

USO DA IMPRESSÃO 3D PARA A CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES SUSTENTÁVEIS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Gabriela Lopes Stavola Prado¹; Ariane P. Rubin²

¹ Graduando em Arquitetura e Urbanismo, Iniciação Científica; gabriela.lobes@aln.senaicimatec.edu.br

² Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador - BA; ariane.rubin@fieb.org.br

RESUMO

A impressão 3D é uma tecnologia de fabricação digital que tem como premissa a produção de objetos físicos tridimensionais a partir da deposição sucessiva de um determinado material, camada por camada. O interesse nessa tecnologia vem crescendo exponencialmente no setor da construção civil, principalmente pelas vantagens que apresenta, se comparado às técnicas tradicionais de produção. O objetivo desse estudo é realizar uma revisão sistemática da literatura, baseada no método "Systematic Search Flow" e entender quais são as tecnologias de impressão 3D que podem e estão sendo utilizadas no setor da construção, na área da bioconstrução, para uma possível aplicação no desenvolvimento de habitações sustentáveis. Com base nos resultados encontrados, foi possível perceber que a impressão 3D na área da bioconstrução estão crescendo, porém se encontram ainda, muito atrás das pesquisas em concreto e são em sua maioria, estudos de mistura, com pouca aplicação para elementos em grande escala.

PALAVRAS-CHAVE: Manufatura aditiva; Impressão 3D; Terra; Bioconstrução

1. INTRODUÇÃO

A impressão 3D, também chamada de manufatura aditiva, é uma tecnologia que consiste na criação de objetos físicos tridimensionais a partir da sobreposição de camadas de diversos materiais, como polímeros, metais, cerâmica ou concreto, através de um bico extrusor, usando um modelo digital como base de dados. Esse processo de fabricação permite a criação de geometrias complexas, desde objetos decorativos a elementos construtivos em escala real, que outrora seriam difíceis de serem produzidos por meio de outras técnicas de fabricação, como a manufatura subtrativa ou a manufatura formativa¹. Essa tecnologia, também garante maior economia e rapidez durante o processo de produção e reduz a necessidade de mão de obra humana, uma vez que faz uso de processos digitalizados e automatizados².

A construção civil é hoje o setor da economia responsável pelo maior consumo de matéria prima global³ e em um cenário de mudanças climáticas, com preocupações ao meio ambiente, a busca por sustentabilidade vêm crescendo. Nesse sentido, a impressão 3D pode ocupar um importante papel na adoção de técnicas construtivas com baixa geração de resíduos e baixo consumo energético², uma vez que possibilita utilizar uma variedade de materiais, "ambientalmente mais amigáveis" que o concreto, como a argila, a terra ou ainda, misturas de solo, permitindo assim, a produção de elementos arquitetônicos em escala real⁴. Diante deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo pesquisar e analisar o que está sendo feito no mundo com o uso dessa tecnologia, na área da bioconstrução e qual perspectiva o uso de manufatura aditiva pode trazer para o setor da construção civil nos próximos anos.

2. METODOLOGIA

Para a elaboração desse estudo, foi realizada uma revisão sistemática da literatura baseada no método SSF (Systematic Search Flow), tomando como base de dados o ScienceDirect. O processo consistiu em 3 fases de filtragem. Na primeira fase, foi efetuada uma busca na base de dados, com o objetivo de entender como estão sendo desenvolvidas as pesquisas nessa área, as quantidades de pesquisas existentes e a evolução do crescimento das pesquisas ao longo dos últimos 10 anos. Para isso, foram utilizados os seguintes termos de buscas: "3D printing construction" para encontrar resultados na área de construção de forma geral, "3D printing concrete" para encontrar resultados sobre impressão 3D em concreto e 3 diferentes termos para área de impressão 3D na área da bioconstrução, sendo eles "3D printing earth", "3D printing soil", "3D printing clay". Além dos seguintes filtros de pesquisa: a) Artigos publicados entre os anos de 2013 até 2023; b) seleção das áreas de estudo em Engenharias e Ciência dos Materiais. Nessa fase, a pesquisa encontrou 23.635 resultados.

Na segunda fase, foi realizada uma continuação da filtragem dos dados, com o objetivo de estabelecer um panorama mais específico do uso da impressão 3D na área da bioconstrução. Para essa etapa, foram selecionados apenas os estudos encontrados na fase anterior (argila, terra e solo) e inseridos novos filtros de pesquisa, sendo eles: a) Tipo de documento: incluir apenas artigos de revisão, artigos de pesquisa e capítulos de livros; b) Periódico: incluir apenas revistas da área de construção, sendo elas: Additive Manufacturing, Construction and Building Materials, Materials Today: Proceedings, Progress in Materials ISSN 0805-2010 – *Anuário de resumos expandidos apresentados no IX SAPCT - SENAI CIMATEC, 2024*

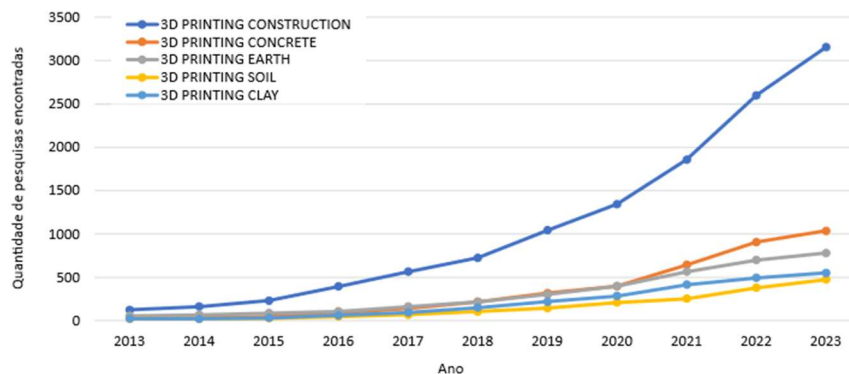
Science, Ceramics International, Materials & Desing; Desing, Automation in Construction, Composites Part B: Engineering, Journal Of Materials Reaserch and Technology, Journal of Building Engineering, Materials Science and Engineering: C, Materials Today, Cement and Concrete Composites, Cement and Concrete Research. Nessa fase, a pesquisa encontrou e reduziu os resultados para 1.412 artigos, descartando do escopo 16.401 trabalhos.

Na terceira e última fase, foi realizada uma triagem manual dos documentos remanescentes, onde foram utilizados como critérios de exclusão, a seleção de artigos que não tivessem os termos de busca, em seus títulos ou resumos, além do descarte de pesquisas duplicadas, trabalhos cuja aplicação da impressão 3D está sendo estudadas fora do planeta Terra (Lua ou Marte), e ainda, que utilizaram outros métodos de fabricação aditiva, que não equipamentos baseadas em processos de extrusão simples do material. Nessa fase, a pesquisa foi reduzida para somente 20 artigos, descartando 1.392 trabalhos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados iniciais, da primeira fase, demonstraram que as pesquisas sobre impressão 3D na construção civil, entre todas as áreas analisadas, vêm crescendo nos últimos 10 anos (Figura 1).

Figura 1 - Panorama de artigos encontrados, por termos de busca (área), durante os últimos 10 anos.



Fonte: dos autores.

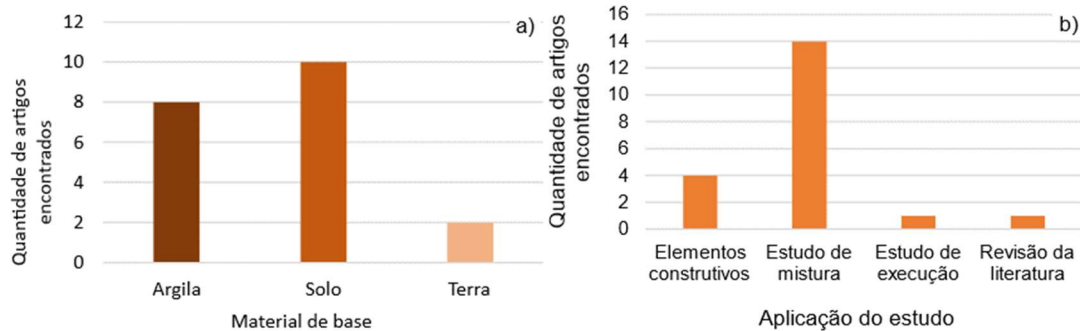
Apesar de possuir resultados similares entre os anos de 2013 e 2020, os artigos sobre impressão 3D em concreto passaram a superar as pesquisas na área de bioconstrução, com terra, solo e argila, a partir de 2021, alcançando 1.036 artigos publicados em 2023 e totalizando um acumulado de 3860 pesquisas, nos últimos 10 anos. Essa tendência já era esperada, uma vez que o setor da construção, em todo o mundo, possui uma longa tradição de utilizar o concreto como material principal das construções, seus materiais constituintes e comportamento físico-mecânicos já são bem conhecidos na área, ao contrário dos materiais utilizados na área de bioconstrução, cujas aplicações e pesquisas ainda são menores e pouco exploradas. Os artigos sobre impressão 3D em terra, chegaram a uma quantidade de 780 pesquisas publicadas em 2023, com um acumulado de 3.448 trabalhos, seguida da impressão 3D em solo, com 474 pesquisas e 1.763 acumuladas, e das pesquisas de impressão 3D em argila, com 552 pesquisa e 2.359 acumuladas, respectivamente, para o mesmo período de tempo analisado.

Analisando somente o recorte da bioconstrução, observamos que apesar da quantidade de pesquisas serem menores do que as de concreto, a soma das pesquisas da área, resultou em acumulado de 7.570 artigos. Número este, maior que as pesquisas de concreto. Porém, esses dados consideram o uso de outros equipamentos de impressão 3D (que não utilizam as técnicas de extrusão do material) e por conta disso, observou-se a necessidade de aplicar novos filtros, para a segunda fase da pesquisa, para uma análise mais equitativa entre as áreas. Também foi observado que a diferença na nomenclatura empregada, na área da bioconstrução, acontece em virtude do material utilizado como base da mistura: as pesquisas na área de terra, englobam misturas que não recebem nenhum pré-tratamento ou que apresentam algum teor de material orgânico em sua composição (como fibras, semestre e outros componentes naturais). As pesquisas na área de solo, englobam misturas com proporções diversas de solos (arenoso, argiloso, calcário, etc) previamente selecionados (com a retirada de impurezas, resíduos, material orgânico) e pré-tratados (moagem e seleção granulométrica). Enquanto as pesquisas na área de argila, consideram somente o solo argiloso em sua composição, também pré-tratado, tornando-a uma mistura mais pura e de maior controle tecnológico.

Os resultados da segunda e terceira fase, após realização das filtragens (20 artigos), por sua vez (Figura 2 - a), demonstraram que o desenvolvimento das pesquisas com base de material em argila e solo, são mais frequentes que as pesquisas em terra, sendo estas 4 e 5 vezes respectivamente maiores. Acredita-

se que esse resultado seja em virtude da menor durabilidade e comportamento mecânico naturalmente apresentado pelas misturas em terra, que por sua vez, são menos desejáveis na área de construção civil, principalmente quando aplicados para elementos construtivos ou de maior escala, que geralmente ficam expostos a intempéries e que devem apresentar maior segurança e confiabilidade estrutural.

Figura 2 - Resultados da filtragem das pesquisas de impressão 3D na área de bioconstrução: a) número de pesquisas por base de material; b) número de pesquisa por área de aplicação do estudo



Fonte: dos autores.

Analisando, por fim, os tipos de aplicação dos estudos na área da bioconstrução (Figura 2 - b) é possível entender que a maior parte das pesquisas existentes hoje, são estudos iniciais de mistura, focados em realizar testes com os traços produzidos. Essas pesquisas analisam como a composição das misturas afeta nos parâmetros de impressibilidade e nas propriedades físicas e mecânicas (durabilidade e a resistência estrutural) dos protótipos impressos. Além da possibilidade de utilização de adições minerais mais sustentáveis (calcário calcinado, casca de arroz carbonizada e fibras naturais de linho, etc) para melhorar tais propriedades mecânicas. Poucos estudos estão em fases mais avançadas, de produção de elementos construtivos em grande escala. Contudo, sabe-se que já existem atualmente no mercado, empresas privadas, como a WASP⁶, que realizam seus próprios testes na área da bioconstrução, para a construções de casas inteiras em escala real, entretanto, esses estudos não apareceram nas pesquisas acadêmicas analisadas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no estudo realizado, foi possível perceber que apesar de ser uma área que vem crescendo nos últimos 10 anos, no setor da construção civil, o uso da impressão 3D com materiais na área de bioconstrução, ainda se encontra muito atrás das pesquisas na área de concreto. As pesquisas desenvolvidas até o momento são em sua maioria testes de misturas e de impressibilidade, que focam na realização de ensaios de extrusão, qualidade e quantidade máxima de camadas empilhadas.

Além disso, o baixo número de artigos encontrados e selecionados, com os filtros aplicados na revisão sistemática da literatura, também levanta a possibilidade de ampliar a metodologia, com utilização de outros termos de buscas e/ou base de dados, para se encontrar mais pesquisas na área. Visto que é de conhecimento de mercado, que existem elementos impressos em escala real, na área da bioconstrução, produzidos por empresas privadas, que não apareceram nas buscas iniciais, e que trazem perspectivas promissoras para os próximos anos, para a impressão 3D no setor da construção civil.

5. REFERÊNCIAS

- ¹ RAHIMI M, E. M., MORADI M. **Effect of reprocessing on shrinkage and mechanical properties of ABS and investigating the proper blend of virgin and recycled ABS in injection molding.** J Mater Process Technol, 2014;
- ² COLORADO, H. A.; VELÁSQUEZ, E. I. G.; MONTEIRO, S. N. **Sustainability of additive manufacturing: the circular economy of materials and environmental perspectives.** Journal of Materials Research and Technology, v. 9, n. 4, p. 8221-8234, 2020;
- ³ FORUM, W. E. **Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology.** 2016;
- ⁴ PERROT, A.; RANGEARD, D.; COURTEILLE, E. **3D printing of earth-based materials: Processing aspects.** Construction and Building Materials, v. 172, p. 670-676, 2018.
- ⁵ FERENHOF, H.; FERNANDES, R. **Desmistificando a revisão de literatura com base para redação científica: método SSF.** v. 21, 2016;
- ⁶ FALESCHINI, F. et al. **Sustainable mixes for 3D printing of earth-based constructions.** Construction and Building Materials, v. 398, p. 132496, 2023.