XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.9004

EFEITO DO TEMPO DE ESPERA ENTRE CAMADAS NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE ARGAMASSAS IMPRESSAS EM 3D.

Effect of waiting time between layers on the mechanical behavior of 3D printed mortars.

Renato Costa Araújo
Instituto Federal de Goiás | Aparecida de Goiânia | Brasil | renato.costa@ifg.edu.br
Helena Carasek
Universidade Federal de Goiás| Goiânia | Brasil | hcarasek@ufg.br

Resumo

A impressão 3D de argamassa é uma tecnologia aditiva onde a construção consiste na deposição de camada por camada. A argamassa no estado fresco possibilita a adesão e aderência das camadas formando uma estrutura estratificada. Por ser uma técnica construtiva que produz uma estrutura em camadas, a depender da direção do esforço aplicado à peça pode apresentar diferentes resultados, mostrando uma estrutura anisotrópica. Neste contexto, essa pesquisa visa avaliar o efeito do intervalo entre a deposição das camadas no comportamento mecânico do elemento impresso em argamassa. Foram ensaiados corpos de prova produzidos com argamassa extrudada por um bico de impressão, nas direções X, Y e Z. Para cada uma das direções, avaliou três intervalos (0, 1 e 24 horas) entre a deposição das camadas. Foram avaliados, como parâmetros mecânicos, a resistência à compressão, a resistência à tração na flexão e o coeficiente anisotropia dos elementos impressos. Quando alterado o intervalo de deposição entre as camadas, os resultados demonstraram uma redução de 45% da resistência à compressão e de 58% da resistência à tração, apresentando um maior coeficiente de anisotropia na direção Z.

Palavras-chave: Impressão 3D. Argamassa. 3DCP. Anisotropia.

Abstract

3D printing of mortar is an additive technology where construction consists of layer-by-layer deposition. The mortar in its fresh state allows for adhesion and bonding of the layers, forming a stratified structure. Because it is a construction technique that produces a layered structure, depending on the direction of the applied stress, the piece may present different results, showing an anisotropic structure. In this context, this research aims to evaluate the effect of the interval between layer deposition on the mechanical behavior of the mortar-printed element. Specimens produced with mortar extruded by a printing nozzle were tested in the X, Y, and Z directions. For each direction, three intervals (0, 1, and 24 hours) between layer deposition were evaluated. The mechanical parameters evaluated were compressive strength, flexural tensile strength, and the anisotropy coefficient of the printed elements. When the deposition interval between layers was altered, the results showed a 45% reduction in compressive strength and a 58% reduction in tensile strength, exhibiting a higher anisotropy coefficient in the Z direction.

Keywords: 3D Print. Mortar. 3DCP.Anisotropy.

Como citar:
ARAÚJO, R; CARASEK, H. Efeito do tempo de espera entre camadas no comportamento mecânico de argamassas impressas em 3D. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

INTRODUÇÃO

A impressão 3D de concreto e argamassa (denominada em inglês de 3D *Concrete Printing* - 3DCP) é um processo por extrusão que proporciona para a construção civil uma tecnologia disruptiva com vantagens como o aumento da velocidade de construção, redução de desperdício, redução da mão de obra e a possibilidade de execução de geometrias complexas sem a necessidade de fôrmas. [1-3]. A construção aditiva promove a industrialização na construção civil por meio da deposição automatizada camada a camada. Contudo, a natureza estratificada desse processo introduz desafios associados à integridade estrutural e à durabilidade dos elementos impressos, devido a anisotropia [4].

Assim, a anisotropia dos elementos impressos representa uma importante dificuldade para o avanço da construção aditiva. As variações das resistências à compressão e à tração em função da direção de aplicação das cargas podem comprometer o desempenho mecânico dos elementos. Tal comportamento está associado à qualidade da aderência entre as camadas impressas pela formação de poros. Ademais, a perda da umidade superficial dos filetes durante a impressão potencializa a formação de uma interface porosa que tende a reduzir ainda mais a extensão de aderência entre as camadas impressas [5-9].

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito do tempo de espera entre a deposição das camadas no comportamento do elemento impresso em argamassa. Por meio de uma abordagem experimental, busca-se fornecer subsídios para o controle de qualidade e o planejamento das impressões 3D em larga escala.

MATERIAIS E METODOLOGIA

MATERIAIS

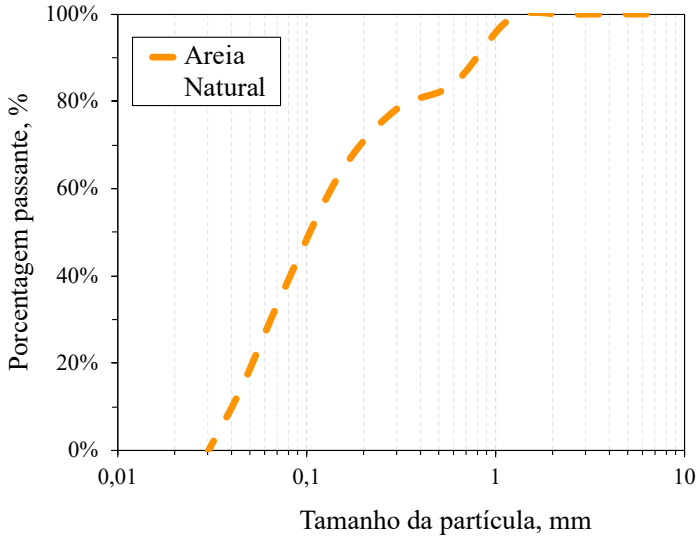
A avaliação da influência do tempo entre a deposição das camadas foi realizada utilizando-se um traço de argamassa já testado para impressão 3D por Mohan *et al*. [10]. Para a produção da argamassa foram usados: cimento CPII-F-32, sílica ativa, areia natural de leito de rio com distribuição granulométrica apresentada na Figura 1 e módulo de finura igual a 2,58, aditivo redutor de água à base de policarboxilato, aditivo modificador de viscosidade e água oriunda da concessionária local, as proporções utilizadas de cada material estão representadas na Tabela 1.

Tabela 1: Proporção de materiais constituintes da argamassa

Mistura	Cimento Portland	Sílica Ativa	Agregado miúdo	Redutor de água	Modificador de viscosidade	Água/ ligante
Mix 1	1	1	2	0,02	0,002	0,35

Fonte: os autores.

Figura 1: Distribuição granulométrica da areia natural



Fonte: os autores.

O processo de mistura da argamassa foi realizado em uma argamassadeira planetária de bancada. Os materiais secos foram previamente homogeneizados em um saco plástico e após foram adicionados à cuba de inox da argamassadeira e misturada com a água e os dois aditivos. A mistura na argamassadeira foi realizada por 3 minutos em velocidade baixa e por mais 3 minutos em velocidade alta, garantindo a homogeneização da mistura.

CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

A argamassa foi caracterizada no estado fresco pela determinação do teor de ar, do índice de consistência pela mesa ABNT e da densidade de massa, conforme Figura 2 [11-13].

Figura 2: Caracterização da argamassa no estado fresco: Teor de ar (à esquerda); Índice de consistência (ao centro) e Densidade de massa (à direita)

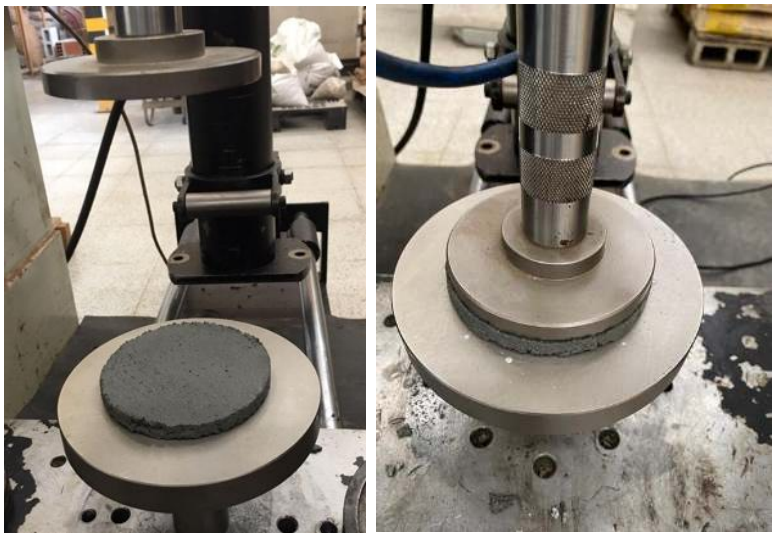


Fonte: os autores.

O ensaio de squeeze-flow foi realizado para caracterizar a alteração na reologia da argamassa ao longo do tempo (0 e 60 minutos). Esse ensaio é preconizado pela NBR 15839 [14] e consiste na compressão de uma pastilha de argamassa no estado fresco (Figura 3). A pastilha de 10 mm de altura é comprimida por 9 mm a uma velocidade de

0,1 e 3 mm/s. Uma amostra da argamassa foi avaliada imediatamente após a mistura e outra amostra da mesma argamassa foi avaliada após 60 minutos em repouso.

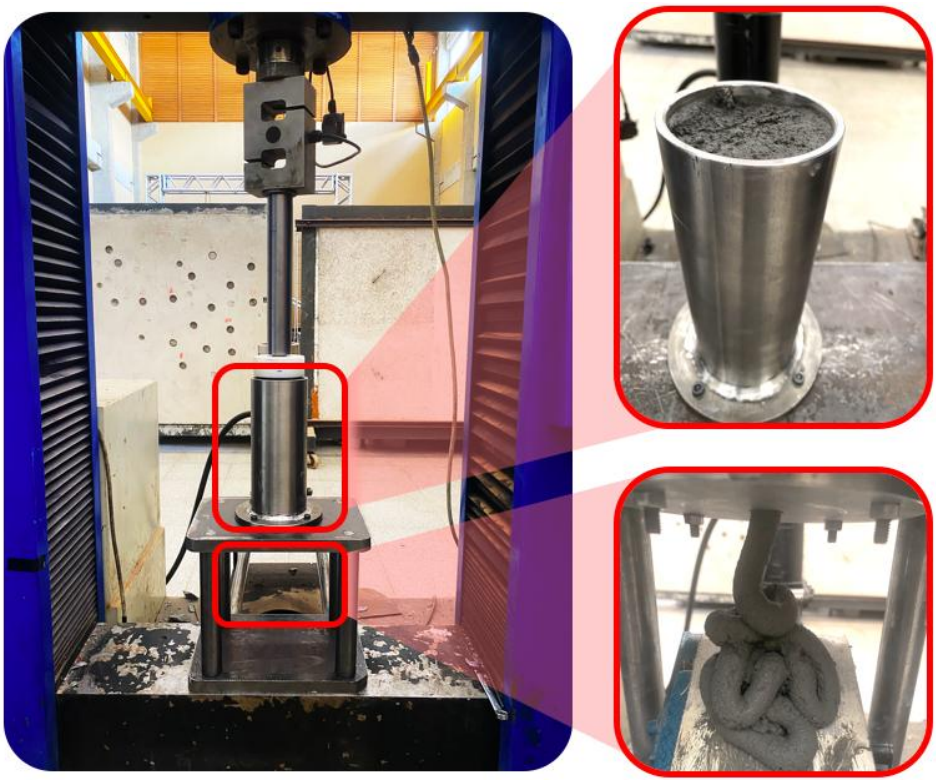
Figura 3: Ensaio de squeeze-flow: Amostra com 10 mm de altura (à esquerda) e Realização do ensaio (à direita)



Fonte: os autores.

A capacidade de extrusão foi aferida por meio de uma extrusora RAM. Essa propriedade consiste na resistência necessária para a argamassa passar por um bico extrusor. A extrusora RAM é composta por um cilindro metálico com 80 mm de diâmetro, esse cilindro possui na extremidade inferior um furo com 14 mm por onde a argamassa será extrudada. Na parte superior do cilindro foi conectado um pistão ligado a máquina universal de ensaio, por onde foi aplicada a força que promoveu a extrusão da argamassa (Figura 4) [15]. O pistão penetrou no cilindro com uma velocidade de 1,75 mm/s. A tensão de extrusão foi aferida em KPa. Para verificar a alteração do comportamento da argamassa no estado fresco ao longo do tempo, duas argamassas foram preparadas para serem avaliadas pelo processo de extrusão, sendo a primeira imediatamente após a mistura e uma segunda após o repouso por 60 minutos.

Figura 4: Ensaio realizado na extrusora RAM



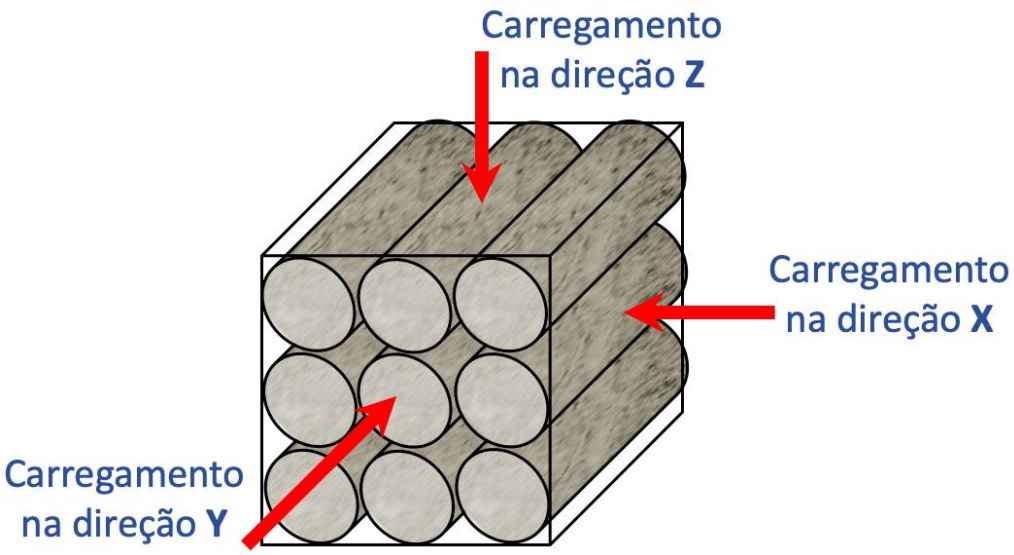
Fonte: os autores.

AVALIAÇÃO DA ANISOTROPIA NA IMPRESSÃO 3D

Com o intuito de avaliar o efeito do intervalo entre a deposição das camadas na impressão 3D foram produzidos corpos de provas de 4 cm x 4cm x 16cm. O primeiro grupo de corpo de prova foram moldados conforme a norma, esse grupo foi denominado de referência NBR 13279 [16]. No segundo e terceiro grupo, os moldes foram preenchidos pela deposição de filetes oriundos da extrusão da argamassa no sentindo longitudinal do comprimento do corpo de prova, esses grupos foram denominados de X e Z, respectivamente. Para deposição da argamassa dentro do molde 4 cm x 4cm x 16cm foi utilizado uma pistola de extrusão manual. No quarto grupo, os moldes foram preenchidos pela extrusão da argamassa no sentido transversal do comprimento do corpo de prova e denominado de Y.

A avaliação da anisotropia ocorreu pela determinação da resistência à tração na flexão e da resistência à compressão nas diferentes direções (X, Y e Z) da impressão 3D. Os corpos de prova foram curados em um período de 28 dias. O equipamento utilizado foi uma máquina universal de ensaios marca Emic, Modelo DL3000N. Para a realização do ensaio de resistência à tração na flexão, os corpos de prova do grupo referência e do grupo X foram posicionados de modo que a face superior do prisma não ficasse em contado com os apoios e com o dispositivo aplicador de carga, conforme a NBR 13279 [16]. Os corpos de prova do grupo Z e do grupo Y foram posicionados de modo que a face superior do prisma ficasse em contato com os apoios e com o dispositivo dosador. Para a realização do ensaio de resistência à compressão o direcionamento da carga ocorreu conforme demonstrado na Figura 5.

Figura 5: Direção de aplicação das cargas



Fonte: os autores.

O ensaio de tração na flexão foi realizado em triplicata, já o ensaio de resistência a compressão foi realizado em conjuntos com 6 amostras cada (Figura 6). Os resultados passaram por uma análise estatística com eliminação dos *outliers* identificados pelo método de Dixon, seguindo a ASTM E178-08 [17].

Figura 6: Corpos de provas e ensaio realizados: corpos de prova moldados e diferentes direções (à esquerda) e Ensaios de resistência à compressão e a tração (à direita)



Fonte: os autores.

A avaliação da anisotropia foi realizada pela variação do intervalo (0, 1 e 24 horas) de deposição das camadas de argamassa extrudadas dentro do molde 4 cm x 4cm x 16cm. O intervalo denominado na pesquisa de zero horas, foi realizado pela extrusão da argamassa de forma contínua para preenchimento das camadas dentro do corpo de prova, não havendo intervalo entre a execução das camadas. Desta forma, ocorreu a ligação dos filetes de argamassa no estrado fresco. Para analisar a influência do tempo

entre a deposição das camadas, o mesmo procedimento de moldagem foi repetido. Entretanto, esperou-se 60 minutos para o segundo grupo e 24 horas para o terceiro grupo após a deposição da primeira camada de argamassa para realizar a segunda e assim sucessivamente em todas as camadas. Para cada camada realizou a mistura de argamassa no instante da aplicação.

Para a quantificação da anisotropia utilizou a equação apresentada por Ye *et al.* [18]. A equação determina o coeficiente de anisotropia levando em consideração a resistência das três direções (x, y e z), conforme Equação 1.

$$I_{Dir.} = \frac{\sqrt[2]{(f_x - f_{Dir.})^2 + (f_y - f_{Dir.})^2 + (f_z - f_{Dir.})^2}}{f_{Dir.}} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde, $I_{Dir.}$ é o coeficiente de anisotropia em determinada direção; f_x, f_y e f_z são as resistências nas direções x, y e z, respectivamente e $f_{Dir.}$ é a resistência na direção em que a anisotropia está sendo avaliada (z, y ou z).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

A argamassa utilizada na impressão 3D foi caracterizada no estado fresco pela determinação do teor de ar, do índice de consistência pela mesa ABNT e da densidade de massa, os resultados estão apresentados na Tabela 2.

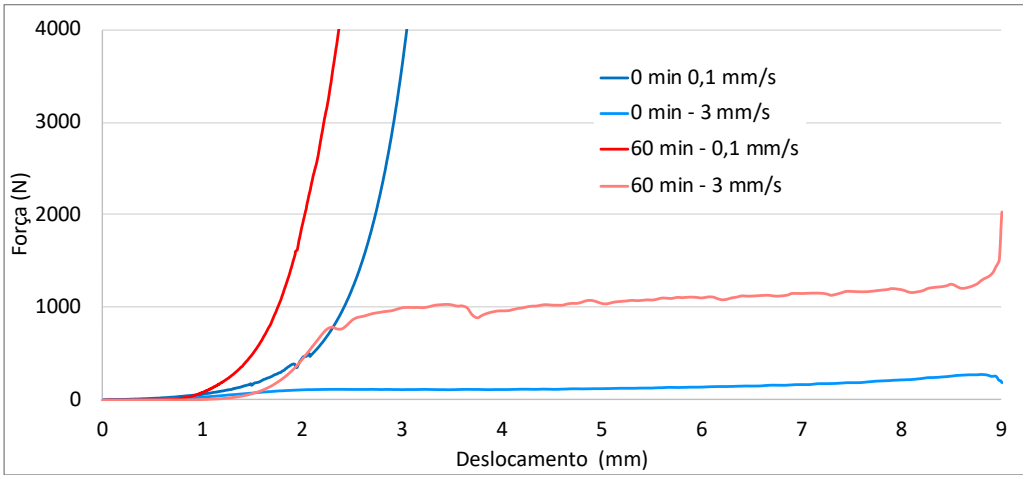
Tabela 2: Caracterização básica da argamassa

Mistura	Índice de consistência (mm)	Densidade (g/cm3)	Teor de ar (%)
Mix 1	219	1,61	4,5

Fonte: os autores.

A caracterização reológica da argamassa foi realizada pelo ensaio de squeeze-flow e os resultados estão apresentados na Figura 7. O carregamento do ensaio foi realizado em duas velocidades, 0,1 e 3 mm/s. No gráfico apresentado na Figura 7 é possível observar a alteração do comportamento da argamassa quando ensaiada imediatamente após a mistura e quando ensaiada após 60 minutos de repouso.

Figura 7: Ensaio de squeeze-flow

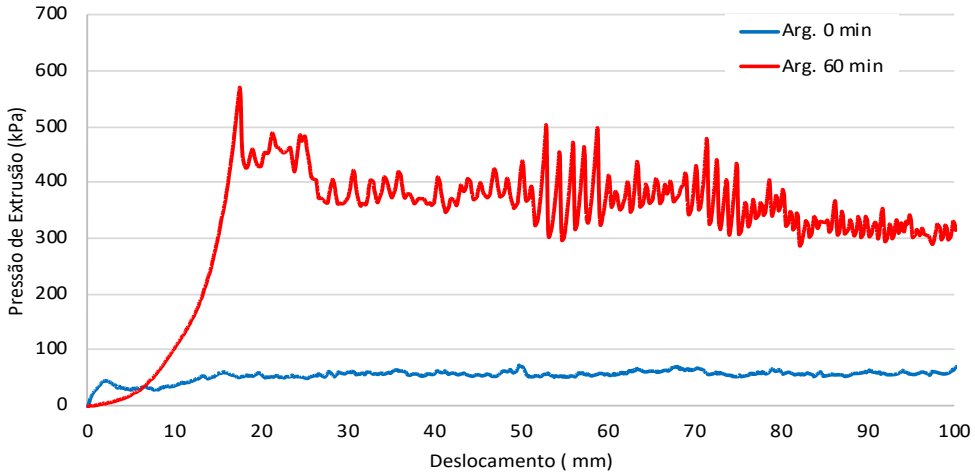


Fonte: os autores.

A argamassa que ficou em repouso por 60 minutos quando ensaiada na velocidade alta (3 mm/s) deformou pouco mais que 2 minutos e apresentou enrijecimento excessivo. Essa maior restrição ao movimento da argamassa que ficou em repouso por 60 minutos também foi identificada pelo ensaio realizado na extrusora RAM.

Na Figura 8 é possível observar que a argamassa apresentou a pressão de extrusão máxima igual a 73 KPa, quando ensaiada imediatamente após a mistura. Já a argamassa que ficou em repouso por 60 minutos precisou ser submetida a uma pressão superior a 569 KPa para proporcionar a extrusão. Assim, o tempo em repouso aumentou mais de sete vezes a pressão necessária para promover a extrusão da argamassa.

Figura 8: Resultado do ensaio da argamassa na extrusora RAM



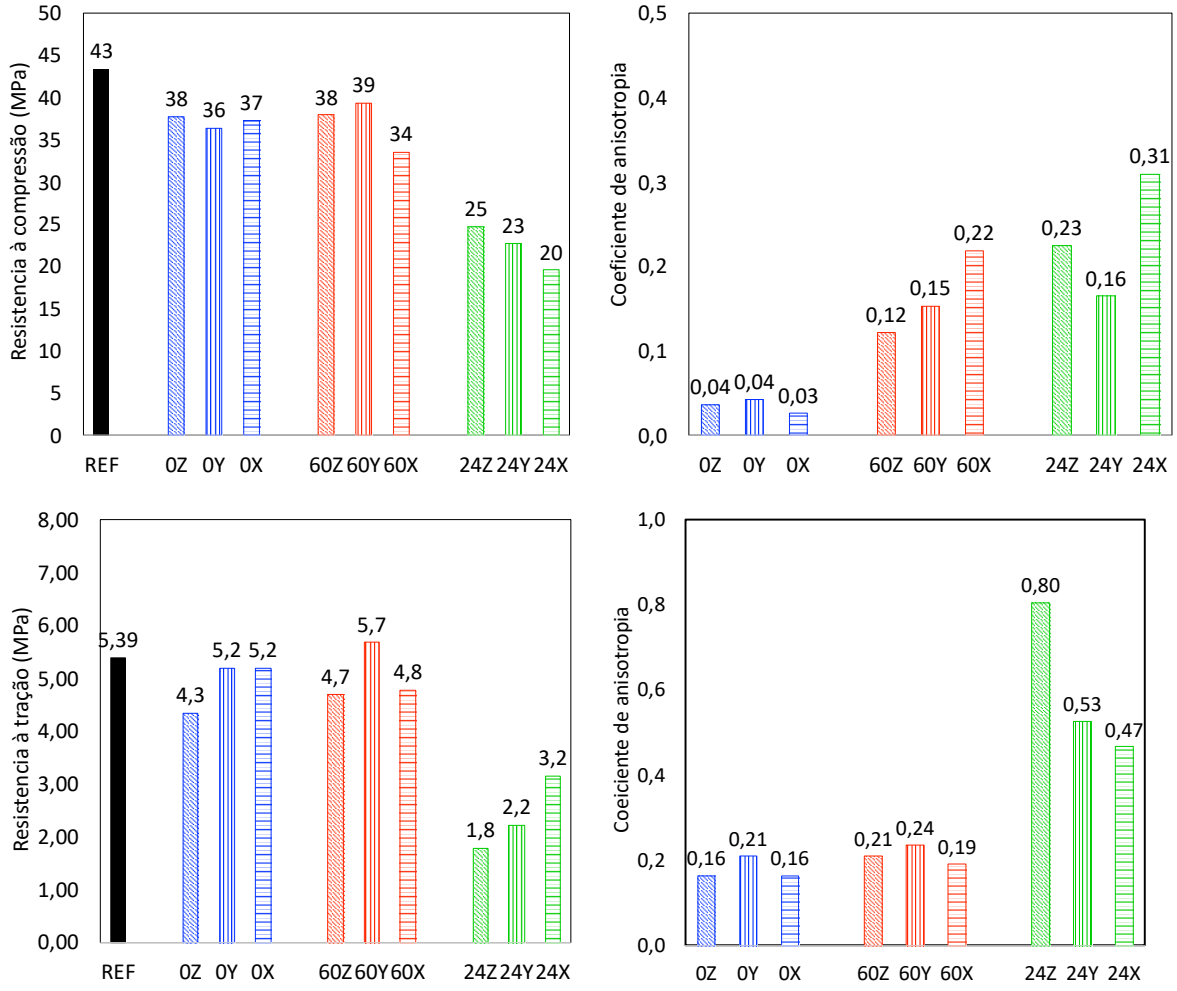
Fonte: os autores.

Essas alterações do comportamento reológico ao longo do tempo podem reduzir a adesão entre os filetes de argamassas durante o processo de impressão, o que resulta em uma ligação entre as camadas deficiente ou com mais porosidade.

EFEITO DO TEMPO NA ANISOTROPIA

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão e resistência à tração na flexão estão apresentados na Figura 9. A argamassa moldada conforme à norma (argamassa referência) apresentou o maior valor no ensaio de resistência à compressão 43 MPa, esse comportamento é justificado pelo melhor preenchimento da forma. As amostras produzidas sem intervalo entre a deposição dos filetes não demonstraram comportamento anisotrópico, com pode ser visto na Figura 9. A anisotropia das impressões ficou mais evidente conforme ocorreu o aumento do tempo entre a deposição das camadas. Com 60 minutos a maior anisotropia foi na direção X, o mesmo comportamento foi observado para o tempo de 24 horas. A anisotropia de todas as direções ficou muito mais evidenciada com o aumento do tempo, assim a argamassa com maior índice de anisotropia foi a direção X com 24 horas de inervado, com 0,31. Esse valor é compatível com os resultados encontrado por Chen *et al.* [19].

Figura 9: Resultados no estado endurecido: Resistência à compressão (à esquerda acima); Coeficientes de anisotropia da resistência à compressão (à direita acima); Resistência à tração (à esquerda abaixo) e Coeficientes de anisotropia da resistência à tração (à direita abaixo).



Fonte: os autores.

A direção Z apresentou os menores valores de resistência à tração na flexão em todos os intervalos de deposição, de modo que com 24 horas de intervalo a resistência foi de apenas 1,8 MPa. O coeficiente de anisotropia quando calculado para a resistência

à tração apresentou valores mais homogêneos para as amostras com intervalo de 0 e 60 minutos de intervalo nas deposições. Entretanto, para 24 horas a anisotropia ficou bem acentuada, principalmente para a direção Z. No ensaio de tração e no ensaio de compressão a anisotropia foi maior devido ao fato da formação de uma junta fria entre as camadas impressas, essa descontinuidade ou falha na união foi evidente quando esperou as 24 horas para impressão das camadas.

Com discutido por Cheng *et al* [19], a ligação fraca entre as camadas tem como principal causa a redução de umidade durante as deposições, pois reduz a coesão entre as camadas e consequentemente aumenta a porosidade interfacial. Essa teoria justifica o fato de a resistência à compressão reduzir mais de 45% e a resistência à tração reduzir quase 60% quando o intervalo entre a deposição das camadas foi de 24 horas, demonstrando-se um intervalo muito prejudicial ao desempenho das impressões.

CONCLUSÃO

O repouso de 60 minutos alterou o comportamento reológico da argamassa, resultando em uma maior restrição ao movimento durante o squeeze-flow. Sobre o processo de extrusão, o tempo em repouso de apenas 60 minutos aumentou em mais de sete vezes o valor da pressão de extrusão.

Quando comparada a impressão 3D sem intervalo na deposição das camadas com a impressão realizada com intervalo de 60 minutos ou 24 horas, conclui-se que, somente o intervalo de 24 horas alterou significativamente a resistência a compressão, a resistência a tração e o coeficiente de anisotropia. Desta forma, essa pesquisa colabora para a elaboração de planejamento de uma impressão 3D de grande porte. Onde, intervalos de 60 minutos não compromete a qualidade do material. Entretanto, intervalos de 24 horas deveram ser evitados pois compromete todas as propriedades avaliadas. Assim, essa pesquisa conclui a necessidade de aprofundamento sobre a extensão de aderência entre os filetes da impressão 3D quando executados com intervalos longos e a necessidade de tratamento dessas juntas, para evitar a anisotropia demonstrada.

DECLARACAO DE NÃO USO DE IA

Os autores declaram que não utilizaram IA generativa nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] FLATT, R. J.; WANGLER, T. On sustainability and digital fabrication with concrete. **Cement and Concrete Research**, [s. l.], v. 158, 106837, 2022.

[2] ZHANG, Y. et al. 3D printing technology in concrete construction. Nature Reviews **Clean Technology**, [s. l.], v. 1, p. 288–303, 2025.

[3] HOSSEEINI, E. et al. A novel method to enhance the interlayer bonding of 3D printing concrete: an experimental and computational investigation. **Cement and Concrete Composites,** [s. l.], v. 99, p. 112-119, 2019.
[4] MECHTCHERINE, V. et al. A roadmap for quality control of hardening and hardened printed concrete. **Cement and Concrete Research**, [s. l.], v. 157, 106800, 2022.
[5] CHEN, Y. et al. Mechanical anisotropy evolution of 3D-printed alkali-activated materials with different GGBFS/FA combinations. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 50, 104165, 2022.
[6] KOLAWOLE, J. T. et al. On the origins of anisotropy of extrusion-based 3D printed concrete: the roles of filament skin and agglomeration. **Cement and Concrete Research**, [s. l.], v. 192, 107712, 2025.
[7] NERELLA, V. N.; HEMPEL, S.; MECHTCHERINE, V. Effects of layer-interface properties on mechanical performance of concrete elements produced by extrusion-based 3D-printing. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 205, p. 586–601, 2019.
[8] WOLFS, R. J. M.; BOS, F. P.; SALET, T. A. M. Hardened properties of 3D printed concrete: the influence of process parameters on interlayer adhesion. **Cement and Concrete Research**, [s. l.], v. 119, p. 132–140, 2019.
[9] LI, Q.; SU, A.; GAO, X. Improvement of interlayer performance of 3D printable magnesium oxysulfate cement-based materials by carbonation curing. **Journal of Materials Research and Technology**, [s. l.], v. 34, p. 1045-1058, 2025.
[10] MOHAN, M. K. et al. Rheological and pumping behaviour of 3D printable cementitious materials with varying aggregate content. **Cement and Concrete Research**, [s. l.], v. 139, 106258, 2021.
[11] DIN EN 1015-7. **Methods of test for mortar for masonry:** Part 7: Determination of air content of fresh mortar. Berlin: Beuth Verlag, 1999.
[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos**: determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos**: determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15839: Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos**: caracterização reológica pelo método squeeze-flow. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
[15] ARAÚJO, R. C. **Impressão 3D para a construção civil:** desenvolvimento de método para avaliar a capacidade de impressão e estudo reológico da argamassa nas etapas de processamento. 2025. 198 f. Tese (Doutorado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil) – Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2025.
[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos**: determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
[17] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E178-08: Standard Practice for Dealing With Outlying Observations**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2008.
[18] YE, J. et al. Effect of polyethylene fiber content on workability and mechanical-anisotropic properties of 3D printed ultra-high ductile concrete. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 281, 122586, 2021.

[19] CHENG, H. et al. Directional pore structure governs compressive anisotropy in 3D printed concrete. **Cement and Concrete Composites**, [s. l.], v. 171, 106640, 2026.