

Impressão 3D em Concreto: Revisão da Literatura e Desafios

Caio Vinicius Efigenio Formiga (Pontifícia Universidade Católica de Goiás)

caioeformiga@gmail.com

Marcos Lajovic Carneiro (Pontifícia Universidade Católica de Goiás)

marcoslajovic@hotmail.com



A impressão 3D recentemente alcançou o ambiente da construção civil, podendo melhorar as estratégias de construção, reduzindo a necessidade de recursos humanos e altos investimentos de capital. Este artigo tem como objetivo revisar as publicações do ano de 2020 sobre o assunto. Os artigos foram buscados em dois bancos de dados, depois selecionados e categorizados em 3 grupos: revisão bibliográfica, comparações e novos métodos de impressão. São indicadas 10 lacunas a serem desenvolvidas no tema: estrutura, materiais, legislação, integridade, design, gestão, algoritmos cnc, monitoramento, múltiplos materiais e simulação do processo.

Palavras-chave: Impressão 3D em concreto, Manufatura Aditiva em concreto.

1. Introdução

A impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva (GIBSON et al, 2014), é um processo avançado de fabricação que pode produzir peças com geometrias complexas automaticamente, a partir de um desenho 3D assistido por computador (CAD). Ela está sendo aplicada em diversos campos da indústria devido à algumas vantagens: criar protótipos funcionais em tempo razoável, reduzir o tempo entre a criação e a prototipagem, reduzir o esforço e aumentar o impacto do planejamento devido o *design* iterativo, aumentar o alinhamento organizacional para acelerar a tomada de decisões, reduzir a intervenção humana, minimizar o desperdício de material e interromper a cadeia de suprimentos tradicional, permitindo a produção de produtos mais perto do ponto de uso no momento da necessidade, melhorando o *lead time*.

Uma aplicação mais recente desta tecnologia, voltada para o ambiente da construção civil pode melhorar as estratégias tradicionais de construção, reduzindo a necessidade de recursos humanos, altos investimentos de capital e fôrmas. O interesse da pesquisa em empregar impressão 3D para construção civil aumentou exponencialmente nos últimos anos, visto que é um setor que tem uma baixa produtividade e tecnologias atrofiadas, quando comparados a outros setores, que têm automatizado e digitalizado seus processos de fabricação (EL-SAYEGH et al, 2020).

Este artigo realiza uma revisão da bibliografia relacionada a manufatura aditiva na construção civil, apontando o estado-da-arte já alcançado no ano de 2020, a fim de apresentar os aspectos gerais da impressão 3D em concreto/argamassa. Também são apresentadas lacunas no conhecimento para que futuros trabalhos possam reduzir os desafios e as limitações da impressão 3D na construção civil.

Com a revisão dos artigos, informações importantes sobre impressão 3D foram sintetizadas, tais como descrição dos processos, novos métodos, comparações e lacunas. Os principais desafios encontrados, e que podem ser fruto de futuras pesquisas foram a impressão em escalas maiores, desenvolvimento de materiais adequados, ausência de regulamentações, poucos estudos na área de simulação computacional do processo, estudo da integridade estrutural dos elementos impressos e criação de códigos ou softwares para monitoramento em tempo real do processo.

Este artigo apresenta na seção 2 um breve resumo da impressão 3D na construção civil nos dias de hoje, em seguida, na seção 3 a metodologia de coleta e seleção de dados da pesquisa. Na seção 4 é apresentada uma análise detalhada da literatura, desenvolvendo cada categorização

feita nos artigos estudados, apresentando as lacunas no conhecimento e sugestões para pesquisas futuras. Na seção 5 são apresentadas as conclusões da pesquisa.

2. Impressão 3D para a construção civil

A manufatura aditiva é uma das mais novas formas de tecnologia que estão sendo introduzidas na indústria da construção. Recentemente tem crescido o interesse na automação e na aplicação da impressão 3D na construção civil, devido a vários fatores: redução do trabalho manual por motivo de segurança, redução do tempo de construção no local, redução de custos de produção e aumento da liberdade arquitetônica. Além disso, a sustentabilidade tem sido abordada, pois a indústria da construção civil foi reconhecida como um setor que consome uma quantidade considerável de recursos e apresenta tensões ambientais significativas (EL-SAYEGH et al, 2020).

Em meados dos anos 90, surgiu uma tecnologia chamada “*Contour Crafting*”, que foi posteriormente patenteada em 2007 (KHOSHNEVIS, 2007). Começou inicialmente como um método de extrusão de pasta de cerâmica, mas foi posteriormente expandida para materiais cimentícios. A novidade é que utiliza espátulas para modelar o material à medida que é depositado, sem o uso de fôrmas. Os elementos básicos desta tecnologia incluem um tanque de concreto, uma mangueira, um mecanismo de bombeamento, um bico e um braço robótico que guia o bico nas direções x, y e z. Uma das diferenças entre *Contour Crafting* e *Shotcreting* (DRESSLER et al, 2020) é que este último utiliza pressão pneumática para impulsionar o material através do bico. Posteriormente surgiu a tecnologia *D-Shape* (BOHUCHVAL et al, 2019), que utiliza a deposição de pó juntamente com a aplicação de um material ligante.

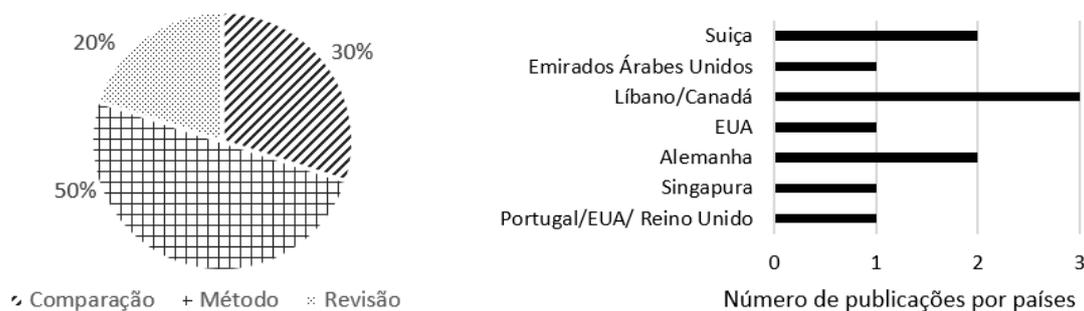
Na primeira década do século 21, surgiu a construção em forma livre (BOYD et al, 2019), que é bastante similar ao *Contour Crafting*, com diferenças no design no bico de extrusão. Na impressão de concreto o bico é capaz de imprimir com diferentes resoluções, tanto em massa quanto em detalhes. A tecnologia foi diferenciada das demais por se concentrar na melhoria da fabricação em grande escala (KHAN et al, 2020). Em 25 anos de desenvolvimento da tecnologia de impressão 3D para a construção civil, vários avanços foram alcançados, mas ainda existe um longo caminho a percorrer.

3. Metodologia da Pesquisa

A busca foi feita em duas bases de dados e foram utilizados dois conjuntos de termos de busca – “concrete printer gantry mortar” e “3d concrete printer” – e foram encontrados 52 e 43 artigos, no ano de 2020 entre janeiro e maio no Google Acadêmico e *Web of Science*, respectivamente. O número de artigos encontrados nesse curto intervalo e tempo demonstra um alto grau de interesse da comunidade científica pelo tema.

Um total de 10 artigos foram selecionados a partir de uma triagem, em que apenas artigos de revisão bibliográfica, artigos sobre as estruturas das impressoras e artigos sobre novos métodos de impressão em concreto foram considerados. Na Figura 1 são apresentados os grupos de classificação determinados, juntamente com suas porcentagens e a origem destes artigos.

Figura 1 – Grupos de Classificação das publicações (à esquerda); origem e quantidade publicações (à direita)



Fonte: Próprio autor

4. Análise Detalhada da Literatura

As publicações sobre impressão 3D em concreto ao longo dos anos mostram importantes tendências da manufatura aditiva na construção civil, tais como desenvolvimento de sistemas de impressão 3D, novos materiais e desempenho em sustentabilidade (EL-SAYEGH et al, 2020). Grande parte dos resultados de busca são relativos ao desenvolvimento dos materiais de impressão 3D e portando não foram considerados relevantes para esta pesquisa. Na Figura 1 foi levado em consideração a nacionalidade de todos os autores envolvidos em cada artigo. O país com maior número de publicações neste tema foi o EUA, com três artigos, seguido de Singapura e Suíça, com duas.

Os artigos de revisão fazem uma análise das publicações ao longo dos anos. Os categorizados como métodos, apresentam melhorias de sistemas de impressão 3D em concreto. Os classificados como comparativo, confrontam dados dos processos de manufatura aditiva em concreto com métodos de produção tradicionais.

Observando estes artigos, é possível perceber o esforço dos pesquisadores no desenvolvimento de novos métodos/sistemas de impressão, com o objetivo de obter resultados melhores. Cinco das dez publicações tratam desse tema. Três publicações tratam de revisão bibliográfica e dois de comparativos de custos e impactos entre a construção tradicional e impressão 3D em concreto.

Observa-se que ainda há carência de revisões bibliográficas completas, ou específicas (mais aprofundadas) com relação às estruturas dos equipamentos utilizados para manufatura aditiva em concreto/argamassa para a construção civil. Uma das publicações selecionadas classificadas como revisão bibliográfica mais relevante (EL-SAYEGH et al, 2020), aborda os tipos de estruturas, materiais, sistemas de controle, benefícios, desafios, riscos e recomendações para futuras pesquisas. Nas próximas seções, onde serão mostrados os principais tipos de sistema de impressão 3D em concreto, vantagens e desafios; o comparativo de custos da manufatura aditiva em concreto e os métodos tradicionais; e o desenvolvimento de novos métodos de impressão 3D em concreto.

4.1. Artigos de Revisão

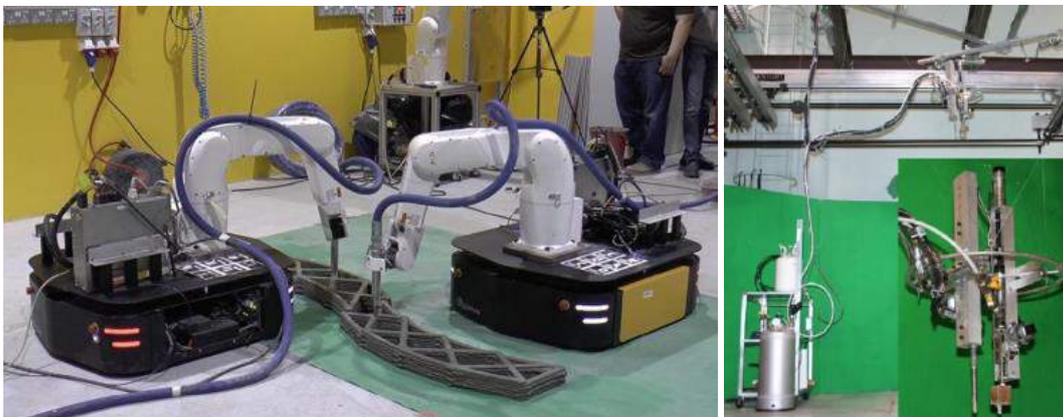
Dentre os modelos de impressoras 3D para a construção civil, o sistema em pórtico e o braço robótico cilíndrico têm se destacado. Nos pórticos (Figura 2), a extrusora se move em um sistema de coordenadas cartesianas, ao longo dos eixos X, Y e Z. Possui algumas limitações, tais como transporte, instalação e tamanho, mas possui uma vantagem de poder aumentar a área de impressão facilmente. Já o braço robótico cilíndrico (Figura 2) necessita de menos espaço, podendo ser transportado em plataformas para o local das construções. No entanto, possui limitações na área de impressão e altos momentos gerados na base quando o braço atinge a extensão máxima. Uma equipe de robôs móveis, Figura 3, também foi proposta. Para melhorar a escala de impressão, robôs suspensos por cabos também podem ser utilizados (Figura 3). Eles possuem a vantagem de serem mais leves, baratos e fácil de serem transportados e configurados. Contudo, também possuem limitações: menor precisão com relação aos outros robôs e possível perda no espaço de impressão causada pelos cabos (EL-SAYEGH et al, 2020).

Figura 2 – Sistema de pórtico (esquerda) e sistema robótico cilíndrico (direita) na impressão 3D para construção



Fonte: EL-Sayegh et al, (2020)

Figura 3 – Impressão 3D em concreto de uma equipe de dois robôs móveis (à esquerda) e robô suspenso por cabos (à direita)



Fonte: EL-Sayegh et al, (2020)

A maioria das impressoras 3D em concreto possuem um sistema de extrusão, em que a mistura de concreto ou argamassa são bombeadas para um bico de impressão para ser depositado. Para um melhor acabamento superficial, espátulas podem ser usadas na extremidade do bico de impressão, método chamado de *Contour Crafting* (CC). Já o método *D – Shape*, utiliza a deposição de pó juntamente com a aplicação de um material ligante. Esse método demonstrou ser bastante eficiente na impressão de estruturas em larga escala. Outro método, *Concrete printing*, é bem semelhante ao CC, possui uma melhor resolução na deposição de material e permite geometrias complexas (KHAN et al, 2020).

Além dos sistemas físicos, a manufatura aditiva também necessita da modelagem computacional. Novos paradigmas de modelagem estão surgindo devido a enormes

possibilidades que a manufatura aditiva fornece. Diversos modelos baseados em dados estão ganhando interesse significativo (KHAN et al, 2020).

Na maioria das pesquisas de materiais à base de concreto, as investigações são experimentais, sendo que simulações computacionais do processo permanecem limitadas. Os modelos devem abranger várias escalas temporais e espaciais; incorporar fenômenos multifísicos; serem capazes de integrar arquitetura, configurações de materiais múltiplos e propriedades internas dos materiais; e ser capaz de lidar com a evolução da microestrutura e propriedades do material durante o processo (KHAN et al, 2020).

A manufatura aditiva em concreto possui diversos benefícios, como, possibilidade de construir uma casa em 24 horas. Isso pode permitir um aumento na escala da construção e a produção em massa. A impressão 3D também reduz o custo de produção, pois há menos transporte de materiais e estoque, menos trabalhadores e menor tempo de produção. Outro benefício é a possibilidade de produção de formas com geometrias complexas, em que os métodos tradicionais dificilmente iriam conseguir. A sustentabilidade também possui algumas vantagens, tais como redução de lixo de obras, utilização de materiais reciclados no processo, redução de fôrmas e ambiente de trabalho mais seguro (EL-SAYEGH et al, 2020).

Apesar das inovações e vantagens da impressão 3D em concreto, algumas limitações precisam ser solucionadas. Um dos principais desafios é com relação ao material. Várias misturas estão sendo testadas e desenvolvidas a fim de se obter maior fluidez, estrudabilidade, capacidade de construção, resistência estrutural e poder serem configuradas com rapidez suficiente para atender aos requisitos do processo de impressão em 3D. A incorporação de reforços em aço é um dos grandes desafios da impressão 3D em concreto, principalmente nas impressões *in situ* (no local). Outra questão importante é a falta de informações sobre modelagem e simulação do processo de impressão 3D, pois a maioria das pesquisas tem sido experimentais. A ausência de normas e regulamentações também é um problema a ser resolvido para que os processos e produtos possam ser mais seguros e padronizados (KHAN et al, 2020).

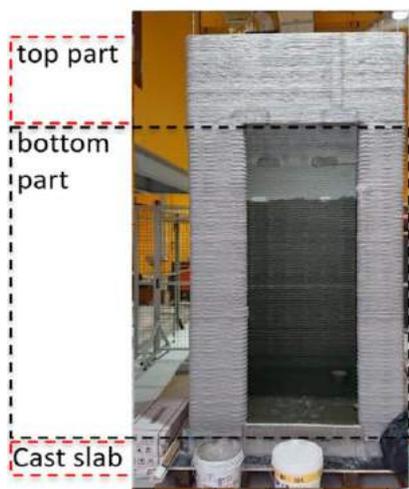
4.2. Artigos de Comparação

Este item faz referência às três publicações classificadas como “Comparação”, de acordo com a Figura 1. Estes artigos fazem um comparativo de custos, impactos e qualidade entre a construção tradicional e a impressão 3D em concreto.

Um dos estudos, feito no contexto de Singapura, (WENG et al, 2020) fabricou uma unidade de banheiro com dimensões 1620 mm x 1500 mm x 2800 mm (Figura 4), com um sistema de braço

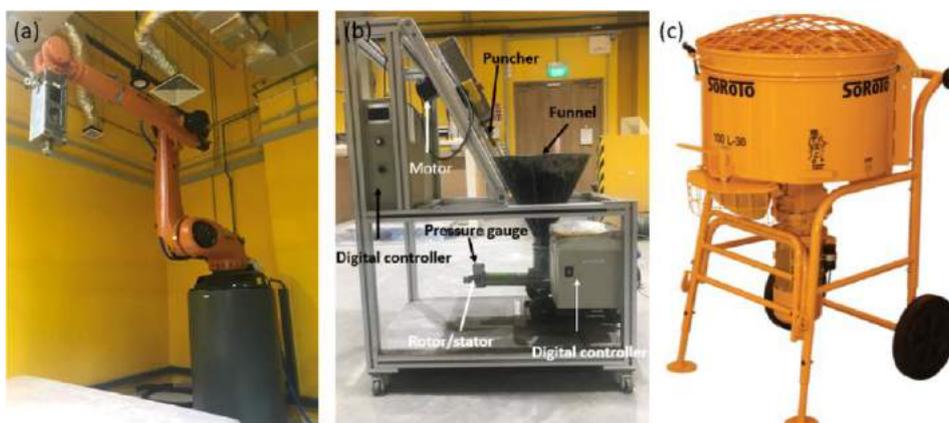
robótico, uma bomba de concreto e um misturador de material (Figura 5). Custo, emissão de CO_2 e consumo de energia foram mensurados durante o processo para serem comparados ao método tradicional de construção, chegando a uma conclusão de que houve uma redução de 34,1% no custo, 85,9% na emissão de CO_2 e 87,1% no consumo de energia, além da redução no peso total da estrutura.

Figura 4 – Banheiro impresso



Fonte: Weng et al, (2020)

Figura 5 – Equipamentos de impressão utilizados



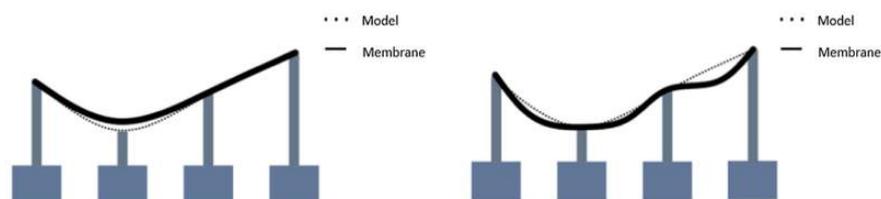
Fonte: Weng et al, (2020)

Os estudos (JAGODA et al, 2020) e (ANTON et al, 2020) desta classificação fizeram uma análise mais qualitativa do que quantitativa. Estes artigos mostram como a impressão 3D em concreto pode ser fácil de se executar. Foram impressos três pequenos monumentos em concreto (Figura 6) e posteriormente feita uma comparação com o processo convencional.

impressoras de concreto. Para um teste de validação, foi feito um modelo BIM (*Building Information Modeling*) de acordo com as normas da *Industry Foundation Classes* (IFC) como fonte de entrada para gerar o código CNC, permitindo uma linha digital ideal dos modelos BIM para impressoras de concreto. Algumas melhorias ainda podem ser incorporadas: otimização do algoritmo para calcular os caminhos de impressão e incorporação no código CNC de um monitoramento em tempo real dos ajustes de impressão.

Lim et al. (2020) propuseram um novo método de fabricação de superfícies curvas utilizando a impressão 3D. Primeiro foi desenvolvido uma fôrma, testando diversos tipos de materiais, de forma que eles possam permitir uma geometria complexa e não se deformar no momento da impressão. Essa fôrma proposta possui um ajuste de geometria (Figura 7). O método experimental foi avaliado pela qualidade superficial e fidelidade geométrica. Foram impressas duas peças com 10 mm de espessura, com uma boa precisão e acabamento (Figura 8). Essa pesquisa abre caminho para o desenvolvimento de forma econômica e sustentável de superfícies curvas em concreto.

Figura 7 – Desenvolvimento da fôrma para impressão de superfícies curvas



Fonte: Lim et al, (2020)

Figura 8 – Estruturas impressas



Fonte: Lim et al, (2020)

Yassin et al. (2020) fez um estudo sobre o melhor desempenho de um time de robôs na produção de concreto reforçado com impressão 3D de concreto, construindo um modelo de simulação que sirva de base para o estudo e mostrando os benefícios e limitações do processo e a importância de se utilizar robôs para automatizar a construção, principalmente no que diz respeito a custo e produtividade. O estudo mostrou que conforme se aumenta o número de impressoras 3D em aço, o tempo total de impressão (aço e concreto) é reduzido e a utilização da impressora 3D em concreto é aumentada. Com a utilização de um impressora de concreto e duas de aço, o tempo reduz drasticamente com relação aos métodos tradicionais. Futuras pesquisas podem se endereçar a melhoria da impressão 3D de aço (mais rápida), a distribuição de tensão nos elementos impressos, a uma melhoria no modelo de simulação para obter resultados mais precisos e nos avanços da robótica e impressão de aço e concreto para a construção civil.

Burger et al. (2020) desenvolveram uma nova forma de impressão 3D em concreto, a “casca de ovo” (Figura 9). Trata-se de um método que utiliza fôrmas finíssimas sem a necessidade de suportes adicionais. A casca é impressa juntamente com o concreto, e esse processo pode ser capaz de fabricar uma gama de geometrias sem perder a vantagem de ser possível adicionar reforços tradicionais na construção de componentes estruturais. Neste trabalho foram impressas algumas formas para poder mostrar que objetos com escalas relevantes podem ser produzidos, mas que ainda pesquisas precisam ser feitas para que o processo seja melhorado: impressão da fôrma com maior rapidez, aumentar a automatização do processo e encontrar materiais alternativos para impressão.

Figura 9 – Exemplo de peças impressas com o sistema “casca de ovo”



Fonte: Burger et al, (2020)

4.4. Identificação de Lacunas para Pesquisas Futuras

Vários avanços já foram alcançados na impressão 3D em concreto. No entanto, ainda há lacunas que precisam ser trabalhadas, para que esses sistemas possam ser realmente utilizados em grande escala. As aplicações industriais mais proeminentes utilizam duas estruturas de impressoras: pórtico e braço robótico. Novas formas de impressoras estão sendo desenvolvidas, como o robô suspenso por cabos, que pode facilitar a produção em escalas maiores e facilitar no transporte e configuração. Mas o maior desafio da impressão 3D em concreto são os materiais (EL-SAYEGH et al, 2020). Sayegh et al. (2020) também destaca outros desafios: entidades governamentais e organizações profissionais precisam estabelecer leis e regulações sobre o assunto; a integridade estrutural dos elementos impressos deve ser estudada; arquitetos e designers devem considerar as novas possibilidades oferecidas pela impressão 3D em concreto; os gestores de obras têm um papel importante, pois devem considerar os novos desafios relacionados a construção, planejamento, custos, riscos, dentre outros.

Os pesquisadores que se propuseram a desenvolver novos métodos/sistemas de impressão também sugeriram futuras pesquisas: novas formulações de materiais e estudo de elementos impressos, focando na estabilidade estrutural e integridade (CRAVEIRO et al, 2020); otimização do algoritmo criado para calcular os caminhos de impressão e incorporação no código CNC de monitoramento em tempo real dos ajustes de impressão (SMARSLY et al, 2020); desenvolvimento de forma econômica e sustentável de superfícies curvas em concreto (LIM et al, 2020); maior velocidade da impressão 3D de aço, distribuição de tensão nos elementos impressos, melhora no modelo de simulação para obter resultados mais precisos e nos avanços da robótica e impressão de aço e concreto para a construção civil (YASSIN et al, 2020); aumentar a automatização do processo de impressão e encontrar materiais alternativos para impressão (BURGER et al, 2020).

A síntese das lacunas é apresentada a seguir:

- Novas formas de estruturas;
- Materiais de impressão;
- Legislação sobre o tema;
- Integridade estrutural;
- *Design*;
- Gestão do campo de obras com a impressão 3D;
- Algoritmos para geração de códigos CNC;

- Monitoramento em tempo real;
- Impressão 3D com múltiplos materiais na construção civil;
- Simulação do processo.

5. Conclusões

Só no ano de 2020, de janeiro a maio, foram mais de noventa artigos encontrados em duas bases de dados, Google Acadêmico e *Web of Science*, com relação à pesquisas sobre impressão 3D em concreto. Os artigos foram separados em quatro categorias: revisão, método, comparação e materiais, sendo que os artigos relativos à materiais estão fora do escopo desta revisão bibliográfica. Esse trabalho tem como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre o assunto, apresentar o estado da arte e lacunas neste campo do conhecimento. O estado da arte foi indicado através da seleção de 10 artigos mais relevantes.

As dez publicações selecionadas forneceram informações valiosas sobre impressão 3D em concreto, apresentando revisões bibliográficas de artigos até 2020, novos métodos ou sistemas de manufatura aditiva em concreto, comparativo entre esse sistema e os métodos tradicionais e desafios dessa tecnologia para que seja implantada em grande escala.

Apesar do grande avanço obtido na impressão 3D em concreto, através da produção de protótipos, pontes, superfícies com geometria complexa, banheiros e até casas, com um bom desempenho, baixo custo e pouca utilização de mão de obra, ainda há muito o que se desenvolver para que essa tecnologia possa ser viável ao setor da construção civil. Ainda há muitos desafios, tais como impressão em grande escala, desenvolvimento de materiais, ausência de regulação, integridade estrutural dos elementos impressos, planejamento de obras, falta de simulação computacional do processo, dentre outros. Assim, os pesquisadores, empresas e profissionais têm muito trabalho a fazer, para que essa tecnologia realmente se torne uma realidade, com todas as vantagens que ela pode fornecer.

REFERÊNCIAS

CRAVEIRO, F.; NAZARIAN, S.; BARTOLO, H.; BARTOLO, P.; DUARTE, J. An Automated System for 3D Printing Functionally Graded Concrete-Based Materials. **Additive Manufacturing**, p. 101146, 2020.

ANTON, A.; BEDARF, P.; YOO, A.; DILLENBURGER, B.; REITER, L.; WANGLER, T.; ROBERT, F. Concrete Choreography: Pre Fabrication of 3D Printed Columns. In: **Fabricate 2020: Making Resilient Architecture, London, United Kingdom, april 2-4, 2020.**

WENG, Y.; LI, M.; RUAN, S.; WONG, T.; TAN, M.; YEONG, K.; QIAN, S. Comparative Economic, Environmental and Productivity Assessment of a Concrete Bathroom Unit Fabricated Through 3D Printing and a Precast Approach. **Journal of Cleaner Production**, p. 121245, 2020.

SMARSLY, K.; PERALTA, P.; LECKEY, D.; HEINE, S.; LUDWING, H-M. BIM Based Concrete Printing. In: **Proc. Of the International ICCCBE and CIB W78 joint Conference on Computing in Civil and Building Engineering**, São Paulo, Brasil, Junho. 2020.

KHAN, M.; SANCHEZ, F.; ZHOU, H. 3D Printing of Concrete: Beyond Horizons. **Cement and Concrete Research**. Volume 133, 2020.

LIM, J.; WENG, Y.; PHAM, Q-C. 3D Printing of Curved Concrete Surfaces Using Adaptable Membrane Formwork. **Construction and Building Materials**. Volume 232, 2020.

YASSIN, A.; HAMZEH, F.; SAKKA, F. Agent Based Modeling to Optimize Workflow of Robotic Steel and Concrete 3D Printers. **Automation in Construction**. Volume 110, February, 2020.

JAGODA, J.; MCGEE, B.; KREIGER, M.; SCHULDT, S. The Viability and Simplicity of 3D Printed Construction: a Military Case Study. **Infrastructure**. Volume 5, 2020.

EL-SAYEGH, S.; ROMDHANE, L.; MANJIKIAN, S. A Critical Review of 3D Printing in Construction: Benefits, Challenges and Risks. **Archives of Civil and Mechanical Engineering**. Volume 20, 2020.

BURGER, J.; LLORET-FRITSCHI, E.; SCOTTO, F.; DEMOULIN, T.; GEBHARD, L.; MATA-FALCON, J.; GRAMAZIO, F.; KOHLER, M.; FLATT, R. Egshell: Ultra Thin Three Dimensional Printed Formwork for Concrete Structures. **3D Printing and Additive Manufacturing**. Volume 7, 2020.

GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. **Additive Manufacturing Technologies**. Vol. 17. New York: Springer. 2014.

PATIL, H.; NALAVADE, S.; PISAL, N. Contour Crafting (A Management Tool for Swift Construction). **International Research Journal of Engineering and Technology**. Volume 6, 2019.

TAY, Y.; PANDA, B.; PAUL, S.; MOHAMED, N.; TAN, M.; LEONG, K. 3D Printing Trends in Building and Construction Industry: a Review. **Virtual and Physical Prototyping**. Volume 12, p. 261-276, 2017.

KHOSHNEVIS, B. Application filed by University of Southern California USC, Patent US8029710B2, USA: Gantry Robotics System and Related Material Transport for Contour Crafting, 2007.

DRESSLER, I.; FREUND, N.; LOWKE, D. The Effect of Accelerator Dosage on Fresh Concrete Properties and on Interlayer Strength in Shotcrete 3D Printing. **Materials**. Volume 13, p. 374, 2020.

BOHUCHVAL, M.; SONEBI, M.; AMZIANE, S.; PERROT, A. Rheological Properties of 3D Printing Concrete Containing Sisal Fibres. **Academic Journal of Civil Engineering**. Volume 37, p. 249-255, 26 jun. 2019.

BOYD, P.; GOODLOE, D.; REES, M.; HILBERT, B. Design and Manufacturing of the First Freeform 3D-Printed House. In: **Proceedings of IASS Annual Symposia** . Volume 2019, No. 6, p. 1-7. International Association for Shell and Spatial Structures (IASS).