

Tema: Transformação Digital na Indústria do Aço

**MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA SOBRE A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA
INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA ***

Carolina Wanderley Cabral Carvalho¹

Francisco Ferreira Cardoso²

Resumo

A transformação digital e as tecnologias da Indústria 4.0 possibilitam inúmeras oportunidades e benefícios para diversos setores da economia. Aumento da qualidade do produto, confiabilidade do processo, maior produtividade e menores desperdícios, e consequente redução de impactos ambientais, são algumas das principais vantagens. Apesar deste novo ecossistema de inovação, a construção civil encontra-se em um nível incipiente de adoção de tecnologias digitais e práticas organizacionais e gerenciais que delas decorrem, sendo caracterizada comumente como tradicional e de baixa produtividade. A construção metálica é um setor dessa indústria que está crescendo bastante no mercado; contudo, sua situação não é diferente. Este artigo apresenta uma revisão bibliográfica da literatura que aborda o processo da transformação digital na indústria da construção metálica, para identificar e avaliar as principais aplicações das tecnologias digitais e lacunas sobre o tema. A metodologia é baseada em um Mapeamento Sistemático de Literatura, coletando informações de três bases de dados. O objetivo desta pesquisa é contribuir para uma visão geral desta temática, identificando as maiores oportunidades e benefícios do uso das novas tecnologias na indústria da construção metálica. Os resultados mostram que o setor está num nível inicial de adoção, entretanto, as vantagens de suas aplicações são fundamentais para o aumento da produtividade.

Palavras-chave: Transformação digital; Construção 4.0; Mapeamento Sistemático; Aço.

**SYSTEMATIC LITERATURE MAPPING ON DIGITAL TRANSFORMATION IN THE STEEL
CONSTRUCTION INDUSTRY**

Abstract

Digital transformation and Industry 4.0 technologies provide countless opportunities and benefits for the most diverse sectors of the economy. Increased product quality, process reliability, higher productivity and less waste, and consequent reduction of environmental impacts, are some of the main advantages. Despite this new innovation ecosystem, civil construction is at an incipient level of adoption of digital technologies and organizational and managerial practices that derive from them. This sector is often being characterized as traditional and of low productivity. Metallic construction is a sector of this industry that is growing a lot in the market share; however, its situation is no different. This article presents a literature review that addresses the process of digital transformation in the steel construction industry, to identify and evaluate the main applications of digital technologies and gaps on the subject. The methodology is based on a Systematic Literature Mapping, collecting information from three databases. The objective of this research is to contribute to an overview of this theme, identifying opportunities and benefits of using new technologies in the steel

construction industry. The results show that the sector is at an initial level of adoption, however, the advantages of its applications are fundamental for increasing productivity.

Keywords: Digital Transformation; Construction 4.0; Systematic Mapping; Steel.

¹ Pós-graduação, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo - SP, carolinawcc@usp.br

² Professor titular, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo - SP, ff.cardoso@usp.br

1 INTRODUÇÃO

O mercado da construção civil está a cada dia mais competitivo. É crescente a demanda por obras mais complexas e rápidas, com menos desperdícios, que exigem tomadas de decisões precisas e aumento da qualidade do produto. Neste contexto, as tecnologias aparecem com grande potencial de impacto e transformação no setor. Apesar de alguns segmentos dentro da indústria da construção serem mais intensivos na aplicação dessas, a cadeia produtiva como um todo, historicamente, tem baixo apetite pela inovação [1].

Este setor, além de globalmente ser considerado lento na adoção de novas tecnologias, tem a produtividade de trabalho muito baixa, podendo ser inclusive considerado estagnado [2]. Uma pesquisa realizada pelo McKinsey Global Institute revelou que a tendência de crescimento da produtividade global da construção não avançou da mesma forma que nas outras indústrias, quando analisados dados desde 1995. Estes mostram como o crescimento é menor e quase linear ao longo do tempo [3]. A indústria da construção civil precisa melhorar significativamente sua produtividade para atender aos desafios de demanda atuais e futuros.

A construção civil tem uma cadeia produtiva muito ampla, que possui um papel fundamental na economia de um país. Apesar desta relevância, a produtividade baixa pode ser justificada em função da falta de inovações e a defasagem tecnológica do setor [4].

Neste contexto, um setor que vem crescendo é o da construção metálica, sobretudo utilizando estruturas de aço ou mistas aço-concreto. Essas estruturas já têm seu uso consolidado em países como Alemanha, Estados Unidos, Reino Unido e países asiáticos. No Brasil, em especial nos últimos vinte anos, o uso de estruturas de aço e mistas vêm avançando de forma incontestável como uma solução estrutural para os mais diversos tipos de construção [5].

Inicialmente, o aço foi utilizado na forma de estruturas pré-fabricadas, depois, foram desenvolvidas diferentes aplicações para este material que variam desde pontes metálicas, design arquitetônicos excêntricos e modernos edifícios comerciais e residenciais, sendo utilizado cada vez mais na construção civil, possibilitando soluções arrojadas e eficientes para os mais diversos tipos de obra [6].

Na construção industrializada, as características do aço possibilitam inúmeras vantagens e benefícios. Entre elas, o uso da tecnologia contribui para a expressividade estética, o aumento da área útil, a flexibilidade em ampliações ou reformas, o alívio de carga nas fundações e a precisão construtiva. Além disso, as estruturas metálicas são menos agressivas ao meio ambiente, e seu uso na construção pode proporcionar uma redução de até 40% no tempo da obra, quando comparado com os processos convencionais [5].

A cadeia produtiva típica da indústria de estruturas metálicas de aço é composta pelos elos: empresas extrativistas, que fornecem o minério de ferro; siderúrgicas, responsáveis pelo fornecimento de aços planos, longos e em perfis laminados; indústrias de estruturas metálicas, com destaque para os fabricantes de perfis e tubos soldados para estruturas; e, construtoras, que são os principais consumidores finais [7; 8].

Diante desta conjuntura, com evidente necessidade de mudanças, é fundamental avaliar alternativas que apresentem potencial de melhorar os resultados do setor. Com a ocorrência da pandemia pelo COVID-19 e a atual guerra da Ucrânia, o cenário ficou ainda mais complicado, e aumento dos preços e escassez dos produtos são alguns agravantes que a indústria vem combatendo. Assim, a adoção de inovações e novas tecnologias são imprescindíveis para uma retomada econômica mais consistente, bem como para a melhoria da produtividade desta indústria como um todo, tornando-a mais eficiente, produtiva, integrada e mais sustentável.

Historicamente, inovações e tecnologias transformaram a relação das empresas com os seus clientes e também entre si, aumentando a produtividade, qualidade e segurança na produção [9]. As tecnologias da Indústria 4.0 – também chamada de quarta Revolução Industrial – modificaram as de manufatura em diversos aspectos. Embora a da construção ainda esteja atrás em termos de digitalização e automação, as tecnologias disruptivas 4.0 e a incorporação de seus conceitos estão transformando a natureza tradicional desta indústria [10; 11], uma vez que propõem a integração dos equipamentos e processos por meio de plataformas inteligentes e fortes interações de automação de forma a otimizar a gestão da cadeia de valor da construção [12; 13].

Um enfoque da questão ainda mais sistêmico é o da transformação digital, que vai além das mudanças advindas da introdução de novas tecnologias, passando a incluir transformações na organização e gestão das empresas [14]. Essa digitalização representa um processo iniciado há algumas décadas, mas que recebeu uma forte aceleração da Indústria 4.0 e, agora, vem impactando diretamente em todos os setores de processo e manufatura [15].

Não obstante este novo ecossistema de inovação, a construção civil como um todo, no Brasil e no mundo, encontra-se ainda em um nível incipiente de adoção das novas tecnologias digitais e das práticas organizacionais e gerenciais que delas decorrem [14; 16]. As empresas do setor de construção metálica de aço, que oferecem ao mercado soluções que vão ao encontro da ideia da ampliação da industrialização da construção, baseada no tripé da racionalização, mecanização e pré-fabricação, não fogem a esta regra.

Este artigo tem como objetivo realizar um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) publicada que aborda o processo da transformação digital na indústria da construção metálica, destacando os estudos relacionados as principais aplicações das diferentes tecnologias digitais aos agentes da cadeia produtiva dessa indústria, assim como a relação da indústria 4.0 e seus respectivos contextos ao setor da construção metálica. Assim, indicam-se os temas relacionados que já foram alvo de análise, além de uma visão geral da área, bem como identificam-se as lacunas de conhecimento sobre o tema onde há possibilidade de desenvolvimento de novas pesquisas.

2 METODOLOGIA DE PESQUISA

2.1 Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL)

A criação de uma base de conhecimento científico sólido acerca de um tema é fundamentada, em geral, na avaliação de estudos prévios. De acordo com Kitchenham e Charter [17], o Mapeamento Sistemático da Literatura trata-se de uma revisão ampla de estudos primários em uma área temática específica, considerado um estudo secundário. A metodologia aplicada visa identificar, analisar e interpretar de forma imparcial e repetível todas as evidências disponíveis acerca de uma questão de pesquisa particular. Este é executado seguindo um protocolo pré-estabelecido, requerendo um maior rigor na sua realização.

Segundo Febero, Calero e Moraga [18], um estudo primário trata-se de um estudo experimental que tem como objetivo investigar uma questão de pesquisa específica, enquanto o secundário se dedica a revisar todos os estudos primários relacionados a um tópico específico, a fim de integrar ou sintetizar as evidências sobre a questão de pesquisa. Ou seja, revisões sistemáticas e, em geral, qualquer estudo baseado na análise de pesquisas anteriores, tratam-se de estudos secundários. Os resultados desse sistema de pesquisa são apresentados em forma de tabelas e gráficos, que contêm informações relevantes sobre a área pesquisada e permitem visualizar o status do campo relacionado à questão de pesquisa.

Neste artigo, o método adotado foi justamente o mapeamento sistemático da literatura. Essa estratégia visa agregar as principais evidências existentes em relação a um determinado campo de pesquisa, além de apontar lacunas para estudos futuros [19; 20].

Petersen et al. [21] elaboraram uma definição mais detalhada do MSL, em que destacam seu principal objetivo que é fornecer uma visão geral de uma área de pesquisa, identificando a quantidade e os tipos de estudos existentes, bem como os resultados disponíveis. Além disso, esse tipo de investigação científica muitas vezes se dedica a mapear as frequências de publicação ao longo do tempo, com o intuito de verificar as tendências.

2.2 Etapas de elaboração

O mapeamento sistemático foi conduzido em quatro etapas, conforme proposto por Morandi e Camargo [22]. As fases propostas foram as seguintes, que ocorreram de modo sequencial: definição da questão de pesquisa; definição da estratégia de busca (“strings” de busca, fontes das publicações e intervalo de anos); determinação de critérios para seleção dos artigos com o início das consultas e exame dos textos; e, por fim, análise geral e conclusões.

2.2.1 Definição da questão de pesquisa

A transformação digital na indústria da construção metálica foi escolhida como tema principal desta pesquisa com foco nos diversos agentes que compõem a cadeia produtiva deste setor. Com base em uma revisão inicial da literatura, algumas das principais práticas e tecnologias digitais aplicadas na construção de aço foram identificadas. Assim, a questão de pesquisa foi definida da seguinte forma: “Como se encontra o processo de transformação digital na indústria da construção metálica?”

2.2.2 Definição da estratégia de busca

O procedimento da revisão inicia-se com a definição das bases de dados que serão utilizados para realizar a pesquisa. Esta seleção deve ser realizada de forma estratégica, levando em consideração a área de estudo, para garantir uma busca mais aderente ao tema abordado. Optou-se por utilizar aquelas relacionadas à engenharia e construção civil. Dessa forma, as bases de dados escolhidas foram: Scopus, Science Direct e Scielo.

Em seguida, são definidos os termos de busca, também conhecidos como “strings” de busca. Esses termos são compostos por palavras ou frases combinadas com operadores booleanos, como “and”, “or” ou “not” para pesquisar artigos científicos nas bases de dados. Para definir as “strings” de busca, realizou-se uma pesquisa preliminar nas bases de dados, juntamente com uma breve análise das palavras-chaves encontradas nos resultados dos artigos obtidos. Após alguns testes, foram formulados os termos de busca utilizados nessa pesquisa. Em se tratando de um estudo secundário inicial, o MSL é bastante abrangente em sua pesquisa, assim, optou-se pelo uso de palavras-chaves não restritivas para a pesquisa dos artigos relacionados ao foco

desse estudo: “construction 4.0” or “industry 4.0” or “digital transformation” and “steel” or “mettalic construction”.

As especificações no campo de busca foram específicas para cada base. Na Scopus e Science Direct, utilizou-se “article title, abstract, keywords”; e, na Scielo, a busca foi operada como “tópico”. É essencial compreender o funcionamento de cada base de dados, visto que isso pode afetar diretamente os resultados da pesquisa. Para salvar os dados obtidos, foram utilizados: o *software* Zotero e o Microsoft Excel. Todos os dados foram analisados utilizando planilhas Excel devido a praticidade e conhecimento dos autores. As buscas incluíram artigos publicados de 1997 a 2023, e foram feitas em março de 2023.

2.2.3 Determinação dos critérios para seleção

É de extrema importância durante o processo sistemático do mapeamento a definição dos critérios de inclusão (IC) e de exclusão (EC). Esses critérios estabelecidos para a seleção dos artigos devem ser objetivos e de fácil aplicação, para mitigar interpretações que possam gerar vies nos avaliadores [18]. Foram utilizados critérios de seleção durante o processo de busca que restringiram a inclusão de artigos científicos. Estes podem ser observados no Quadro 1.

Quadro 1 – Critérios para seleção de artigos

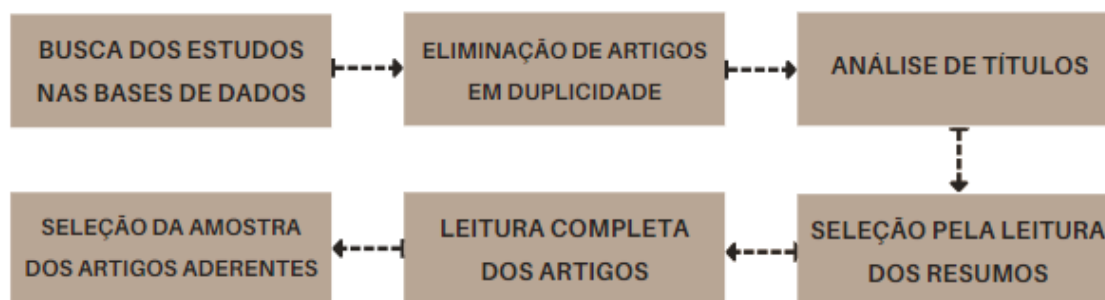
Tipo	Identificador	Descrição
Critérios de inclusão	[Inc1]	A pesquisa estar num formato de artigo científico
	[Inc2]	O artigo deve falar sobre a transformação digital ou tecnologias digitais em algum agente da cadeia produtiva da construção metálica
	[Inc3]	O artigo deve falar sobre a indústria 4.0 em algum agente da cadeia produtiva da construção metálica
	[Inc4]	O artigo deve falar sobre a construção 4.0 em algum agente da cadeia produtiva da construção metálica
	[Inc5]	O artigo científico completo estar disponível para acesso
Critérios de exclusão	[Exc1]	Não atender nenhum dos critérios de inclusão
	[Exc2]	O idioma do artigo não ser português, inglês ou alemão

Fonte: os autores

No processo de revisão, foram coletados todos os artigos resultantes das buscas realizadas em cada base de dados. Estes foram exportados e organizados em planilhas para facilitar a triagem. O armazenamento e a análise dos dados obtidos foram agrupados em uma planilha eletrônica incluindo as informações: título, autores, periódico, ano de publicação, palavras-chaves, resumo e base de dado de origem. Essas especificações colaboraram para filtrar os artigos obtidos nas três bases de dados.

Inicialmente, a triagem dos artigos foi feita pela remoção dos artigos duplicados, seguindo pela análise dos títulos, com auxílio das palavras-chaves, excluindo aqueles que não eram pertinentes à indústria da construção metálica e aos seus respectivos agentes. Em seguida, procedeu-se com a leitura dos resumos, classificando o artigo em totalmente dentro do tema, parcialmente ou fora do tema. Os artigos das duas primeiras categorias foram selecionados para a etapa posterior. Por fim, foi feita a análise dos artigos completos para definição da amostra final. O fluxograma pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma das etapas da condução do MSL



Fonte: os autores

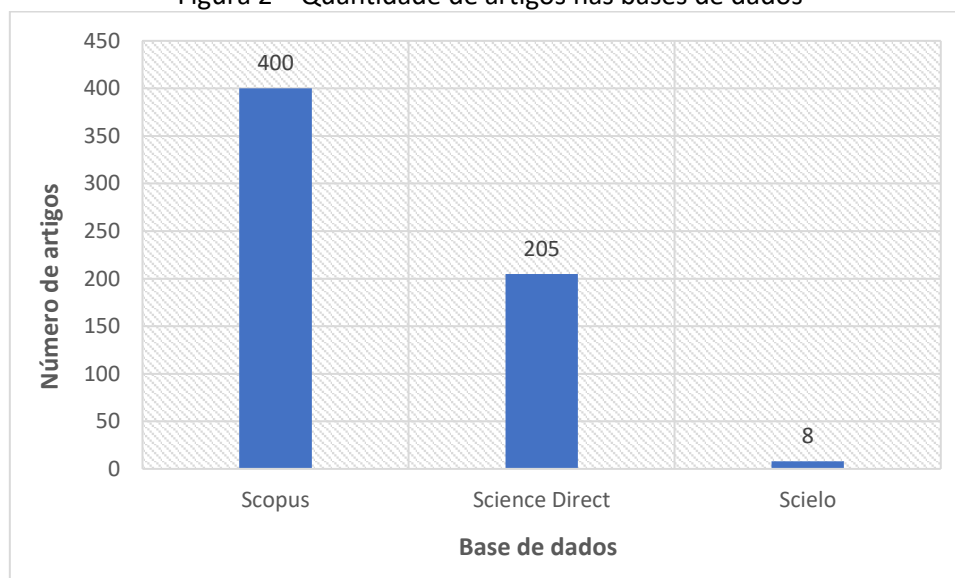
2.2.4 Análise geral dos dados

Foram realizadas análises dos dados quanto à quantidade de publicações encontradas e à porcentagem dos artigos utilizados, não utilizados e duplicados. A amostra selecionada foi distribuída por anos de publicação e categorizada. A leitura dos resumos selecionados permitiu, também, a identificação dos temas mais recorrentes entre as propostas de pesquisa apresentadas em cada texto. Alguns dos temas que apresentaram certa afinidade entre si foram agrupados, permitindo a composição de categorias principais. Os artigos foram então classificados nos temas de acordo com a semelhança e compatibilidade de suas ideias, propostas ou metodologias de pesquisa extraídas da análise dos documentos na íntegra.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca inicial resultou em um total de 613 artigos. Sendo 400 provenientes da Scopus, 205 do Science Direct e 8 da Scielo, conforme é mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Quantidade de artigos nas bases de dados



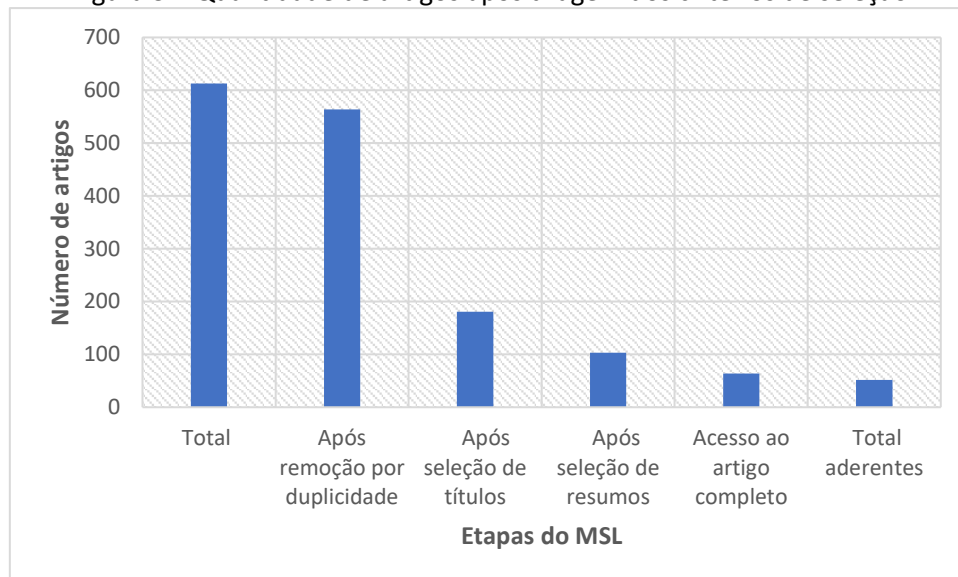
Fonte: os autores

Em seguida, artigos duplicados foram removidos; assim, foram excluídos 50 artigos. Na sequência, uma análise de título selecionou apenas aqueles relacionados ao tema da pesquisa, resultando em 181 documentos. Posteriormente, foi feita a avaliação dos resumos, realizando

a leitura de cada um para selecionar aqueles relacionados ao tópicos estudado, e obteve-se 103 artigos. Dentre esses não foi possível acessar o artigo completo referente a 39 títulos. Por fim, excluindo os estudos que realmente não atenderam aos critérios de seleção, por meio do exame do artigo na íntegra, obteve-se uma amostra final com 52 artigos. A Figura 3 ilustra os dados numéricos para cada etapa do processo de refinamento. Portanto, ao final do MSL, apenas 8,5% dos documentos encontrados estavam de acordo com o foco da pesquisa.

Os artigos excluídos tinham diversos assuntos que fugiam ao escopo dessa pesquisa, como por exemplo estudos referentes a indústria automotiva, análises relacionadas as características e propriedades do aço como deformação e ductilidade, ou, ainda, conteúdos relativos à produção e qualidade de metais em geral.

Figura 3 – Quantidade de artigos após triagem dos critérios de seleção



Fonte: os autores

Os critérios de exclusão utilizados na realização da pesquisa contribuíram para um resultado final de 52 artigos, o que deixa evidente que, apesar de se ter utilizado palavras de busca abrangentes para alcançar o maior número de artigos, trata-se de um tema pouco estudado. Conclui-se pela extrema importância da melhor exploração da temática.

Em seguida, foram coletados dados bibliométricos dos estudos selecionados. O ano de publicação, fontes de publicação e categorias das pesquisas foram incluídos nas análises. A Figura 4 apresenta a evolução do número de publicações aderentes ao tema distribuídos pelo seu respectivo ano de publicação. Embora não tenha explicitamente sido utilizado filtros para períodos específicos de tempo, resultou na escolha natural de textos publicados a partir do ano de 2016. Ao analisar a Figura 4, é possível observar que a quantidade de artigos baseados nos critérios de seleção registrou um crescimento significativo nos últimos anos. O ano de 2022 se destacou com o maior número de artigos encontrados, totalizando 14. Além disso, ao considerar os últimos três anos completos (2020 – 2022), constata-se que eles concentraram 63% da produção selecionada, dados esses que indicam que esse tema se encontra em alta atualmente. Uma hipótese é que esse crescimento seja atribuído à crescente adoção das tecnologias digitais e ao aumento dos impactos e benefícios advindos da indústria 4.0 nos mais diversos setores, incluindo o setor da construção metálica. Essa conjuntura impacta os diversos agentes envolvidos na cadeia produtiva, o que confirma a relevância do assunto.

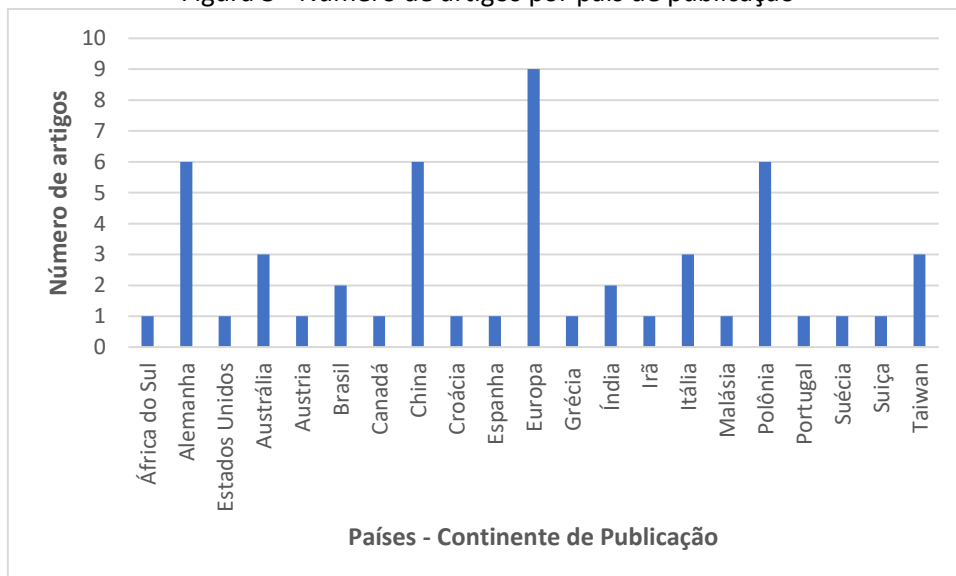
Figura 4 – Número de publicações no período do estudo



Fonte: os autores

Por meio da análise dos artigos aderentes, foi possível abordar também um contexto adicional, o país em que o artigo foi redigido ou o país em que a realidade abordada no artigo está situada. Inicialmente, verificou-se o texto para identificar se a informação sobre o local do estudo de caso abordado ou a procedência dos dados utilizados estava explicitamente mencionada. Caso essa informação não estivesse claramente indicada, foi determinado que o país de origem do artigo corresponderia àquele associado ao seu autor principal. É importante ressaltar que alguns artigos explicitavam o uso de dados provenientes de mais de um país europeu. Por isso, estabeleceu-se a criação da categoria denominada “Europa”. A Figura 5 mostra o número de artigos de acordo com o respectivo país de publicação. Pode-se verificar que a maior quantidade de publicações se concentra na Alemanha, China e Polônia, além de na Europa.

Figura 5 - Número de artigos por país de publicação



Fonte: os autores

Dos 52 artigos selecionados, no que diz a respeito à fonte de publicação, é possível constatar que a revista científica que apresenta o maior número de publicações é a Stahlbau, seguida por três periódicos, nomeadamente: Energies, Materiaux et Techniques e Journal of Open Innovation. A lista completa contendo os locais de publicação dos documentos da amostra final pode ser consultada na Tabela 1.

Tabela 1 – Número de artigos por fonte de publicação

Fonte de Publicação	Nº de artigos
Applied System Innovation	1
Automation in Construction	2
Buildings	1
Computers & Industrial Engineering	1
Computers in Industry	1
Construction Innovation	1
Economic and Industrial Democracy	1
Energies	3
Technovation	1
Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity	3
Materiaux et Techniques	3
Metals	2
New Technology, Work and Employment	1
Revista Brasileira de Inovação	1
Scandinavian Journal of Management	1
Science China Technological Sciences	1
Stahlbau	5
Congressos e Simpósios	23

Fonte: os autores

As 52 produções selecionadas foram agrupadas em 10 categorias diferentes, de acordo com o principal tema abordado em cada artigo, conforme é mostrado na Tabela 2. Com base na análise dessas categorias, destaca-se que a maioria dos artigos se concentra no estudo do impacto da indústria 4.0 no setor da siderurgia.

Tabela 2 – Categorias em que se enquadram os artigos da amostra final

Categoria	Nº de artigos
Impacto da indústria 4.0 na indústria siderúrgica	19
Impacto da digitalização na indústria siderúrgica	5
Impacto da indústria 4.0 no setor da construção como um todo	4

Impacto da indústria 4.0 nas fábricas de construção modular e off site	3
Impacto da indústria 4.0 na construção metálica	2
Impacto da digitalização na construção metálica	2
Impacto da indústria 4.0 nas relações/ambiente de trabalho da indústria siderúrgica	4
Maturidade das empresas siderúrgicas para a Indústria 4.0	1
Uso de tecnologias digitais na melhoria dos processos e sistemas	2
Estudo de casos	10

Fonte: os autores

Outros temas abordados com maior frequência foram o impacto da indústria 4.0 no ambiente de trabalho da indústria siderúrgica, o impacto da indústria 4.0 na construção como um todo e o impacto da digitalização na siderurgia. É relevante ressaltar que foi estabelecida uma categoria específica para pesquisas que tinham como objetivo principal a aplicação de tecnologias digitais em estudos de caso que afetavam diretamente algum agente da cadeia produtiva da construção metálica. Essa categoria, por conseguinte, adquiriu uma abrangência mais ampla e contou com um total de 10 artigos nela enquadrados.

Em relação à construção metálica, especificamente, encontrou-se apenas quatro artigos que trazem a exploração dos impactos da digitalização e indústria 4.0, o que deixa evidente que esse ainda é um tema pouco estudado, despertando a possibilidade e necessidade de se explorar mais sobre o assunto.

4 CONCLUSÃO

Com a finalidade de restringir o escopo do mapeamento sistemático da literatura apenas a trabalhos diretamente relacionados à indústria 4.0 ou à transformação digital com os agentes da cadeia produtiva da construção metálica, muitos artigos foram descartados durante o processo de seleção. Isso se deu em virtude da escolha de termos de busca abrangentes a fim de evitar a perda de possíveis artigos alinhados com o foco da pesquisa. Os resultados obtidos por meio do MSL permitiram identificar quando e onde os artigos foram publicados, além de identificar os periódicos de maior impacto na divulgação científica, sendo observações de suma importância para auxiliar e direcionar os pesquisadores em seus estudos.

O mapeamento realizado permitiu identificar lacunas de conhecimento passíveis de serem exploradas com novos estudos na área. Embora o impacto da transformação digital na indústria siderúrgica seja uma temática comum e bem estabelecida, os impactos nos demais agentes da cadeia têm recebido pouca atenção na produção acadêmica. A análise da adoção de tecnologias digitais e a maturidade das empresas em relação à transformação digital também foram abordadas de forma limitada em pesquisas. Dessa forma, são evidentes as oportunidades para o desenvolvimento de estudos e pesquisas sobre a transformação digital no setor da construção metálica.

É fundamental salientar que houve um aumento significativo no número de publicações sobre essa temática nos últimos anos, o que indica a atualidade e a relevância do tema para o desenvolvimento do mercado da construção. A transformação digital tem sido objeto de numerosos estudos recentes, à medida que tanto a comunidade acadêmica quanto o mercado

profissionais buscam aprofundar suas pesquisas. Assim, essa temática requer um aprofundamento contínuo, uma vez que ainda existem várias lacunas e carências a serem exploradas no campo da construção metálica, a fim de compreender melhor seu impacto e superar as deficiências dos processos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a USP pelo apoio e disponibilização do acesso às bases de dados conveniadas.

REFERÊNCIAS

- 1 Deloitte. Construção do amanhã. Panorama de inovação nos setores imobiliário e de construção no Brasil. 2020.
- 2 Gharbia, M.; Chang-Richards, A.; Lu, Y.; Zhong, R.; Li, H. Robotic technologies for on-site building construction: A systematic review. *Journal of Building Engineering*. 2020; 32: 101584.
- 3 McKinsey Global Institute. Reinventing construction: a route to higher productivity. 2017. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/Reinventing%20construction%20through%20a%20productivity%20revolution/MGI-Reinventing-construction-A-route-to-higher-productivity-Full-report.ashx>. Acesso em 15 de janeiro de 2023.
- 4 Ceotto, L. Henrique. Falta de inovações e atraso na adoção de novas tecnologias na construção. *BUILDIN, Construção e Informação*, 2017. Disponível em: <https://www.buildin.com.br/falta-de-inovacao-e-atraso-na-adocao-de-novas-tecnologias-na-construcao/>. Acesso em 25 de setembro de 2020.
- 5 Siderurgia Brasil. O Grande Universo de possibilidades. Disponível em: <https://siderurgiabrasil.com.br/2020/12/20/o-grande-universo-de-possibilidades/>. Acesso em 03 de fevereiro de 2023.
- 6 Cortez et al., Uso das estruturas de aço no Brasil. *Ciências exatas e tecnológicas*. 2017 v. 4 (n. 2): 217-228.
- 7 Faleiros, J.P.M. et al., O crescimento da indústria brasileira de estruturas metálicas e o boom da construção civil: um panorama do período 2001-2010. *BNDES Setorial*. 2012. V. 35: 47– 84.
- 8 Mingione, C. M. Produtividade na montagem de estruturas de aço para edifícios [Mestrado em Engenharia Civil]. São Paulo. Universidade de São Paulo; 2016.
- 9 Oviedo Haito, R. J. J; Moratti, T.; Cardoso, F. F. Desafios da Gestão da Produção na Construção 4.0. 2019. XI Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, XI SIBRAGEC e VIII Encuentro Latinoamericano de gestión y economía de la construcción, VIII ELAGEC, Londrina, Paraná, Brasil, 2019.
- 10 Rankohi, S., Bourgault, M., Iordanova, I., Danjou, C., Garcia, P., Grondim, J., Integration and I4.0 Tracking Systems for Steel Manufacturing Industry. *Lecture Notes in Civil Engineering. Annual Conference of the Canadian Society of Civil Engineering, CSCE 2021Virtual*. 2021. Volume 247: Pages 237 – 247.
- 11 Lau, S. E. N.; Aminudin, E.; Saar, C. Chang; Abidin, N. I. A; Roslan, A. F.; Hamid, Z. Abd; Zain, M. Z. Mohd; Lou, E. Review: Identification of roadmap of fourth construction industrial revolution. *7th International Conference on Euro Asia Civil Engineering Forum*. 2019.
- 12 Castagnino, Santiago; Rothballer, Christoph. Abreu, Juliana. Zupancic, Till. 6 ways the construction industry can build for the future. *World Economic Forum*. 2018.

- 13 Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution. World Economic forum: Cologny, Switzerland, 2016.
- 14 IDC. Digital Transformation: The Future of Connected Construction. Relatório Técnico. International Data Corporation. Singapura. 2020.
- 15 Branca, T. A.; Fornai, B.; Colla, V.; Murri, M. M.; Streppa, E.; Schroder, A. J. The Challenge of Digitalization in the Steel Sector. Metals. 2020, 10, 288.
- 16 McKinsey. The next normal in construction. How disruption is reshaping the world's largest ecosystem. McKinsey & Company. 2020. 84p.
- 17 Kitchenham, B.; Charters, S. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. Technical Report EBSE, Keele University and Durham University Joint, Report, 2007.
- 18 Febero, F.; Calero, C.; Moraga, M. A. A systematic mapping study of software reliability modeling. Information and Software Technology. 2014. v. 56, p. 839-849.
- 19 Brereton, P. et al. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. Journal of Systems and Software. 2007. v. 80, p. 571-583.
- 20 Kitchenham, B. et al. Systematic literature reviews in software engineering: a systematic literature review. Information and Software Technology; 2009. v. 51, n. 1, p. 7-15.
- 21 Petersen, K.; Feldt, R.; Mujtaba, S.; Mattsson, M. Systematic mapping studies in software engineering. 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering. 2008.
- 22 Morandi, M.; Camargo, L. Design science research. Porto Alegre: Bookman, 2015.