

# Levantamento dos Ensaios de Laboratório para Normatização da Argamassa para Impressão 3D

**Raimara Araújo Lima (Pontifícia Universidade Católica de Goiás)**

[raimara.araujo1@gmail.com](mailto:raimara.araujo1@gmail.com)

**Epaminondas Junior (Pontifícia Universidade Católica de Goiás)**

[epajunioreng@gmail.com](mailto:epajunioreng@gmail.com)

**Marcos Lajovic Carneiro (Pontifícia Universidade Católica de Goiás)**

[mcarneiro@pucgoias.edu.br](mailto:mcarneiro@pucgoias.edu.br)



O uso das tecnologias de automação são ferramentas que podem melhorar o desempenho dos processos nas empresas de construção civil, por meio da otimização de processos, aumentando sua produtividade e reduzindo os custos de produção, tornando-as mais competitivas. Este artigo apresenta uma revisão sobre a manufatura aditiva relacionada a fabricação de argamassa, sua aplicação na construção civil, as normas utilizadas para os ensaios de argamassas tradicionais e uma revisão sobre os ensaios mais encontrados em publicações científicas para argamassas para impressão 3D. São apresentadas as metodologias utilizadas e os principais desafios encontrados para aplicar esta tecnologia na indústria da construção. A partir da revisão da literatura, pode-se concluir que faltam normas e as especificações das características físicas da argamassa para impressão 3D. Esses são alguns dos principais desafios para se implementar o processo comercial com segurança. Conclui-se também que é essencial a realização de ensaios físicos, mecânicos e reológicos na argamassa, para se obter um material de qualidade, que apresente um comportamento mecânico que atenda aos critérios normativos de desempenho do sistema para o qual se deseja implementar.

*Palavras-chave: manufatura aditiva, concreto digital, argamassa impressa 3D, automação na construção, argamassa cimentícia.*

## 1. Introdução

A aplicação de novas de tecnologias na construção civil vem crescendo nos últimos anos, incorporando métodos como a digitalização de processos, realidade aumentada, *softwares* de simulação, uso de aplicativos, robotização e manufatura aditiva. Atividades que antes eram realizadas manualmente, começam a ser executadas de forma automática, o que induz redução de custos e aumento da produtividade das construções (ZAVADSKAS et al., 2018).

A manufatura aditiva é uma dessas tecnologias inovadoras que compõem um dos tópicos chave da indústria 4.0, e representa um procedimento automatizado que imprime objetos tridimensionais, sendo capaz de produzir objetos do início ao fim, e com isso, reduz significativamente o desperdício de materiais. Essa inovação pode ser aplicada em diversos seguimentos, como na fabricação de automóveis, de aviões, na moda com a confecção de roupas e acessórios, no setor da saúde, com a fabricação de implantes de próteses e no setor da construção civil, com a impressão de residência 3D. (LOPES, 2016).

Particularmente na indústria da construção civil, a manufatura aditiva pode ser aplicada através do método da fabricação digital, por meio da impressão 3D de argamassa. Nesse processo, a argamassa extrudada é bombeada e aplicada numa impressão de camada por camada. As vantagens dessa tecnologia incluem a redução de mão de obra e o tempo de execução da construção, a flexibilidade de *design*, a redução de custos, dentre outros (LIN et al., 2020). Entretanto, como essa tecnologia na área da construção civil está em desenvolvimento, existem alguns desafios sobre a sua utilização, tanto em relação a mistura da massa cimentícia quanto ao atendimento aos requisitos de resistência, estabilidade, estanqueidade e demais características exigidas pelas normas técnicas, pois o método de fabricação dessa argamassa difere da argamassa cimentícia convencional em relação ao tamanho dos agregados e viscosidade (PAUL et al., 2018).

Atualmente, não existe no Brasil uma Norma Técnica que estabeleça todos os critérios e tipos de ensaios que devem ser feitos especificamente na argamassa adequada para impressão 3D. Além disso, também não existem essas definições para as peças ou construções feitas por meio desse processo que garantam a segurança da construção.

Assim, esse artigo tem como objetivo reunir informações sobre as normas utilizadas para ensaio das argamassas tradicionais, juntamente com os testes e ensaios já realizados e considerados importantes nas publicações científicas relacionadas com a impressão 3D para a construção civil. Desta forma, esse artigo pretende fornecer informações para o auxílio à

definição de uma futura norma brasileira para a realização do controle de qualidade e segurança do material e do processo de impressão 3D para a construção civil.

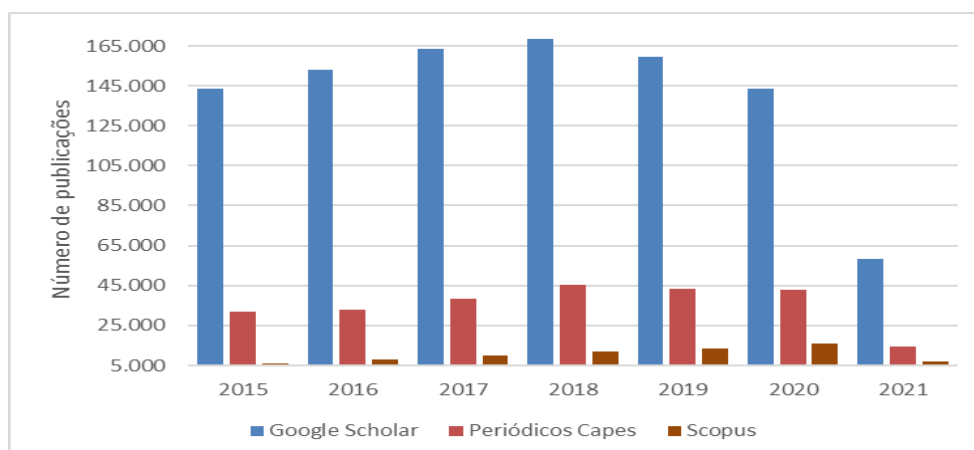
O artigo é organizado em 7 seções, onde a seção 2 apresenta a metodologia da revisão bibliográfica, a seção 3 reúne os dados principais encontrados na revisão para o uso da manufatura aditiva na construção civil. Em seguida, na seção 4, são tratados os ensaios brasileiros oficiais realizados em argamassa convencional e os ensaios encontrados nas publicações científicas para o caso específico da impressão 3D para a construção civil. Na seção 5 é apresentada uma análise e discussão dos desafios encontrado na literatura para a utilização da argamassa na impressão 3D. A seção 6 apresentada as conclusões do trabalho; e finalmente a seção 7 encerra com os agradecimentos.

## 2. Metodologia de busca

Para se obter uma breve revisão dos conceitos, da importância do método e dos desafios encontrado na impressão 3D na indústria da construção, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, por meio de levantamento de materiais já elaborados e publicados em periódicos e Congressos, no período de 2015 a 2021. Para pesquisa, utilizou-se as bases de dados Google Scholar, Periódicos Capes e Scopus; buscando sempre os trabalhos de estudo de caso de maior relevância na área.

Acessadas as bases de dados, utilizou-se as seguintes palavras-chaves para busca: “3D printed mortar” “mortar”, “building automation”, “digital concrete”, “aditive manufacture”, “printed mortar”. Esta condição de busca foi aplicada ao título, resumo e palavras chaves dos trabalhos pesquisados. A Figura 1 apresenta o número de publicações obtidas a partir das opções de busca por palavras-chaves durante o período pesquisado.

Figura 1 - Distribuição cronológica das publicações nas três base de dados



Fonte: próprio autor

Dentre os trabalhos encontrados nas fontes de busca, foram coletados 300 artigos por meio das palavras-chaves. Os periódicos com menor associação ao tema da pesquisa foram descartados pelas verificações dos títulos e resumos (187 artigos). Após uma segunda análise, mais profunda a respeito do conteúdo dos artigos restantes foram descartados mais 70 trabalhos e restaram então 29 artigos, no qual foi usado para a construção dessa revisão.

### 3. Manufatura aditiva na construção civil

Como consequência da quarta revolução ou indústria 4.0, atualmente já existe um grande número de produtos e processos resultantes do avanço de tecnologias na construção civil auxiliando no desenvolvimento das construções, e que com o auxílio da automação vem trazendo consigo, agilidade, otimização, produtividade e redução de custos (EL-SAYEGH et al., 2020). Dentre os processos resultantes da automação, estão a realidade aumentada, realidade virtual, drones, robôs e impressora 3D. Bock (2015) define a automação como um novo conjunto de tecnologias e métodos que irão transformar todo o sentido e a definição de construção civil de forma essencial.

Diversos seguimentos industriais vêm utilizando a manufatura aditiva – MA, popularmente conhecida como impressão 3D, de modo a criar protótipos e até mesmo produzir materiais para vários seguimentos, como setor alimentícios, moda, medicina, automotivo e construção (SHAKOR et al., 2019). Neste contexto, vale referenciar o potencial da importância que a MA terá no futuro na indústria da construção, embora se tratando de um conceito pouco desconhecido hoje, grandes estudos e aplicações sobre a mesma vem sendo realizados mundialmente. (CRAVEIROA et al., 2019).

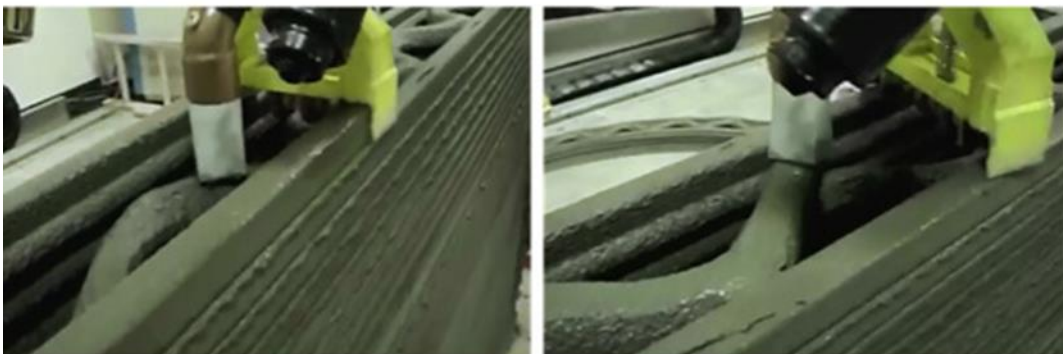
Kazemian et al., (2017) e Paul et al., (2018), verificaram em suas pesquisas, que a manufatura aditiva foram divididas em três categorias: *contour crafting*, *D-shape* e (*concrete printing*) impressão de concreto. Todas essas categorias de impressão seguem como procedimento de extrusão e bombeamento do material. Ingaglio et al., (2019) afirmam que atualmente existem cinco métodos de impressoras 3D utilizadas na indústria da construção: I) impressão em concreto e argamassa, II) impressão por *contour crafting*; III) impressão por ativação de aglutinante seletivo, IV) impressão em *D-shape* e V) impressão por intrusão de pasta seletiva. Nesse trabalho será abordada somente a técnica de impressão em ambiente de laboratório, por meio da extrusão e bombeamento de argamassa cimentícia.

A impressão 3D utilizando argamassa e concreto traz grandes vantagens para os processos construtivos de edificações, pois além de diminuir desperdícios, permite melhor precisão da

quantidade do material necessário para execução, maior flexibilidade de *design*, uma redução do tempo de construção e dos impactos ambientais, e de minimizar também a probabilidade de acidentes no trabalho, sendo assim, se apresenta como uma alternativa para suprir o déficit habitacional em comunidades necessitadas (WANGLER et al., 2019). Tais benefícios só podem ser alcançados por se tratar de um procedimento automatizado, e com isso a mão de obra é reduzida, inclusive em locais que apresentem situações de risco à saúde do trabalhador (LIN et al., 2020). A impressão da argamassa e do concreto é realizada quando esses materiais são transportados em uma mangueira através de um sistema de bombeamento até o bico da extrusora. Para isso, normalmente a massa cimentícia deve ser um material de auto desempenho, com propriedades específicas para não haver deformação ao ser impressa (GOSELIN et al., 2016).

A Figura 2 ilustra como o material é impresso pelo método de extrusão, normalmente montado em um pórtico ou braço robótico imprimindo em filamento contínuo em um sistema de direções XYZ (BUSWELL et al., 2018). Esses autores definem a extrudabilidade como a capacidade de impulsar a mistura para um bico com um grau de divisão e sem deformação e relatam que a impressão por extrusão é o melhor método para imprimir a argamassa.

Figura 02- Ilustração do bico de extrusão imprimindo massa cimentícia



Fonte: Ghaffar et al., 2018

Meurer & Classen (2021) mostram em seu trabalho, vários estudos que foram realizados para certificar as propriedades, a resistência e a segurança dos materiais cimentícios impressos. Essa necessidade de verificação ocorre por não haver um conjunto de normas regulamentadoras (Normas Técnicas) específicas para argamassa de impressora 3D; com isso, os pesquisadores enfrentam dificuldades em chegar a um resultado preciso para padronizar e qualificar os tipos de ensaios, tamanho de agregado ou a determinação da densidade da massa. Sendo assim, os ensaios de flexão, tração, cisalhamento e compressão, são realizados

baseados nos testes feitos em argamassa comum, para então chegar a uma argamassa capaz de ser impressa e se tornar segura e precisa para uma edificação (KHAN et al., 2020).

#### 4. Ensaios realizados em argamassa

##### 4.1 Argamassa convencional

De acordo com Marvila et al., (2019) as argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de aglomerantes, água e agregado miúdo, com possibilidade de ser adicionado aditivos químicos. Elas podem ser usadas para assentamento de blocos de cerâmica ou revestimento de paredes, sua composição é formada por: cimento Portland, agregado fino (areia), cal hidratada e água. Por ser utilizada na elevação e no revestimento de alvenaria, essa argamassa precisa que suas propriedades sejam apropriadas para alcançar o seu desempenho, ou seja, a mesma deve atender aos requisitos de boa trabalhabilidade, aderência, capacidade de absorver deformações, estanqueidade e resistência mecânica (GARCÍA-CUADRADO et al., 2017). A Tabela 1 apresenta os ensaios que a argamassa deve ser submetida para chegar um padrão de qualidade atendimento às normas construtivas.

Tabela 1 - Ensaios realizados em argamassa convencional.

Ensaio	NORMA ABNT
Resistência à compressão	NBR 13279/2005
Densidade de massa estado endurecido	NBR 13280/2005
Resistência à tração na flexão	NBR 13279/2005
Coefficiente de capilaridade	NBR 15259/2005
Caracterização reológica pelo método squeeze-flow	NBR 15839/2010
Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual	NBR 15823-2/2017
Teste de abatimento	NBR 16889/2020
Retenção de água	NBR 13277/2005
Determinação da densidade de Massa e do teor de ar incorporado	NBR 13278/2005
Determinação do índice de consistência	NBR 13276/2016
Resistência potencial de aderência à tração	NBR 15258/2005
Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica	NBR 9778/2005

---

Determinação dos tempos de pega por meio de resistência a penetração	NBR NM 9/2003
Determinação da composição granulométrica	NBR NM 248/2003

---

Fonte: Próprio Autor

Parametrizar as condições mínimas para utilização das argamassas, por meio das normas técnicas, seja no estado fresco ou no estado endurecido, é de fundamental importância para prever o desempenho do componente construtivo, visto que há uma estreita ligação entre a argamassa e o sistema de alvenaria como um todo (ALVES & BLEICHVEL, 2019). Fatores que afetam a reologia da argamassa, como por exemplo: a temperatura, o tipo de cimento e a incorporação de aditivos químicos precisam ser conhecidos, e para isso, ensaios específicos, não comuns a argamassa convencional, devem ser avaliados (MARVILA et al., 2020). Assim, pode-se dizer que, a análise do comportamento da argamassa é de grande relevância para a compreensão do desempenho do sistema construtivo como um todo, e para isso as normas brasileiras preconizam sobre os parâmetros e testes para unificar as suas propriedades (AZEVEDO et al., 2019).

#### **4.2 Argamassa para impressão 3D**

Segundo Yuan et al. (2019), a mistura da argamassa imprimível deve atender a certos requisitos de impressão, como possuir um alto teor de viscosidade para que a mesma possa ser transportada e extrudada; também, a argamassa não deve conter em sua mistura o agregado graúdo, para não ocasionar a segregação dos componentes na mangueira no qual é transportada, o que pode ocasionar o bloqueio no bico da extrusora. Além desses fatores, ainda considerando a argamassa no estado fresco, uma vez que a massa cimentícia é impressa, ela deve possuir resistência suficiente para suportar à deformação que seu peso pode ocasionar, tanto na primeira camada, quanto nas demais que serão depositadas acima dela (RAHUL et al., 2019). Para a impressão de uma argamassa com alto desempenho, e para assegurar que nenhuma deformação excessiva ocorra, a massa cimentícia deve ser submetida a ensaios preliminares que irão determinar as propriedades reológicas e mecânicas da mesma (NERELLA et al., 2019). Dessa forma, ensaios que avaliem as propriedades necessárias para extrusão são adicionalmente estudados, e estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Ensaios realizados em argamassa para impressora 3D.

Ensaio	Descrição	Equipamento
Tempo de pega	Realizado para validar o tempo de pega das camadas impressa.	Vicat
Teste de queda	Realizado para determinar a liquidez das misturas da argamassa.	<i>Spread-flow test</i>
Teste de fluxo de compressão	verificar a resistência da mistura em um estado fresco.	Máquina de ensaio universal
Fluidez de argamassa e Teste de taxa de extrusão	Teste de mesa de fluxo, para determinar a fluidez que afeta a vazão da massa.	Mesa de fluxo, eixo de aço, tabela e compasso de calibre.
Resistência à tração direta	Este teste foi investigado, definindo a altura do bico para 20 mm ao imprimir as camadas.	Máquina de ensaio universal
Resistência à compressão	Testa a carga máxima suportada pela argamassa na compressão.	Máquina de teste universal
Resistência à flexão	Avalia a carga máxima suportada pela argamassa na flexão.	Máquina de teste universal
Teste de calorimétrico	Mede o calor de hidratação	Calorimétrico isotérmico
Teste de cisalhamento	Avalia a deformação causada a partir da tensão provocada por forças que atuam em sentidos iguais ou contrários	<i>Push-off</i>
Teste de viscosidade	Determina a velocidade de escoamento do fluido.	Viscosímetro Brookfield

Fonte: Próprio Autor

Por fim, apesar de ser um material bastante pesquisado e estudado, a argamassa cimentícia utilizada na MA necessita de características específicas para impressão 3D. Segundo Nerella et al. (2019), atualmente não existe um padrão definido para realizar os ensaios de resistência das camadas, ou da plasticidade e nem mesmo para estabelecer um traço adequado ao uso da argamassa na manufatura aditiva; e assim, vários pesquisadores em seus estudos, seguiram diferentes métodos de caracterização do material; não suficientemente precisos ou comuns, utilizando várias misturas cimentícias como teste, até escolher uma apropriada para formação



da massa, incluindo os efeitos da adição de ativos químicos para assegurar a aderência e resistência da argamassa impressa (PAUL et al., 2018).

## 5. Discussões

Dada a particularidade da argamassa cimentícia utilizada na MA, os grandes desafios na literatura recente apontam a capacidade de bombeamento e trabalhabilidade (o que inclui: consistência, plasticidade, viscosidade e fluidez) como as principais características que influenciam tanto no comportamento mecânico, como na ligação entre as camadas, e consequentemente na aderência e durabilidade do material (SHAKOR et al., 2019). Segundo Hossain et al., (2020) uma das dificuldades no bombeamento da argamassa está ligada diretamente em sua viscosidade, pois, a mesma deve possuir um alto teor de viscosidade. Panda et al., (2019) mostram em seu trabalho que, quanto maior a viscosidade, menor será a velocidade em que o fluido se movimenta e isso contribui para uma secagem rápida da primeira camada. Assim, a deformação excessiva da primeira camada pode ser evitada ao receber a segunda. Como forma de contribuir com essa propriedade, PAUL et al (2018) aponta a necessidade de incluir na mistura a adição de ativos químicos, para que seus efeitos possam assegurar a aderência e resistência da argamassa impressa.

Outro desafio comum quando da confecção da massa cimentícia, é o ajuste granulométrico apropriado dos agregados a serem usados para a mistura cimentícia, que variam em função da dimensão do bico de extrusão. Lee et al., (2019) considera que a dimensão ideal dos agregados estejam entre de 0,16 a 0,20 mm para obter um escoamento sem que haja obstrução do bico da extrusora. Já Shakor et al., (2019), em seu estudo sobre o efeito de diferentes formas de bicos, afirmam que os agregados precisam possuir o tamanho máximo de partículas de 300  $\mu\text{m}$  ou 0,3 mm. Segundo Keita et al. (2019) e Meurer & Classen (2021), o tamanho máximo dos agregados usado na mistura é de 4 mm. Buswell et al. (2018) argumentam que, como a forma de extrusão é variável, como circular, retangular ou ovalar, várias dimensões de agregados são usados na construção da argamassa, mas que o tamanho máximo das partícula deve ser entre 2 e 3 mm.

## 6. Conclusão

As ferramentas para impressão 3D utilizando argamassa cimentícia têm se mostrado como uma ferramenta viável para o desenvolvimento de processos e sistemas na indústria da construção civil, se apresentando, portanto, como mais uma opção para tornar as empresas do

ramo mais competitivas neste mercado. A versatilidade de *design* e eficiência do projeto se apresentam como uma alternativa interessante nesse processo. No entanto, a sua aplicação ainda carece de muitos estudos e desenvolvimento. Apesar de ter sido demonstrado na pesquisa um substancial aumento do número de trabalhos publicados na área nos últimos sete anos, a utilização da argamassa impressa ainda carece de estudos aprofundados. Pelas particularidades dos materiais, dos aspectos mecânicos de extrusão e bombeamento, das características ambientais exigidas para a execução dos sistemas impressos, atualmente não existem procedimentos e métodos que se mostram eficazes para qualificar a capacidade de construção da impressão cimentícia ao longo do tempo. Os ensaios adicionais e as técnicas apontadas na revisão da literatura deste trabalho demonstraram que a falta de normatização e a especificação das características físicas e mecânicas da argamassa baseada em ensaios, são os principais desafios para se implementar a execução de uma residência impressa em 3D, e assim, não se dispendo de regulamentação específica, é essencial que se realize testes físicos, mecânico e reológicos na argamassa, com vistas à durabilidade e que atendam aos critérios normativos de desempenho.

## 7. Agradecimento

A equipe de pesquisa agradece o financiamento pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## Referências

ALVES, M.; & BLEICHVEL, N. C. Comparação entre argamassa convencional e argamassa com aditivo impermeabilizante. **Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo, Engenharias e Tecnologia da Informação**, 2019. 54-79.

Associação brasileira de normas técnicas – ABNT. **NBR 13280**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento de paredes e tetos - Determinação coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15823-2**. Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual -. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 15839**: Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 16889**: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 9**: Concreto e argamassa - Determinação dos tempos de pega por meio de resistência à penetração. Rio de Janeiro, 2003.

BOCK, T. The future of construction automation: Technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics. **Automation in construction**, v. 59, p. 113-121, 2015.

BUSWELL, R. A.; DE SILVA, W. L. . J. S. Z. . & D. J. 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research. **Cement and Concrete Research**, v. 112, p. 37-49, 2018.

CRAVEIROA, F.; DUARTEC, J. P. . B. H. . & B. P. J. Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0. **Automation in Construction**, v. 103, p. 251-267, 2019.

DE AZEVEDO, A. R. G.; MARVILA, M. T. . D. S. B. L. . Z. E. B. . A. J. . D. C. X. G. . & M. S. N. Effect of Granite Residue Incorporation on the Behavior of Mortars. **Materials**, v. 12, p. 1449, 2019.

EL-SAYEGH, S. . R. L. & M. S. A critical review of 3D printing in construction: benefits, challenges, and risks. **Archiv.Civ.Mech.Eng.**, v. 20, p. 34, 2020.

GARCÍA-CUADRADO, J.; RODRÍGUEZ, A. . C. I. I. . C. V. . & G.-G. S. Study and analysis by means of surface response to fracture behavior in lime-cement mortars fabricated with steelmaking slags. **Construction and Building Materials**, v. 138, p. 204-213, 2017.

GOSSELIN, C.; DUBALLET, R. . R. P. . G. N. . D. J. . & M. P. Large-scale 3D printing of ultra-high performance concrete – a new processing route for architects and builders. **Materials & Design**, v. 100, p. 102-109, 2016.

HOSSAIN, M. A.; ZHUMABEKOVA, A. S. C. . K. J. R. A Review of 3D Printing in Construction and its Impact on the Labor Market. **Sustainability**, v. 12, p. 8492., 2020.

INGAGLIO, J.; FOX, J. . N. C. J. . & B. P. Material characteristics of binder jet 3D printed hydrated CSA cement with the addition of fine aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 206, p. 494-503, 2019.

KAZEMIAN, A. . Y. X. . C. E. . & K. B. Cementitious materials for construction-scale 3D printing: Laboratory testing of fresh printing mixture. **Construction and Building Materials**, v. 145, p. 639-647, 2017.

KEITA, E.; BESSAIES-BEY, H. . Z. W. . B. P. . & R. N. Weak bond strength between successive layers in

extrusion-based additive manufacturing: measurement and physical origin. **Cement and Concrete Research**, v. 123, p. 105787, 2019.

KHAN, M. S.; SANCHEZ, F. . & Z. H. 3-D printing of concrete: Beyond horizons. **Cement and Concrete Research**, v. 133, p. 106070, 2020.

LEE, H.; KIM, J. H. J. . M. J. H. . K. W. W. . & S. E. A. Evaluation of the Mechanical Properties of a 3D-Printed Mortar. **Materials** , v. 12, p. 4104, 2019.

LIN, A.; TAN, Y. K. . W. K. H. W. . T. H. Utilization of waste materials in a novel mortar–polymer laminar composite to be applied in construction 3D-printing. **Composite Structures**, v. 253, p. 112764, 2020.

Lopes, G. T. F. Exploração das possibilidades da impressão 3D na construção, **dissertação** (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2016.

MARVILA, M. T.; ALEXANDRE, J. . D. A. A. R. . & Z. E. B. Evaluation of the use of marble waste in hydrated lime cement mortar based. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 21, p. 1250–1261, 2019.

MARVILA, M. T.; AZEVEDO, A. R. . C. D. . C. J. M. . X. G. C. . D. C. D. D. F. . & M. S. N. Durability of coating mortars containing açafá fibers. **Case Studies in Construction Materials**, v. 13, p. e00406, 2020.

MEURER, M.; CLASSEN, M. Mechanical Properties of Hardened 3D Printed Concretes and Mortars—Development of a Consistent Experimental Characterization Strategy. **Materials**, v. 14, p. 752, 2021.

NERELLA, V. N.; HEMPEL, S. . & M. V. Effects of layer-interface properties on mechanical performance of concrete elements produced by extrusion-based 3D-printing. **Construction and Building Materials**, v. 205, p. 586-601, 2019.

PANDA, B.; RUAN, S. . U. C. . & T. M. J. Improving the 3D printability of high volume fly ash mixtures via the use of nano attapulgite clay. **Composites Part B: Engineering**, v. 165, p. 75-83, 2019.

PAUL, S. C.; GIDEON P.A.G., V. Z. . M. J. T. . I. G. A review of 3D concrete printing systems and materials properties: current status and future research prospects, v. 24, p. 784-798, 2018.

PAUL, S. C.; TAY, Y. W. D. . P. B. E. A. Fresh and hardened properties of 3D printable cementitious materials for building and construction. **Archiv.Civ.Mech.Eng** , v. 18, p. 311–319, 2018.

RAHUL, A. V.; SANTHANAM, M. . M. H. . & G. Z. Mechanical characterization of 3D printable concrete. **Construction and Building Materials**, v. 227, p. 116710, 2019.

SHAKOR, P.; NEJADI, S. P. G. A Study into the Effect of Different Nozzles Shapes and Fibre-Reinforcement in 3D Printed Mortar. **Materials**, v. 12, p. 1708, 2019.

WANGLER, T.; ROUSSEL, N. . B. F. P. . S. T. A. . & F. R. J. Digital Concrete: A Review. **Cement and Concrete Research**, v. 123, p. 105780, 2019.

YUAN, Q.; LI, Z. . Z. D. . H. T. . H. H. . J. D. . & S. C. A feasible method for measuring the buildability of fresh 3D printing mortar. **Construction and Building Materials**, v. 227, p. 116600, 2019.

ZAVADSKAS, E.; E. K., A. J. . V. T. . A. H. Sustainable decision-making in civil engineering, construction and building technology. **Sustainability** , v. 10, p. 1-14, 2018.