ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Estruturas inspiradas na natureza para construções mais eficientes e sustentáveis com 3DCP

Nature-inspired structures for more efficient and sustainable constructions with 3DCP

Matheus Frederico Ferreira Henckmaier
UDESC/UNISUL | Laguna | Brasil | henckma@outlook.com
Olana Tridapalli
UDESC | Laguna | Brasil | olanatridapalli@gmail.com

Resumo

Este artigo apresenta uma revisão da literatura explorando o potencial da impressão 3D de concreto (3DCP) quando combinada com princípios biomiméticos. A revisão, realizada utilizando as bases de dados Science Direct e Scopus, destaca a capacidade de imitar estruturas naturais, permitindo a criação de designs inovadores e complexos, otimizando recursos e melhorando as propriedades estruturais. As principais descobertas focam na aplicação das estruturas de Bouligand, inspiradas na quitina dos crustáceos, que aumentam o desempenho mecânico e a tenacidade em compósitos cimentícios. Os estudos revelam avanços significativos na resistência à flexão e no desempenho ao impacto através de vários padrões e ângulos helicoidais. Apesar dos resultados promissores, permanecem desafios na complexidade dos materiais, barreiras econômicas e a variabilidade dos resultados mecânicos. A pesquisa contínua é crucial para desenvolver regras de design específicas e aproveitar plenamente as capacidades da 3DCP biomimética, abrindo caminho para uma construção mais eficiente, sustentável e resiliente.

Palavras-chave: Biomimética. Bioinspiração. Manufatura aditiva. Design funcional. Impressão 3D.

Abstract

This paper presents a literature review exploring the potential of 3D concrete printing (3DCP) when combined with biomimetic principles. The review, conducted using the Science Direct and Scopus databases, highlights the ability to mimic natural structures, enabling the creation of innovative and complex designs, optimizing resources, and improving structural properties. Key findings focus on the application of Bouligand structures, inspired by chitin in crustaceans, which enhance mechanical performance and tenacity in cementitious composites. Studies reveal significant advancements in flexural resistance and impact performance through various helicoidal patterns and angles. Despite the promising results, challenges remain in material complexity, economic barriers, and the variability of mechanical outcomes. Ongoing research is crucial to develop specific design rules and fully leverage the capabilities of biomimetic 3DCP, paving the way for more efficient, sustainable, and resilient construction.

Keywords: Biomimicry. Bioinspiration. Additive manufacturing. Functional design. 3D printing.

Como citar:
HENCKMAIER, M e TRIDAPALLI, O. Estruturas inspiradas na natureza para construções mais eficientes e sustentáveis com 3DCP. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais do XX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Maceió: ANTAC, 2024.

INTRODUÇÃO

A construção civil enfrenta grandes desafios atualmente, ao mesmo tempo que existe maior demanda do setor devido ao aumento da população global, aumenta a necessidade de abordagens inovadoras que garantam a sustentabilidade. A utilização do cimento, matéria-prima essencial na construção civil, tem sido associada a sérias problemáticas ambientais devido às suas emissões significativas de dióxido de carbono (CO2) [1]. Diante deste cenário, a busca por alternativas sustentáveis na construção torna-se foco na agenda política de países que são signatários de acordos ambientais.

A impressão 3D de concreto (3DCP, sigla em inglês) representa uma inovação significativa na construção, oferecendo benefícios notáveis para a concepção formal e rapidez de construção, mas também apresentando desafios quanto a sustentabilidade e aprimoramento da tecnologia [2][3]. A 3DCP é um campo de pesquisa emergente, com uma variedade de tópicos em estudo. Dentre os aspectos frequentemente analisados, destacam-se as propriedades dos materiais empregados na 3DCP, o processo de impressão, englobando a velocidade de impressão e a precisão também são objetos de investigação [4].

No entanto, a sustentabilidade surge como um tópico crucial na 3DCP, abordando a minimização do desperdício de material, otimização da forma, emprego de materiais reciclados e a diminuição da pegada de carbono na construção, principalmente relacionada à diminuição do uso do clínquer na fabricação de cimento [5][6][7][8].

A sustentabilidade e o design das estruturas construídas devem estar interligados, especialmente no contexto da manufatura aditiva, que é capaz de promover a criação de estruturas complexas e orgânicas, a personalização e a otimização de recursos [9]. A biomimética, que se inspira na natureza para encontrar soluções sustentáveis, se apresenta como alternativa na procura por um design funcional na arquitetura, com potencial ainda maior através da manufatura aditiva [10][11]. O design natural evoluiu de forma a otimizar propriedades mecânicas como força, rigidez, flexibilidade, tenacidade à fratura, resistência ao desgaste, além da eficiência energética para diversas funções dos organismos. Ao mimetizar processos e estruturas naturais, a biomimética pode auxiliar no desenvolvimento de materiais e estruturas em 3DCP, resultando em construções mais eficientes e sustentáveis.

Neste contexto, compreender melhor as potencialidades da biomimética na 3DCP torna-se essencial para o avanço deste método construtivo. Este estudo visa explorar como os princípios biomiméticos podem ser aplicados para otimizar o design das estruturas em 3DCP, contribuindo para a redução do impacto ambiental e promovendo soluções inovadoras.

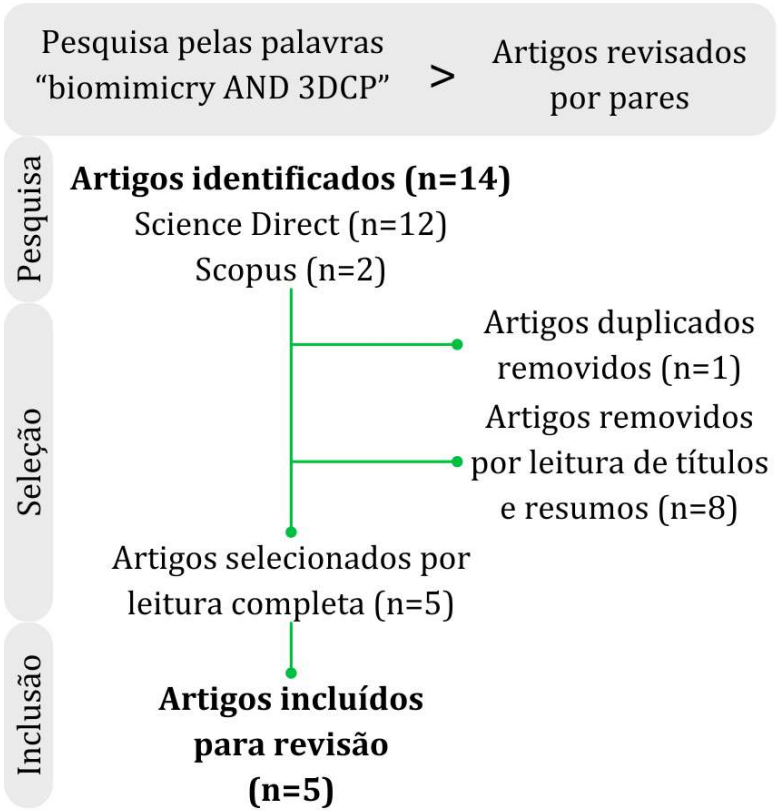
METODOLOGIA

Para compreender melhor as potencialidades da biomimética na 3DCP, foi realizada uma revisão bibliográfica utilizando as bases de dados Science Direct e Scopus. Os critérios de seleção dos artigos incluíram publicações de artigos científicos revisados por pares, foi utilizada as seguintes palavras-chave em conjunto: “biomimicry AND

3DCP". Os artigos foram selecionados de acordo com a sua relevância em relação à otimização de recursos através da forma, eficiência energética e estrutural na 3DCP, bem como a aplicação de princípios biomiméticos na construção.

O processo de revisão envolveu a identificação inicial de 14 artigos, sendo 1 artigo duplicado e removido e após foi feito uma triagem por meio de leitura de títulos e resumos, resultaram 5 artigos considerados relevantes para a pesquisa (Figura 1).

Figura 1: Metodologia para seleção de artigos para revisão bibliográfica



RESULTADOS

Por meio da revisão bibliográfica sobre biomimética e 3DCP, constatou-se um foco nas estruturas de Bouligand sendo aplicadas para a 3DCP. A estrutura de Bouligand, inspirada no padrão natural encontrado em organismos que possuem a quitina na sua composição como nos crustáceos, consiste em uma disposição helicoidal das camadas de material que proporciona maior resistência e tenacidade [12]. A utilização desse tipo de forma estrutural, vêm revelando avanços significativos no desempenho mecânico e na resistência dos compósitos cimentícios. Nguyen-Van et al. [13] investigaram a aplicação da estrutura de Bouligand em vigas compostas de concreto com fibras de aço, submetidas a cargas de flexão. O estudo envolveu a impressão 3D de blocos helicoidais com ângulos de inclinação de 0º, 15º, 30º e 45º. As análises demonstraram que a abordagem deste tipo de modelagem pode prever com precisão a anisotropia dos materiais em estruturas de concreto reforçado com fibras impressas em 3D, destacando a relevância das estruturas de Bouligand na melhoria da resistência e tenacidade das vigas.

Complementando esses achados, Du et al. [14] investigou o impacto das estruturas de Bouligand em compósitos cimentícios endurecedores de tensão impressos em 3DCP. Utilizando três padrões de impressão (paralelo, cruzado e Bouligand) e cinco ângulos de inclinação (15º, 30º, 45º, 60º, 75º), os resultados indicaram que o padrão Bouligand reduziu a direcionalidade e aumentou significativamente a resistência e a tenacidade à flexão das estruturas em 3DCP, particularmente na direção Y.

Liu et al. [15] explorou o desempenho de impacto do concreto impresso em 3D com diferentes padrões helicoidais e ângulos de inclinação, além da inclusão de fibras de aço. Os testes de impacto com queda de peso revelaram que os espécimes com fibras de aço e padrões helicoidais exibiram melhor desempenho em termos de duração do impacto, força de impacto máxima e absorção de energia. As análises revelaram que os padrões de impressão influenciam a geometria dos poros e os mecanismos de fissuração, proporcionando uma compreensão mais detalhada dos efeitos das estruturas de Bouligand na resistência ao impacto.

Estes estudos destacam o potencial das estruturas de Bouligand na otimização das propriedades mecânicas dos compósitos cimentícios impressos em 3D. A aplicação desse padrão biomimético demonstrou melhorias notáveis na resistência, tenacidade flexural e desempenho de impacto dos materiais, podendo superar as limitações dos padrões de impressão convencionais [16]. A abordagem inspirada em designs da natureza, como observada na quitina dos crustáceos, oferece uma base promissora para o desenvolvimento de materiais e abordagens formais para construções mais eficientes e resilientes. Esses resultados evidenciam a importância de continuar explorando e refinando os padrões de impressão bioinspirados para maximizar o potencial dos compósitos cimentícios impressos em 3D.

Além dos artigos que tratam especificamente sobre estruturas de Bouligand, dois estudos encontrados oferecem uma perspectiva mais abrangente sobre o potencial da biomimética no contexto da 3DCP. Du Plessis et al. [17] revisa diversas formas de biomimética aplicadas à impressão 3D de concreto, destacando padrões estruturais naturais como fibrosas, helicoidais, gradientes, em camadas, tubulares, celulares, suturas e sobrepostas [18]. O artigo enfatiza como esses princípios podem ser aplicados para melhorar o desempenho estrutural, otimizar o uso de materiais e aumentar a sustentabilidade das construções impressas. Exemplos de sucesso incluem pontes para pedestres, casas, edifícios de escritórios, abrigos de emergência e estruturas militares, ilustrando a diversidade que a biomimética pode contribuir para a construção.

Arumugam et al. [19] também revisou a literatura sobre a aplicação de estratégias de biomimética, tendo como foco envoltórios de edifícios impressos em 3DCP. O estudo aborda como essas estratégias podem otimizar o desempenho dos edifícios e identifica tendências futuras no design bioinspirado. No entanto, o trabalho identifica lacunas na literatura atual, como a necessidade de comparação de custos e tempos de construção, avaliação de desempenho contra o fogo e acústico, e criação de padrões e normas de padronização.

Os resultados demonstram o potencial da 3DCP quando combinada com princípios biomiméticos, revelando um avanço significativo no uso das estruturas de Bouligand em compósitos cimentícios. Contudo, algumas limitações e desafios permanecem. A aplicabilidade plena dessas estruturas enfrenta desafios substanciais, incluindo a complexidade da produção em larga escala, barreiras econômicas e técnicas, materiais e processos de impressão e a variabilidade dos resultados mecânicos.

CONCLUSÃO

A revisão apresentada demonstra o potencial transformador da impressão 3D de concreto quando combinada com princípios biomiméticos. A capacidade de imitar estruturas naturais não apenas possibilita a criação de designs complexos, mas também otimiza recursos e melhora as propriedades estruturais. No entanto, é crucial reconhecer os desafios significativos na implementação dessas tecnologias, especialmente relacionados aos materiais e aos processos de impressão.

A continuidade da pesquisa é fundamental para desenvolver "regras de design" específicas para essa nova tecnologia de manufatura, permitindo a exploração máxima de suas capacidades. A combinação da complexidade do design inspirado na natureza com a precisão e personalização oferecidas pela 3DCP tem o potencial de promover avanços disruptivos na construção, resultando em estruturas mais eficientes, sustentáveis e funcionais. O sucesso futuro dependerá de uma compreensão profunda das bases do design biomimético e dos limites técnicos da impressão 3D de concreto.

REFERÊNCIAS

[1] GLOBAL CEMENT AND CONCERTE ASSOCIATION (GCCA). **Concrete future: the GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete**, 2021.

[2] AGUSTÍ-JUAN, Isolda et al. Potential benefits of digital fabrication for complex structures: Environmental assessment of a robotically fabricated concrete wall. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 154, p. 330–340, 2017.

[3] BUSWELL, R. A. et al. A process classification framework for defining and describing Digital Fabrication with Concrete. **Cement and Concrete Research**, [s. l.], v. 134, n. May, 2020.

[4] AHMED, Ghafur H.; ASKANDAR, Nasih H.; JUMAA, Ghazi B. A review of large-scale 3DCP: Material characteristics, mix design, printing process, and reinforcement strategies. **Structures**, [s. l.], v. 43, n. April, p. 508–532, 2022

[5] BI, Minghao et al. Topology optimization for 3D concrete printing with various manufacturing constraints. **Additive Manufacturing**, [s. l.], v. 57, n. May, p. 102982, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.102982.

[6] FLATT, Robert J.; WANGLER, Timothy. On sustainability and digital fabrication with concrete. **Cement and Concrete Research**, [s. l.], v. 158, n. April, p. 106837, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2022.106837.

[7] GISLASON, Styrmir et al. Porous 3D printed concrete beams show an environmental promise: a cradle-to-grave comparative life cycle assessment. **Clean Technologies and Environmental Policy**, [s. l.], v. 24, n. 8, p. 2639–2654, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10098-022-02343-9.

[8] DE MATOS, Paulo Ricardo et al. Effect of the superplasticizer addition time on the fresh properties of 3D printed limestone calcined clay cement (LC3) concrete. **Case Studies in Construction Materials**, [s. l.], v. 19, n. July, 2023

[9] MOZAFFARI, Salma et al. Digital design and fabrication of clay formwork for concrete casting. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 154, n. May, 2023.

[10] DU PLESSIS, Anton et al. Beautiful and Functional: A Review of Biomimetic Design in Additive Manufacturing. **Additive Manufacturing**, [s. l.], v. 27, n. March, p. 408–427, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.03.033.

[11] RIPLEY, Renee L; BRUSHAN, Bharat. Bioarchitecture: bioinspired art and architecture – a perspective. **Philosophical Transactions A**, 2016. Disponível em: http//dx.doi.org/10.1098/rsta.2016.0192.

[12] NIE, Yunqing; LI, Dongxu. A multiscale fracture model to reveal the toughening mechanism in bioinspired Bouligand structures. **Acta Biomaterialia**, [s. l.], v. 176, p. 267–276, 2024.

[13] NGUYEN-VAN, Vuong et al. Modelling of 3D-printed bio-inspired Bouligand cementitious structures reinforced with steel fibres. **Engineering Structures**, [s. l.], v. 274, n. October 2022, p. 115123, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115123.

[14] DU, Guoqiang; SUN, Yan; QIAN, Ye. Flexural performance of nature-inspired 3D-printed strain-hardening cementitious composites (3DP-SHCC) with Bouligand structures. **Cement and Concrete Composites**, [s. l.], v. 149, n. October 2023, p. 105494, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2024.105494.

[15] LIU, Junli et al. 3D concrete printing of bioinspired Bouligand structure: A study on impact resistance. **Additive Manufacturing**, [s. l.], v. 50, n. May 2021, p. 102544, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102544.

[16] BOS, Freek et al. Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing. **Virtual and Physical Prototyping**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 209–225, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1080/17452759.2016.1209867.

[17] DU PLESSIS, Anton et al. Biomimicry for 3D concrete printing: A review and perspective. **Additive Manufacturing**, [s. l.], v. 38, n. November 2020, 2021.

[18] NALEWAY, Steven E. et al. Structural Design Elements in Biological Materials: Application to Bioinspiration. **Advanced Materials**, [s. l.], v. 27, n. 37, p. 5455–5476, 2015.

[19] ARUMUGAM, Girirajan; KUSUMO, Camelia May Li; MARI, Tamilsalvi. Computer Aided Thematic Review and Analysis of 3D Concrete Printed Building |Envelopes Inspired By Nature. **Journal of Engineering Science and Technology**, [s. l.], v. 18, n. September, p. 258–273, 2023.