, indicando que a adoção isolada de tecnologias não garante melhorias no desempenho dos processos construtivos [18,30,31].

Por sua vez, termos associados ao uso de dados e tecnologias, como *digital twin* e *Internet of Things,* encontram-se em posição mais periférica na rede, sugerindo que essas tecnologias ainda não estão plenamente integradas ao núcleo central do campo. Isso pode indicar um fator crítico relacionado à maturidade digital e à capacidade de gestão da informação, indicando que a transformação digital parece ainda se encontrar em estágio de desenvolvimento no setor da construção civil [32,33].

A análise da rede mostra que a integração entre LC e tecnologias digitais ocorre de maneira desigual e fragmentada. Sob a ótica dos fatores críticos, desafios relacionados à integração tecnológica, capacitação profissional, cultura organizacional e gestão da informação ainda limitam a consolidação do LC 4.0. Nesse sentido, a literatura aponta que a transformação digital depende não apenas da evolução tecnológica, mas da integração entre pessoas, processos e tecnologias, configurando um fator crítico para sua implementação [24,34,35].

ANÁLISE DO MAPA TEMÁTICO

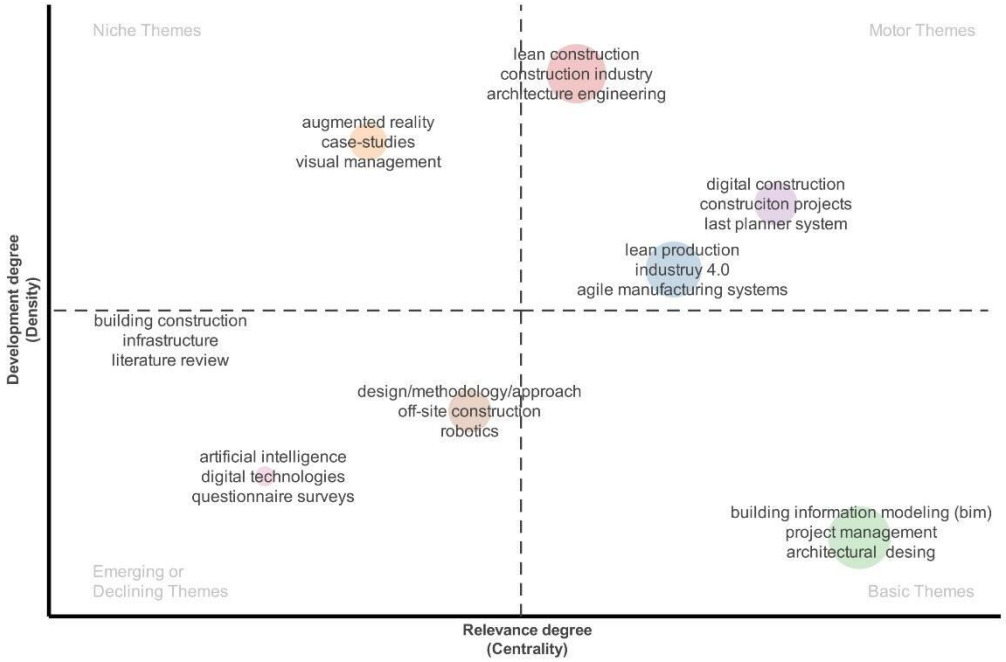
A Figura 4 apresenta o mapa temático da amostra indicando a relevância e o nível de desenvolvimento dos temas [16]. Observa-se que temas consolidados, como *Lean Construction*, localizados no quadrante de *Motor Themes*, demonstram elevado nível de desenvolvimento, representando maturidade desta temática na amostra analisada.

Temas como BIM e *project management*, posicionados no quadrante de *Basic Themes*, indicam sua notoriedade estrutural na amostra analisada, ao mesmo tempo em que podem indicar lacunas relacionadas à integração efetiva com os princípios do LC, uma vez que aparecem como temas de baixa densidade. Essa limitação é discutida na literatura, que aponta dificuldades na aplicação conjunta dessas abordagens [36].

No que se refere aos temas emergentes, como *artificial intelligence* e *digital technologies*, observa-se que estes ainda apresentam baixo grau de desenvolvimento e centralidade. Esse posicionamento destaca a baixa maturidade dessas tecnologias no contexto da construção civil, apesar de seu potencial inovador [22].

Por outro lado, temas classificados como nicho, como *augmented reality* e *visual management*, apresentam elevado grau de desenvolvimento, porém baixa conexão com o restante da literatura analisada, indicando aplicações ainda restritas e pouco integradas aos principais fluxos de pesquisa [37].

Figura 4: Mapa temático das palavras-chave da literatura baseado em centralidade e densidade



Fonte: os autores.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Figura 2 indica que os estudos sobre LC 4.0 são recentes, com concentração de publicações a partir de 2020, acompanhando a difusão da Indústria 4.0 e o avanço da digitalização na construção civil [23].

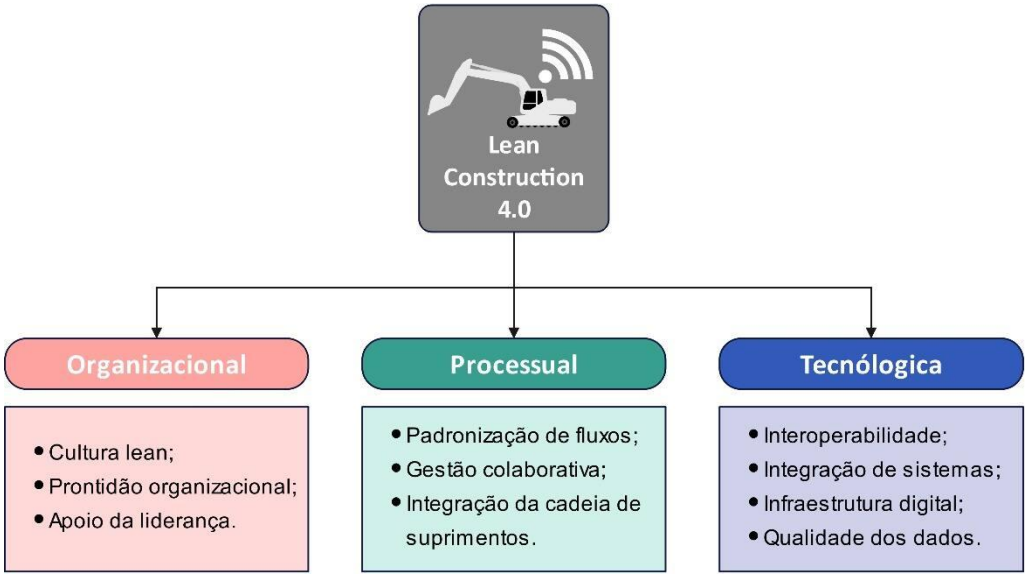
A análise de coocorrência de palavras-chave (Figura 3), considerando os fatores críticos para a implementação do LC 4.0, reforça a centralidade do BIM como elo entre práticas *lean* e digitalização, conectando tecnologias emergentes a métodos consolidados de planejamento [22]. Apesar dessa convergência, observam-se gargalos relacionados à maturidade digital, com tecnologias ainda em estágio de formação, e à integração entre tecnologias e todas as etapas dos processos no setor [18].

A Figura 4 ilustra dois eixos estruturantes, o LC como base processual e a C4.0 como vetor tecnológico. Entre os *Motor Themes*, destacam-se LC, *Industry* 4.0, *Last Planner System* e Digital Construction, que compõem o núcleo central do campo na amostra. Os *Basic Themes*, como BIM e Project Management, atuam como pilares de integração entre processos e tecnologias [22], enquanto os *Niche e Emerging/Declining Themes*, como *Augmented Reality*, *Artificial Intelligence* e *Digital Technologies*, indicam temas ainda em desenvolvimento.

Diante disso, os achados permitem avançar para uma organização analítica dos fatores críticos para a implementação do LC 4.0. A Figura 5 apresenta os eixos temáticos identificados a partir da análise dos 68 artigos selecionados, com base no mapa temático da Figura 4, agrupados nas dimensões organizacional, processual e tecnológica. Esses eixos são propostos como direcionadores para a compreensão dos fatores críticos de implementação, oferecendo um recorte mais objetivo e aplicável à

construção civil e contribuindo para o avanço das pesquisas e a preparação das organizações para a adoção do LC 4.0.

Figura 5: Eixos temáticos necessários para o desenvolvimento e implementação do LC 4.0



Fonte: os autores.

Os eixos temáticos agrupam os fatores de implementação do LC 4.0, e também sugerem suas relações de interdependência. O eixo organizacional destaca que a adoção do LC 4.0 está associada à cultura organizacional, à liderança e à capacidade de gestão da mudança, aspectos apontados como críticos em estudos sobre transformação digital no setor [38].

No eixo processual, verifica-se que a padronização de fluxos, a gestão colaborativa e a integração da cadeia de suprimentos viabilizam a aplicação dos princípios *Lean* em ambientes digitalizados. Estudos reforçam que a integração entre LC, BIM e tecnologias emergentes é necessária para melhorar eficiência, colaboração e desempenho dos projetos [22].

O eixo tecnológico evidencia que a interoperabilidade de sistemas e a qualidade dos dados são fatores críticos para sustentar a transformação digital. Entretanto, pesquisas indicam que ainda existem lacunas relacionadas à maturidade digital e à integração efetiva dessas tecnologias no setor [18]. Os resultados reforçam que a implementação do LC 4.0 depende da articulação entre fatores organizacionais, processuais e tecnológicos, sendo essa integração apontada como condição necessária para o avanço da construção enxuta e digital [24].

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou os fatores de implementação do LC 4.0 por meio de uma abordagem bibliométrica, organizando os achados em eixos temáticos. Os resultados indicam que a amostra é composta por estudos recentes, impulsionados pela difusão do *Lean Construction* e pela digitalização na construção civil. Evidenciou-se a centralidade do BIM como elemento integrador, bem como a coexistência de temas

consolidados e emergentes. Foram propostos os eixos organizacional, processual e tecnológico como direcionadores para a compreensão dos fatores críticos de implementação do LC 4.0.

A análise sugere que a implementação do LC 4.0 depende da articulação entre cultura organizacional, processos e integração tecnológica, não se limitando à adoção de tecnologias digitais. A falta de alinhamento entre essas dimensões tende a comprometer os resultados, reforçando a necessidade de uma abordagem sistêmica. Como contribuição, o estudo organiza analiticamente os principais fatores de implementação do LC 4.0, oferecendo subsídios para pesquisas futuras e para a tomada de decisão no setor da construção civil.

Os resultados apresentados neste estudo são a primeira etapa de um projeto de pesquisa maior que investiga em profundidade os fatores críticos para a implementação do LC 4.0. Embora aqui se apresente uma etapa inicial, os resultados obtidos já fornecerem uma visão estruturada da produção científica e das principais tendências de pesquisa na área.

Como limitações, destacam-se a dependência das bases de dados selecionadas, a restrição a determinados idiomas, fatores que podem ter influenciado os resultados. Assim, recomenda-se que estudos futuros ampliem as bases analisadas, considerem diferentes contextos geográficos e realizem validações empíricas dos eixos propostos. Por fim, observa-se que o avanço do LC 4.0 está diretamente associado à capacidade organizacional de integrar, de forma estratégica, pessoas, processos e tecnologias.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – FAPESC (FAPESC 2025TR1479).

Declaração

Durante a preparação deste artigo, os autores utilizaram as ferramentas *Copilot* (*Microsoft 365*), *Claude* (*Anthropic*) e *Gemini* 3.5 (*Google*) para sugestão de imagens e revisão do texto. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] CUCOS, S.; TURCAN, R. Role of the construction industry in economic growth and sustainable development. **Journal of Social Sciences**, v. 8, n. 1, p. 25–38. 2025. doi.org/10.52326/jss.utm.2025.8(1).02.

[2] LOVE, P. E. D. *et al*. State of Science: Why Does Rework Occur in Construction? What Are Its Consequences? And What Can be Done to Mitigate Its Occurrence? **Engineering**, v. 18, p. 246–258. 2022. doi.org/10.1016/j.eng.2022.05.010

[3] KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. 1992.

[4] SALEM, O. *et al*. Lean Construction: From Theory to Implementation. **Journal of Management in Engineering**, v. 22, n. 4, p. 168–175, out. 2006. doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2006)22:4(168)

[5] SACKS, R. *et al*. Construction with digital twin information systems. **Data-Centric Engineering**, v. 1, p. e14. 2020. doi.org/10.1017/dce.2020.16

[6] OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. **Computers in Industry**, v. 83, p. 121–139. 2016. doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006

[7] AZHAR, S. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. **Leadership and Management in Engineering**, v. 11, n. 3, p. 241–252. 2011. 10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127

[8] SANDERS, A.; ELANGESWARAN, C.; WULFSBERG, J. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 9, n. 3, p. 811, 21 set. 2016. 0.3926/jiem.1940

[9] ROMO, R. *et al*. **Lean Construction Barriers From the Organizational Culture Lens**. 2 jun. 2025.

[10] ABUELAISH, R.; TOĞAN, V. Integration of Lean Construction and Buffer Management – A Systematic Literature Review. **Lean Construction Journal**, p. 85–107, 31 dez. 2024. 10.60164/ydox6cuz0

[11] DONTHU, N. *et al*. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 133, p. 285–296, set. 2021. 10.1016/j.jbusres.2021.04.070

[12] TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207–222, 16 set. 2003.

[13] ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, v. 18, n. 3, p. 429–472, 22 jul. 2015. 10.1177/1094428114562629

[14] VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523–538, 31 ago. 2010.

[15] ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959–975, nov. 2017. doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007

[16] ARIA, M. *et al*. Thematic analysis as a new culturomic tool: the social media coverage on COVID-19 pandemic in Italy. **Sustainability**, v. 14, n. 6, p. 3643, 2022. 10.3390/su14063643

[17] CHEN, C. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 57, n. 3, p. 359–377, fev. 2006. 10.1002/asi.20317

[18] OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. **Computers in Industry**, v. 83, p. 121–139, dez. 2016. 10.1016/j.compind.2016.09.006

[19] COLARES, A. C. V.; GOUVÊA, D. A. P.; COSTA, J. S. Impactos da pandemia do covid-19 no setor de construção civIl. **Percurso Acadêmico**, v. 11, n. 21, p. 188–208, 7 dez. 2021.

[20] STATSENKO, L. *et al*. Construction 4.0 technologies and applications: a systematic literature review of trends and potential areas for development. **Construction Innovation**, v. 23, n. 5, p. 961–993, 27 nov. 2023. 10.1108/CI-07-2021-0135

[21] SARHAN, S.; FOX, A. Barriers to implementing lean construction in the UK construction industry. **The Built & Human Environment Review**, v. 6, p. 1–17, 2013.

[22] LIKTA, A. J. *et al*. A guideline for BIM and lean integrated construction practice. **Smart and Sustainable Built Environment**, v. 14, n. 4, p. 1264–1291, 2025. https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2024-0098

[23] SCHULZE, F.; DALLASEGA, P. Industry 4.0 concepts and lean methods mitigating traditional losses in engineer-to-order manufacturing with subsequent assembly on-site: A framework. **Procedia Manufacturing**, v. 51, p. 1363-1370. 2020. doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.190

[24] HATOUM, M. B.; NASSEREDDINE, H.; BADURDEEN, F. Reengineering construction processes in the era of construction 4.0: a lean-based framework. In: 29th International Group for Lean Construction Conference. **Anais...** 2021. 10.24928/2021/0126

[25] PELTOKORPI, A. *et al*. **Developing a Framework for Systemic Transformation of the Construction Industry.** 2021.

[26] MARINELLI, M. Human–Robot Collaboration and Lean Waste Elimination: Conceptual Analogies and Practical Synergies in Industrialized Construction. **Buildings**, v. 12, n. 12, p. 2057, nov. 2022. doi.org/10.3390/buildings12122057

[27] TREVIÑO-ELIZONDO, B. L.; GARCÍA-REYES, H.; PEIMBERT-GARCÍA, R. E. A Maturity Model to Become a Smart Organization Based on Lean and Industry 4.0 Synergy. Sustainability, v. 15, n. 17, 2023. doi.org/10.3390/su151713151

[28] GARCÉS, G. *et al*. Systematic review of Lean Construction: an approach to sustainability and efficiency in construction management**. Journal of Infrastructure Preservation and Resilience**, v. 6, n. 1, p. 6, 31 jan. 2025. doi.org/10.1186/s43065-025-00119-1

[29] DALLASEGA, P.; RAUCH, E.; LINDER, C. Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. **Computers in Industry**, v. 99, p. 205–225, ago. 2018. doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.039

[30] FANG, Y.; GAO, S. Construction 4.0 technology and lean construction ambidexterity capability in China's construction industry: a sociotechnical systems perspective. **Construction Innovation: Information, Process, Management,** 2024. doi.org/10.1108/CI-12-2023-0302

[31] FUENTES-DEL-BURGO, J.; FERNÁNDEZ, J. P. R.; NAVARRO-ASTOR, E. Kanban Applied to Construction: A Literature Review. **Construction Economics and Building**, v. 24, n. 4–5, p. 43–57, 2024. 10.5130/AJCEB.v24i4/5.8642

[32] MARTINEZ, J. G. *et al*. Practices and barriers to the adoption of digital twin construction in latin america. Annual Conference of the International Group for Lean Construction, **Anais...**, v. 33, p. 598–609, 2025. 10.24928/2025/0238

[33] MUÑOZ-LA RIVERA, F. *et al*. A Comprehensive Framework for Integrating Extended Reality into Lifecycle-Based Construction Safety Management. **Applied Sciences**, v. 15, n. 10, 2025. doi.org/10.3390/app15105690

[34] SCHULZE, F. *et al*. The mitigation effect of Industry 4.0 technologies on Lean implementation barriers in Engineer-to-Order companies: A Multiple Case Study**. Production Planning and Control,** 2025. doi.org/10.1080/09537287.2025.2468449

[35] MUSA, M. M. *et al*. Embracing the future with leanbuild software: the rise of digital construction. Annual Conference of the International Group for Lean Construction, **Anais...**, v. 33, p. 869–880, 2025. doi.org/10.24928/2025/0270

[36] EASTMAN, C. *et al*. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. 2. ed. Hoboken: Wiley, 2011.

[37] CHI, H.-L.; KANG, S.-C.; WANG, X. Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction. **Automation in Construction**, v. 33, p. 116–122, ago. 2013. doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.017

[38] BIDHENDI, A. *et al*. Enabling Lean Construction 4.0 through human-centric digital transformation: organisational leadership insights. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 33, n. 2, p. 985–1011, 18 fev. 2026. doi.org/10.1108/ECAM-03-2025-0388.