4° Workshop de tecnologia de sistemas e processos construtivos
TECSIC 2023

Porto Alegre, RS, Brasil, 23 e 24 de agosto de 2023

Impressão 3D e industrialização na construção: uma revisão sistemática de literatura

3D printing and industrialization in construction: a systematic literature review

Vinícius Capistrano de Paiva Veras
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | viniciuscapistrano@alu.ufc.br
Ivo de Castro Carvalho
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | ivodecastro@alu.ufc.br
André Rocha Chaves
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | chaves44@alu.ufc.br
Alexandre Araújo Bertini
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | bertini@ufc.br

Resumo

O sistema de impressão 3D na construção vem se tornando cada vez mais presente em estudos e pesquisas que visam a introdução dessa tecnologia, sendo muito relacionada a industrialização da construção. Estudos e artigos relacionados a impressão 3D na construção estão em ascensão e são muito importantes para um maior entendimento do panorama científico geral desse tipo de assunto. O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão sistemática de literatura (RSL) a respeito de artigos relacionados a impressão 3D e industrialização na construção civil, expondo os tipos de abordagens mais realizadas e a classificação de artigos de acordo com parâmetros de publicações por ano, autores, revistas e análises de palavras-chave. Essa revisão é baseada em duas bases de dados e promove uma fundamentação completa a respeito dos artigos relacionados a impressão 3D e industrialização na construção.

Palavras-chave: Revisão sistemática de literatura; Impressão 3D; Industrialização; Construção.

Abstract

The 3D printing system in construction is becoming increasingly present in studies and research aimed at the introduction of this technology, being very related to the industrialization of

Como citar:
VERAS, V. C. de P.; CARVALHO, I. de C.; CHAVES, A. R.; BERTINI, A. A. Impressão 3D e industrialização na construção: uma revisão sistemática de literatura. TECSIC 2023. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE SISTEMAS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS, 23 e 24 AGO 2023, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-8.

construction. Studies and articles related to 3D printing in construction are on the rise and are very important for a greater understanding of the general scientific landscape of this type of subject. The objective of this paper is to present a systematic literature review (SLR) regarding articles related to 3D printing and industrialization in construction, exposing the types of approaches most performed and the classification of articles according to parameters of publications by year, authors, journals and keyword analysis. This review is based on two databases and promotes a thorough grounding regarding articles related to 3D printing and industrialization in construction.

Keywords: Systematic literature review; 3D printing; Industrialization; Construction.

INTRODUÇÃO

A ampla concorrência enfrentada pelos profissionais da construção civil fez com que as discussões acerca do uso de procedimentos industrializados se tornassem mais frequentes. Além disso, a falta de mão de obra qualificada, automação e questões de segurança nas obras impossibilita o atendimento à demanda almejada (menos tempo de construção, menor poluição e desperdícios). Tais problemáticas têm um denominador comum que, embora fosse visto com desconfiança em um passado recente, tem se mostrado bastante promissor: a impressão 3D.

A aplicação da impressão 3D em concreto (*3DCP - 3D construction Printing*) na automação da construção é uma tecnologia em rápido desenvolvimento e está sendo cada vez mais testada em aplicações da vida real [1–4]. O desenvolvimento de materiais cimentícios para aplicações 3DCP, bem como o rápido avanço da tecnologia para digitalizar e automatizar o processo de projeto e construção, tem sido evidenciado nos últimos anos [2].

Diante da necessidade de uma demanda crescente por construções rápidas, mas sem comprometer a sua qualidade e o seu desempenho, a impressão 3D, ou manufatura aditiva (*additive manufacturing – AM*), surge como uma tecnologia promissora que pode construir estruturas 3D complexas sem a necessidade direta de intervenção humana [5]. Este artigo tem por intuito realizar uma RSL (Revisão Sistemática de Literatura) para abordar os trabalhos publicados que englobam os procedimentos e técnicas de impressão 3D e a industrialização da construção civil.

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Uma revisão sistemática de literatura é um método conhecido rigoroso que busca identificar, avaliar e interpretar partes relevantes de pesquisas para um determinado problema, área ou fenômeno de interesse [6]. Em uma RSL são expostos todos os dados utilizados para identificação de literaturas, incluindo as bases de dados utilizadas em pesquisa, os termos de buscas adotados (*strings*) e os critérios de inclusão e exclusão de artigos, tornando esse tipo de revisão mais fácil de entender e de ser reproduzida por outros pesquisadores [7]. Esse tipo de abordagem é utilizado de maneira frequente em diversos tipos de estudo científico, como em pesquisas na área da medicina, como no artigo de análise de tratamento de carcinoma hepatocelular [8] ou em artigos de estudos psicológicos como o trabalho de [9]. O

objetivo dessa revisão é não apenas o de agregar todas as evidências e literaturas de uma questão de pesquisa como também o de apoiar o desenvolvimento de diretrizes baseadas em evidências para os pesquisadores [10].

METODOLOGIA DE PESQUISA

A organização desta RSL foi baseada nos métodos propostos por [10] e [11]. Os passos realizados para execução dessa revisão foram: definição das questões de pesquisa, termos de busca (*strings*) e estabelecimento do protocolo para RSL, com critérios de exclusão, definição das bases de dados, coleta de dados e pesquisas e classificação dos artigos. A Tabela 1 mostra as questões de pesquisa definidas, visando identificar o escopo geral e guiar a elaboração do protocolo.

Tabela 1: Questões de pesquisa para realização da RSL

Questões de pesquisa para RSL
Q1: Quais os principais diferenciais da impressão 3D como sistema construtivo?
Q2: Como a impressão 3D pode ajudar na industrialização na construção?

Fonte: Autores (2022)

A escolha das *strings* foi baseada em palavras relacionadas ao tema central abordado: "*3D Printing*" OR "*Additive Manufacture*" AND "*Construction industry*". Os critérios de exclusão foram determinados pela análise de 3 características: artigos que não tenham relação com o tema; pesquisas feitas antes do ano de 2018; e artigos que não foram publicados em periódicos. Dessa forma, estabeleceu-se o modelo de protocolo de RSL, exposto na Tabela 2.

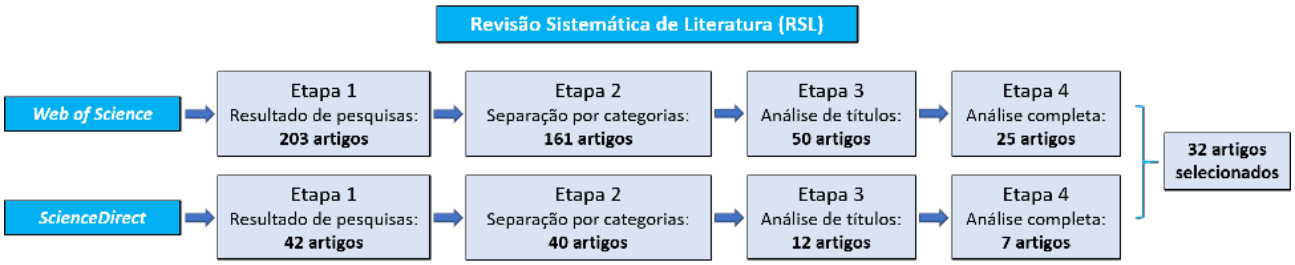
Tabela 2: Protocolo de pesquisa da RSL

Protocolo para Revisão Sistemática de Literatura (RSL)	
Estrutura Conceitual	Entender os benefícios e o funcionamento de uma construção utilizando impressão 3D como alternativa para uma industrialização na construção
Contexto	Aumento da utilização de sistemas industrializados na construção civil tendo como foco o sistema de impressão 3D
Horizonte de pesquisa	Estudos publicados no período de 2018 a 2022
Idiomas	Inglês e Português
Questão de revisão	Quais as literaturas e conceitos atualmente existentes que abordem a impressão 3D como alternativa na construção civil
Critérios de exclusão	Artigos não publicados em periódicos, que não tenham relação com o tema ou que foram publicados antes de 2018
Critério de busca	Artigos de periódicos que tratem da utilização da impressão 3D para industrialização na construção civil
Termos de busca (*string*)	**Português:** (Impressão 3D OR Manufatura Aditiva) AND (Indústria da construção)
	Inglês: (3D Printing OR Additive Manufacturing) AND (Construction industry)

Fonte: Autores (2022)

As bases de dados escolhidas foram o *Web of Science* e o *ScienceDirect* e a busca pelas *strings* nos títulos, resumos e palavras-chave de artigos retornou 245 resultados iniciais. Após a filtragem por categorias do *Web of Science* e do *ScienceDirect*, foram obtidos 201 trabalhos. Em seguida, foram excluídas as duplicatas do resultado e realizada uma análise de títulos, selecionando apenas os relacionados ao tema, totalizando 62 artigos. Por fim, foram analisados resumos, palavras-chave e textos, com foco em trabalhos que respondessem às questões de pesquisa. Com isso, 32 artigos foram selecionados, conforme esquematiza a Figura 1.

Figura 1: Processo de revisão sistemática de literatura executado

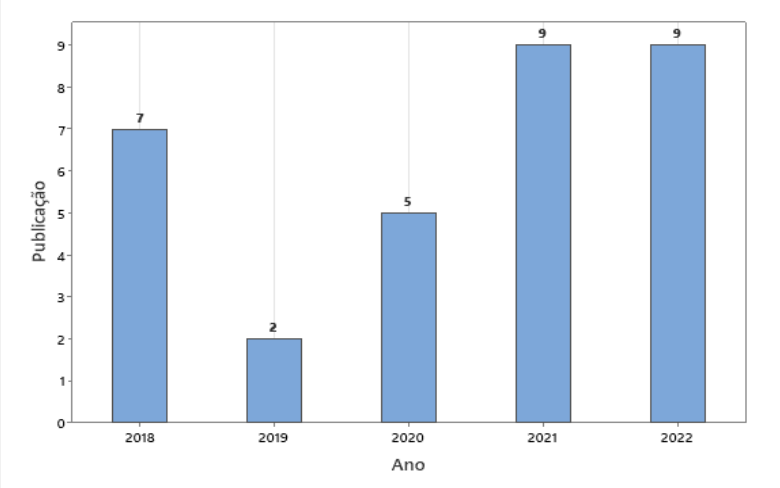


Fonte: Autores (2022)

DISCUSSÃO E CLASSIFICAÇÃO DE ARTIGOS

A publicação dos 32 trabalhos foi distribuída a uma média de 6,4 artigos por ano, no período de 2018-2022, com os anos de 2021 e 2022 possuindo o maior número de publicações (9), conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2: Publicações por ano dos artigos selecionados



Fonte: Autores (2022)

Na Tabela 3, foram listados os autores com mais publicações, com destaque para Rodrigo Garcia-Alvarado (3 publicações). Em relação aos países, tem-se Estados Unidos (20%), Austrália (16%) e Singapura (16%) liderando o número de publicações (Tabela 4). Alguns periódicos receberam mais publicações, com destaque para as revistas

Automation in Construction (Elsevier) e *Buildings* (MDPI), com 4 artigos em cada (Tabela 5).

Tabela 3: Lista dos 5 autores com maior número de publicações dos artigos selecionados

Autores	Publicações
Garcia-Alvarado, R.	3 (9,38%)
Auat-Cheein, F.	2 (6,25%)
Gonzalez-Bohme, L. F.	2 (6,25%)
Martinez-Rocamora, A.	2 (6,25%)
Tan, M. J.	2 (6,25%)

Fonte: Autores (2022)

Tabela 4: Lista dos 6 países com maior número de publicações dos artigos selecionados

Países de publicação	Publicações
Estados Unidos	6 (18,75%)
Austrália	4 (12,50%)
Singapura	4 (12,50%)
Chile	3 (9,38%)
China	3 (9,38%)
Alemanha	3 (9,38%)

Fonte: Autores (2022)

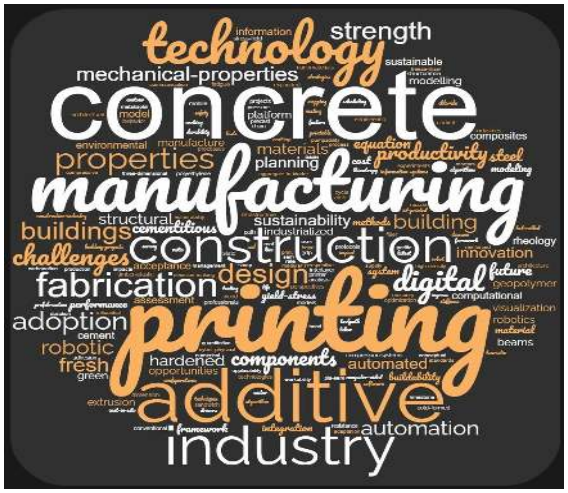
Tabela 5: Periódicos com mais publicações dos artigos selecionados

Periódico	Publicações
Automation in Construction	4
Buildings	4
Journal of Construction Engineering and Management	3
Construction and Building Materials	2
Materials Today: Proceedings	2
Journal of Cleaner Production	2
Cement and Concrete Research	2

Fonte: Autores (2022)

Foi criada uma nuvem de palavras com as palavras-chave utilizadas em cada artigo (Figura 3), sendo um indicativo válido do tipo de assunto tratado nos trabalhos, possibilitando concluir a relação entre os artigos selecionados e o tema. É possível destacar as palavras "*concrete*", "*construction*", "*additives manufacturing*", "*3D*" e "*3D concrete printing*", sendo palavras diretamente ligadas ao assunto estudado.

Figura 3: Nuvem de palavras-chave utilizadas nos artigos selecionados



Fonte: Autores (2022)

Em seguida, realizou-se uma classificação dos 32 artigos de acordo com o tipo de estudo realizado nessas pesquisas (Tabela 6). O resumo geral da distribuição de artigos em suas categorias é mostrado na Tabela 7.

Tabela 6: Categorias de classificação de artigos

Tipo de estudo	Categoria
Análise de produtividade, tempo, custos e impactos ambientais de um sistema de impressão 3D na construção	1
Estudo de propriedades de materiais como *3D Printing Concrete* e argamassa, para utilização no sistema de impressão 3D na construção	2
Estudo do panorama geral da impressão 3D na construção com revisões de literatura, utilizações estruturais e exposições de métodos	3
Análise de fatores essenciais para adoção do sistema de impressão 3D na construção	4
Estudos de integração entre o BIM e a impressão 3D para construção, expondo conexões, vantagens e utilizações	5

Fonte: Autores (2022)

Tabela 7: Distribuição de artigos de acordo com o tipo de estudo realizado

Categoria	Tipo de estudo	Artigos
1	Análise de produtividade, tempo, custos e impactos ambientais de um sistema de impressão 3D na construção	8 (25%)
2	Estudo de propriedades de materiais como *3D Printing Concrete* e argamassa, para utilização no sistema de impressão 3D na construção	7 (21,90%)
3	Estudo do panorama geral da impressão 3D na construção com revisões de literatura, utilizações estruturais e exposições de métodos	10 (31,20%)
4	Análise de fatores essenciais para adoção do sistema de impressão 3D na construção	2 (6,25%)
5	Estudos de integração entre o BIM e a impressão 3D para construção, expondo conexões, vantagens e utilizações	5 (15,60%)

Fonte: Autores (2022)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise da RSL, foi possível estabelecer conclusões importantes a respeito das pesquisas existentes sobre o tema. Inicialmente, a RSL retornou 245 artigos em duas bases de dados, sendo selecionados 32 artigos finais para a análise. Em seguida, foram realizadas classificações de acordo com os autores com mais publicações, países com mais publicações, com foco para os EUA com 18,75% dos artigos, e quantidade de publicações por ano, a partir do ano de 2018, com destaque para os anos de 2021 e 2022, utilizando tabelas e gráficos para exposição clara dessas informações. Além disso, realizou-se a criação de uma nuvem de palavras-chave que permite a determinação de relevância de cada palavra-chave em relação ao tema, com destaque para "*concrete*", "*construction*", "*additives manufacturing*", "*3D*" e "*3D concrete printing*". Com o objetivo de completar a análise feita, foram classificados os 32 artigos selecionados de acordo com o tipo de abordagem feita, divididos em 5 categorias referentes a impressão 3D e industrialização na construção. A Tabela 7 sintetiza os assuntos mais estudados, com destaque para o estudo do panorama geral da impressão 3D (10 artigos) e a análise de custo, tempo, impactos ambientais e produtividade para sistemas de impressão 3D (8 artigos). Ressalta-se a seleção de artigos de maneira a satisfazer as questões de pesquisa definidas. As informações determinadas nesta RSL permitem o entendimento do panorama científico geral a respeito da impressão 3D e industrialização na construção, possibilitando a determinação de lacunas de estudos, conclusão de quais os tipos estudos mais realizados nos últimos anos e também a utilização de informações importantes, como autores e revistas com mais publicações acerca do tema. Os dados presentes nessa análise podem ser utilizados como fonte de informações que auxiliem em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

[1] N. Valencia, World's First 3D Printed Bridge Opens in Spain, 2017.

[2] R.A. Buswell, W.L. de Silva, S. Jones, J. Dirrenberger, 3D printing using concrete extrusion: a roadmap for research, Cem. Concr. Res. 112 (2018) 37–49.

[3] R.A. Buswell, R.C. Soar, A.G. Gibb, A. Thorpe, Freeform construction: mega-scale rapid manufacturing for construction, Autom. Constr. 16 (2007) 224–231.

[4] V. Mechtcherine, F.P. Bos, A. Perrot, W.L. da Silva, V. Nerella, S. Fataei, R.J. Wolfs, M. Sonebi, N. Roussel, Extrusion-based additive manufacturing with cement-based materials–production steps, processes, and their underlying physics: a review, Cem. Concr. Res. 132 (2020) 106037.

[5] C. Chua, K. Leong. 3D Printing and Additive Manufacturing: Principles and Applications, fourth ed, World Scientific, Singapore, 2014.

[6] Kitchenham, B. Procedures for performing systematic reviews. Keele, UK, Keele University, 33:1–26. 2004.

[7] GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA: CONCEITUAÇÃO, PRODUÇÃO E PUBLICAÇÃO. Logeion: Filosofia da Informação, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 57–73, 2019. DOI: 10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73

[8] Maher Hendi, Jiemin Lv, Xiu-Jun Cai. Current status of laparoscopic hepatectomy for the treatment of hepatocellular carcinoma: A systematic literature review. Medicine (2021) 100:50.

[9] Catherine Copley-Merriman, Kendall Stevinson, Frank Xiaoqing Liu, Jingshu Wang, Josephine Mauskopf, Evelina A. Zimovetz, Bartosz Chmielowski. Direct costs associated with adverse events of systemic therapies for advanced melanoma: Systematic literature review. Medicine (2018) 97:31.

[10] Kitchenham, B., Pearl Brereton, O., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J., & Linkman, S. Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review. Information and Software Technology, 51, [1], 7–15, 2009.

[11] DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: Método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. 1. ed. São Paulo, Bookman, 2015.