XV SBTA Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas
Porto Alegre/RS - 11 a 13 de junho de 2025

AVALIAÇÃO DA EXTRUDABILIDADE DE ARGAMASSAS PARA IMPRESSÃO 3D: EFEITO DA ADIÇÃO DE DIFERENTES FINOS

Evaluation of extrudability of mortars for 3d printing: effect of fines addition type

ANDREA MURILLO BETIOLI[1], CAROLINE FIORDALISE ZUCHI[2], EDUARDA ALESSANDRA DOS SANTOS SCALCO[3], RAFAEL ANDRADE DE SOUZA[4], JULIANA MACHADO CASALI[5], ALEXANDRE LIMA DE OLIVEIRA[6]

[1]professora, Instituto Federal de Santa Catarina, andrea.betioli@ifsc.edu.br
[2] aluna graduação Engenharia Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, caroline.fz@aluno.ifsc.edu.br
[3] aluna graduação Engenharia Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, eduarda.scalco@aluno.ifsc.edu.br
[4]tecnólogo, Instituto Federal de Santa Catarina, ras@ifsc.edu.br
[5]professora, Instituto Federal de Santa Catarina, juliana.casali@ifsc.edu.br
[6]professor, Instituto Federal de Santa Catarina, alexandre@ifsc.edu.br

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a extrudabilidade manual, o comportamento no estado fresco e endurecido de argamassas para impressão 3D com diferentes adições minerais (sílica ativa, cinza volante e fíler calcário dolomítico). Os resultados mostraram que todas as argamassas apresentam potencial para uso em impressão 3D e que o tipo de adição utilizado interefere no seu comportamento no estado fresco. Além disso, o efeito do tipo de adição interferiu no comportamento reológico em função do tipo de esforço solicitado (extrusão ou cisalhamento rotacional), evidenciando a importância do ensaio simular a aplicação na prática.

Palavras-chave: Impressão 3D. Argamassa. Adição mineral. Extrudabilidade. Reologia.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the manual extrudability and fresh state behavior of mortars for 3D printing with different mineral additions (silica fume, fly ash, and filler). The results showed that all mortars demonstrated promising potential for use in 3D printing, and the addition type influences on fresh state behavior. The effect of the type of addition influenced the rheological behavior depending on the type of applied stress (extrusion or rotational shear). Furthermore, the test used to evaluate the materials should simulate practical application conditions.

Keywords: 3D printing. Mortar. Mineral addition. Extrudability. Rheology.

Como citar:
BETIOLI, A .M, ZUCHI, C. F., SCALCO, E. A. S., SOUZA, R. A., CASALI, J. M., OLIVEIRA, A. L. Avaliação da extrudabilidade de argamassas para impressão 3D: efeito da adição dos diferentes finos. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2025, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2025.

INTRODUÇÃO

A construção civil tem buscado tecnologias para racionalização e otimização dos procedimentos construtivos. Uma das tecnologias possíveis que pode trazer benefícios significativos, com redução do tempo de construção, de mão de obra e de resíduos é a impressão 3D. Segundo Buswell *et al.* [1], a impressão 3D baseada em extrusão pode eliminar a necessidade de forma, reduzir o custo e o tempo de construção, aumentar a segurança no local de construção e a flexibilidade no design arquitetônico.

Com relação ao material para extrusão, é necessário atender a requisitos reológicos contraditórios: alta fluidez durante o bombeamento e extrusão, e alta estabilidade e viscosidade em repouso para construir a estrutura em camadas. As propriedades reológicas dependem da proporção dos materiais e da composição química, forma das partículas, quantidade e granulometria dos agregados, relação água/ligante, adições e aditivos) [2].

Conforme observado por Wangler *et al.* [3], na impressão 3D baseada em extrusão, a alta quantidade de cimento Portland na mistura é necessária para atender aos requisitos de fluidez durante o processo, o que anula os benefícios de designs eficientes em termos de material. Para se tornar uma alternativa viável, é essencial desenvolver ligantes sustentáveis que mantenham o desempenho técnico sem comprometer a sustentabilidade. Isso implica em pesquisas e desenvolvimento de materiais cimentícios sustentáveis, substituindo parte do cimento Portland comum por materiais cimentícios suplementares.

Segundo Jiao *et al.* [4], as propriedades reológicas de uma argamassa são influenciadas de acordo com os materiais utilizados, bem como diferentes adições minerais. A sílica ativa por ser um material extremamente fino, pode aumentar significativamente a coesão e reduzir a segregação da argamassa, o que pode aumentar a viscosidade. Já a cinza volante possui partículas com formato esférico que reduzem o atrito entre si, o que dá mais fluidez para a argamassa e, consequentemente, menor viscosidade. No caso do fíler calcário não há um concenso, alguns autores citam o aumento na tensão de escomento e viscosidade plástico e outros o contrário, pois este comportamento depende da distribuição granulométrica e área superficial específica.

Na pesquisa sobre impressão 3D, Inozemtcev *et al.* [5] citam que as adições minerais influenciam significativamente os parâmetros reológicos dos materiais cimentícios, afetando propriedades como extrudabilidade, viscosidade e resistência mecânica. O uso de sílica ativa aprimora a coesão da mistura, evitando segregação e mantendo a forma após a extrusão, melhora a resistência inicial, permitindo que as camadas superiores sejam aplicadas sem deformar as inferiores, mas pode reduzir a fluidez se usada em excesso, exigindo ajuste no teor de água e plastificantes. O uso de cinza volante aumenta a fluidez, facilitando a extrusão sem comprometer a forma, reduz a necessidade de água, mas em excesso, pode retardar o endurecimento, afetando a estabilidade das camadas impressas. O fíler calcário favorece a autoadensabilidade, permitindo que a mistura flua sem necessidade de vibração, aprimora a adesão entre camadas, resultando em maior durabilidade da peça impressa, mas pode exigir ajustes na composição para evitar excesso de fluidez.

Segundo Jiao *et al.* [4], não há um consenso sobre o efeito das adições minerais no comportamento reológico de materiais cimentícios, pois a distribuição granulométrica, área superficial específica e forma do grão influenciam. Por exemplo, cinza volante classe C apresenta superfície das partículas irregulares e celulares, enquanto as de Classe F exibem morfologia e textura da superfície lisa, reduzindo drasticamente a viscosidade. Assim como a granulometria e a área superficial específica, conforme Ahari *et al.* (2015) citados por Jiao *et al.* [4].

Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o impacto do uso de diferentes adições minerais (fíler calcário dolomítico, cinza volante e sílica ativa) em argamassas para impressão 3D, buscando avaliar a fluidez, extrudabilidade, comportamento reológico e propriedades no estado endurecido.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

O cimento Portland utilizado foi o cimento Portland de alta Resistência inicial resistente a sulfatos - CP V ARI RS, cujas análises química e física foram fornecidas pelo fabricante e encontram-se na Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 – Análise Química do cimento Portland - CP V ARI RS utilizado.

Teores analisados	Limite de Norma (%)	Resultado (%)
PF	≤ 6,5	4,3
MgO	Não definido	5,94
SO3	≤ 4,5	2,49
RI	Não definido	9,19

Fonte: Fabricante do cimento Portland.

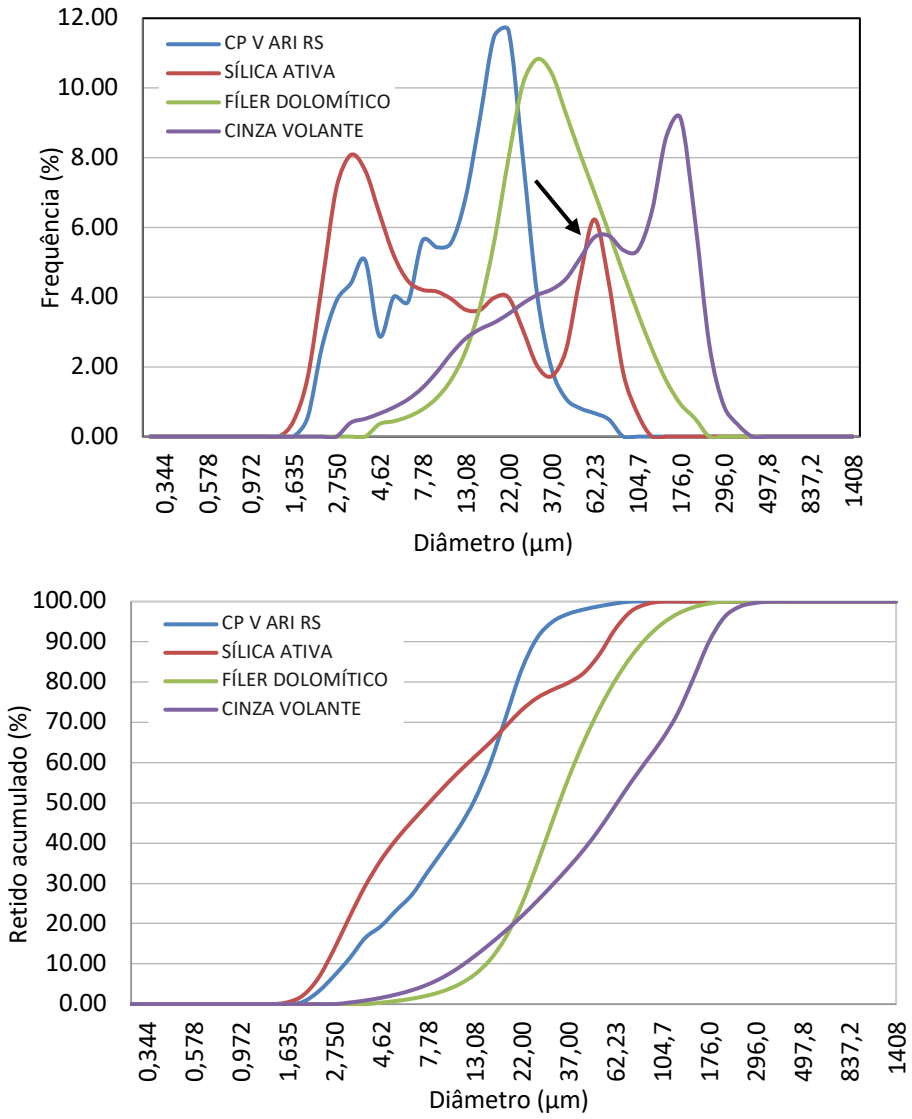
Tabela 2 - Análise Física do cimento Portland CP V ARI RS.

Propriedade Avaliada		Limite de Norma	Resultados
Finura (%)	#200	Não definido	0,00
	#400	Não definido	0,70
Blaine (cm²/g)		Não definido	4,900
Resistência à Compressão (MPa)	1 dia	≥ 14,0	22,2
	3 dias	≥ 24,0	32,3
	7 dias	≥ 34,0	37,8
	28 dias	Não definido	46,7

Fonte: Fabricante do cimento Portland.

Foram utilizados como adição mineral: sílica ativa, cinza volante (sem proceeso de moagem) e fíler calcário dolomítico. Estedisponível com melhor custo na região, apresentando 33,65% de CaO e 18,73% de MgO (dados fabricante). As curvas granulométricas dos finos, determinadas por granulometria a laser em equipamento Microtrac S3500, encontram-se na Figura 1. O pico identificado na curva da sílica ativa é resultado da sua densificação.

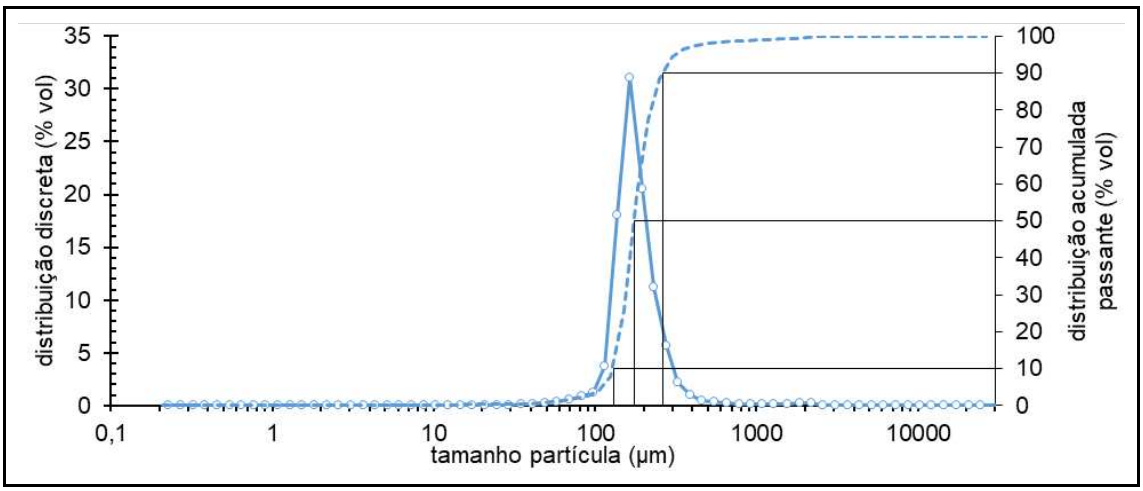
Figura 1 - Curva granulométrica dos finos utilizados.



Fonte: Os autores (2025).

O agregado miúdo utilizado foi uma areia natural fina passante na peneira 600 µm, cuja granulometria (NBR 7225 [6]) encontra-se na Figura 2.

Figura 2 - Curva granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: Os autores (2025).

A Tabela 3 apresenta a massa específica dos materiais utilizados, conforme NBR NM 52 [7], e do fabricante no caso da sílica ativa. A área superficial específica foi determinada no equipamento Quantachrome TouchWin™.

Tabela 3 - Massa específica dos materiais utilizados.

Mineral	Massa específica (g/cm³)	Área superficial específica (m^2/g)
CP V ARI RS	3	
Areia fina	2,66	
Fíler dolomítico	2,83	0,58
Cinza volante	1,93	0,964
Sílica ativa	2,2	12,999

Fonte: Os autores (2025).

Inicialmente foi utilizado um traço pré-definido para a realização de ajustes conforme a necessidade. O traço referência adotado foi 1 : 1,5 : 0,15 : 0,005 (cimento, areia, fíler dolomítico e aditivo dispersante, em massa), com relação água/cimento fixa de 0,45, conforme Martins *et al.* [8]. A partir desse traço, foram produzidas outras duas argamassas com variação das adições dos minerais (substituição em volume do fíler por cinza volante e por sílica ativa). A Tabela 4 apresenta o consumo de cada material em kg/m³ de argamassa produzida.

É importante destacar que, embora o consumo de cimento por metro cúbico seja elevado, o traço utilizado nesta pesquisa está dentro das faixas mais comuns. Segundo Rubin [9], em uma revisão sistemática da literatura, totalizando 175 traços, as principais proporções de materiais nos traços mais frequentes mostraram uma relação cimento/agregado de 1 a 2 em 46,9% dos estudos, seguida por 0 a 1 em 18,3% e de 2 a 3 em 18,3%. Na mesma análise, constatou-se que a relação água/cimento de 0,2 a 0,4 foi identificada em 44,0% das pesquisas, enquanto a faixa de 0,4 a 0,6 apareceu em 38,9%. Além disso, os teores de dispersante variam entre 0 e 1 em 68,3% dos traços e entre 1 e 2 em 22,4%.

A sequência de mistura da argamassa começou com a homogeinização dos materiais secos na argamassadeira planetária por 2 minutos em velocidade baixa, em seguida foi adicionada água na velocidade baixa e, por último, era misturada na velocidade alta por mais 2 minutos. Após isso, o misturador era desligado e adicionado o aditivo dispersante e misturado por 2 minutos em alta velocidade.

Tabela 4 - Consumo de material em kg/m³.

Argamassa	Cimento	Areia	Adição mineral	Aditivo (SP)	Água
com fíler dolomítico	704,4	1056,6	105,66	0,35	316,98
com cinza volante	705,1	1057,65	84,61	0,35	317,29
com sílica ativa	712,23	1068,34	71,22	0,71	320,5

Fonte: Os autores (2025).

PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

Foram realizadas as determinações de espalhamento, logo após a retirada do cone (Figura 3) e o espalhamento antes e após a aplicação dos golpes, através da determinação do índice de consistência (NBR 13276 [10]). Os valores médios de diâmetro considerados aceitáveis foram de 28 cm ± 2 cm. A densidade de massa e o teor de ar incorporado foram determinados conforme norma NBR 13278 [11].

Figura 3 - Medida de altura da argamassa após a retirada do cone.



Fonte: Os autores (2025).

Com intuito de avaliar a extrudabilidade das argamassas produzidas com diferentes adições minerais, foram realizadas avaliações de extrusão manual em equipamento aplicador de argamassa, conforme metodologia adotada por Martins *et al.* [8]. A Figura 4 apresenta o aplicador utilizado, tendo este 44,5 cm de comprimento e 6 cm de diâmetro. O bico extrusor utilizado possui 1,91 cm de altura e 6 cm de largura.

Figura 4 - Aplicador de argamassa para avaliação da de extrusão manual.




Fonte: Os autores (2025).

Os parâmetros reológicos foram obtidos por reometria rotacional realizada no reômetro MARS 40 na geometria cilindro concêntrico aletado (*Vane Test*) com gap de 11 ml, como apresentado a Figura 5. Foram utilizados 25 ml de amostra e o ensaio ocorreu em temperatura controlada de 23ºC.

Figura 5 – (a) Reômetro MARS 40 e (b) geometria vane.

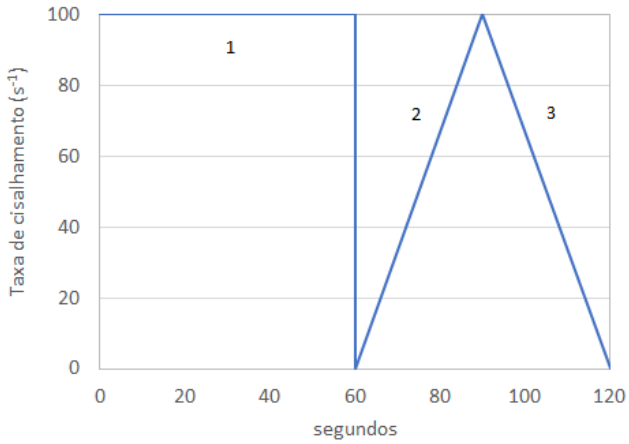



(a) (b)

Fonte: Os autores (2025).

O ensaio foi realizado aplicando-se primeiramente um pré-cisalhamento de 100 s^{-1} por 60 segundos e depois uma rampa de subida e descida de 0 a 100 s^{-1} a 0 em 60 segundos, conforme metodologia adotada por Marco [12] (Figura 6). Os valores de tensão de escoamento foi calculada através do modelo de Herschel-Bulkley aplicado à curva de descida (trecho 3) e a viscosidade aparente obtida na maior taxa de cisalhamento (100 s^{-1}). Conforme citado por Brasileiro [13], como não há um fluxo definido ao redor das extremidades da aleta vane, a variável M para cálculo da taxa de cisalhamento foi intitulada como 1.

Figura 6 - Ciclo realizado no ensaio reometria rotacional: pré-cisalhamento seguido de curva de subida e descida.



Fonte: Os autores (2025).

PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

A moldagem dos corpos de probas e os ensaios de ressitência à tração na flexão e à compressão axial aos 28 dias foram realizados conforme norma NBR 13279 (ABNT, [14]). A avaliação da eficiência das argamassas foi realizada por meio da Intensidade de Ligante (IL), conforme o método proposto por Damineli [15]. Esse índice é obtido pela divisão do consumo de cimento Portland (kg/m³) pela resistência à compressão (MPa), conforme estabelecido na Equação (1). Este cálculo reflete a quantidade de ligante necessária para proporcionar um aumento de 1 MPa na resistência da argamassa. Em resumo, quanto menor o valor da IL, maior a eficiência da argamassa.

$$IL = \frac{Consumo\ de\ cimento}{Resistência\ à\ compressão} \quad (1)$$

Onde:
IL = índice de intensidade de ligante.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

A Figura 7 apresenta as argamassas antes e após a aplicação dos golpes no ensaio de espalhamento. Observa-se que todas as argamassas foram capazes de manter a forma após a retirada do cone e, após a aplicação dos golpes apresentarem um espalhamento com borda uniforme e sem exsudação. Segundo Martins *et al.* [8], caso fossem muito fluídos não possuiriam resistência o suficiente para suportar o peso das camadas após a impressão.

Apesar de ser uma medida limitada, tipo monoponto e não simular o material na prática (no caso desta pesquisa), o mesmo ainda é muito utilizado por ser de baixo custo e fácil execução,

conforme Cardoso [16], e pode ser utilizado como uma avaliação prévia para selecionar argamassas com possibilidade de extrusão.

Figura 7 - Ensaio na mesa de espalhamento das argamassas com diferentes adições minerais: a) antes da aplicação dos golpes e b) após aplicação dos golpes.



Fonte: Os autores (2025).

A Tabela 5 mostra os valores de altura (h), após a retirada do cone, que demonstra a capacidade de formação de filetes durante a impressão 3D sem escoamento e espalhamento

do material, conforme observado por Martins *et al.* [8], de “d”, o diâmetro antes dos golpes e de “D”, diâmetro após aplicação dos golpes.

Tabela 5 - Resultados do ensaio de espalhamento na mesa de consistência das argamassas.

Parâmetros (cm)	Fíler Dolomítico	Cinza Volante	Sílica Ativa
Altura (h)	2,5	2	2,4
Diâmetro antes (d)	13,5	14,1	12,8
Diâmetro depois (D)	27,9	28,2	26,7

Fonte: Os autores (2025).

Conforme os resultados da Tabela 5, é possível observar que todas as argamassas obtiveram valores de espalhamento (D) dentro do parâmetro estipulado de 28 cm ± 2 cm, valor também observado por Martins *et al.* [8]. No entanto, vale ressaltar que para isso, foi necessário dobrar o teor de aditivo superplastificante na argamassa com sílica ativa, pois está adição possui área superficial específica elevada de 12,999 m^2/g (Tabela 3) e apresenta uma granulometria mais fina entre as adições minerais (Figura 1). Conforme citado por Jiao *et al.* [4], a sílica ativa é um pó extremamente fino (0,1 e 0,3 µm) e com área superficial específica 80 e 100 vezes e 50 e 70 vezes maior que cimento Portland e cinza volante, respectivamente.

A Tabela 6 apresenta os valores obtidos de densidade de massa e teor de ar incorporado para todas as argamassas produzidas. Nota-se que o maior teor de ar incorporado foi observado na argamassa com fíler dolomítico; porém, em todas as argamassas, esse teor foi extremamente baixo.

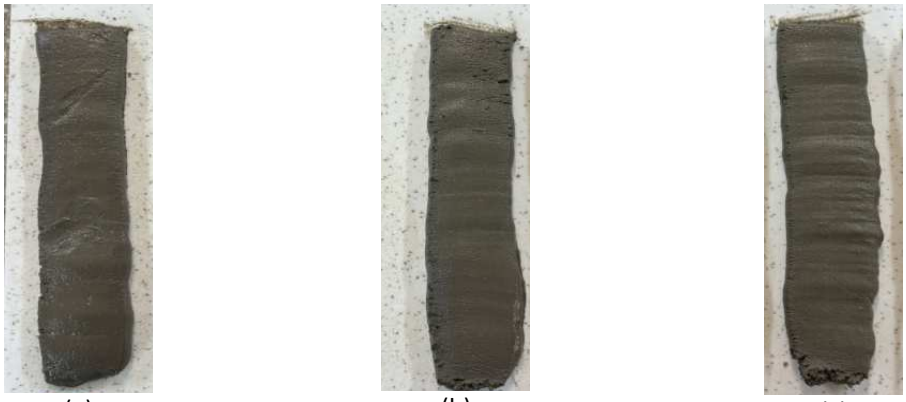
Tabela 6 - Densidade de massa e teor de ar incorporado.

Argamassa	Densidade da massa (g/cm^3)	Teor de ar incorporado (%)
Com fíler dolomítico	2,18	1,32
Com cinza volante	2,16	0,6
Com sílica ativa	2,17	0,75

Fonte: Os autores (2025).

A Figura 8 mostra as camadas formadas por extrusão com o aplicador manual de argamassa para as argamassas produzidas com as diferentes adições minerais. A argamassa que exigiu menor esforço manual durante o processo de extrusão foi a argamassa com fíler calcário dolomítico (menor área superficial específica e granulometria intermediária e contínua), comportamento também observado por Inozemtcev *et al.* [5]. O teor de ar pode ter contribuído, uma vez que, segundo Betioli [17], o ar incorporado atua no deslizamento das partículas sob esmagamento. Já a argamassa com adição de sílica ativa foi a que exigiu mais força, comportamento também observado por Inozemtcev *et al.* [5].

Figura 8 - Camadas de argamassas extrudadas manualmente com aplicador de argamassa. (a) fíler calcário dolomítico, (b) cinza volante e (c) sílica ativa.

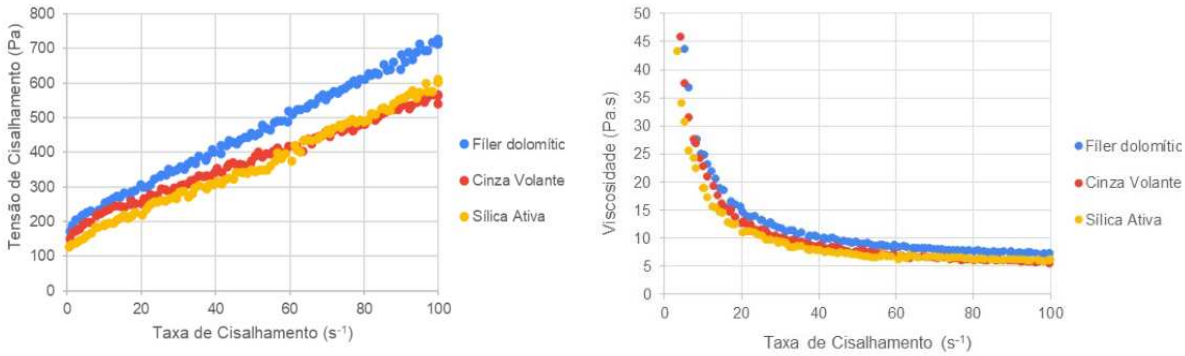


(a) (b) (c)

Fonte: Os autores (2025).

As Figuras 9a e Figura 9b apresentam as curvas de tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento para as argamassas estudadas. As argamassas apresentam um comportamento semelhante, sendo um perfil pseudoplástico com tensão de escoamento, típico de materiais cimentícios.

Figura 9 - (a) Curva tensão de cisalhamento x taxa de cisalhamento das argamassas e (b) Curva viscosidade x taxa de cisalhamento das argamassas.



(a) (b)

Fonte: Os autores (2025).

A Tabela 7 apresenta os valores de tensão de escoamento e viscosidade aparente das argamassas avaliadas. Vale lembrar que o volume de partículas foi mantido constante, uma vez que a massa específica das adições são distintas. Ao contrário do que foi observado no ensaio avaliativo de extrusão manual, no ensaio rotacional a maior tensão de escoamento ocorreu para argamassa com fíler calcário dolomítico e a menor com sílica ativa.

Tabela 7 - Valores de tensão de escoamento e viscosidade aparente das argamassas.

Argamassa	Tensão de escoamento (Pa)	Viscosidade (Pa.s)
com fíler dolomítico	189,6	7,20
com cinza volante	167,2	5,40
com sílica ativa	146,6	6,10

Fonte: Os autores (2025).

A influência do fíler calcário nas propriedades reológicas depende da área superficial específica e da distribuição granulométrica do mesmo (Vance, Kumar e Sant (2013) citados por Jiao *et al.*)[4]. Ma *et al.* (2013), citados por Jiao *et al.* [4], observaram que a tensão de escoamento e a viscosidade plástica aumentam com a diminuição do tamanho de partícula do calcário, enquanto que a adição de partículas maiores que as do cimento reduzem ambas as propriedades, este é o caso do fíler utilizado nesta pesquisa (Figura 1). Segundo Uysal e Yilmaz (2011), citados por Jiao *et al.* [4], isso ocorre porque partículas finas reduzem o espaçamento entre partículas e aumentam o contato entre elas (atrito), enquanto as partículas grossas podem aumentar o espaçamento e reduzir a resistência ao cisalhamento.

A presença da cinza volante, neste caso sem nenhum processo de moagem, apresentou um comportamento intermediário entre as adições avaliadas, resultado da curva granulomértica contínua e, Jiao *et al.* [4], por apresentar partículas esféricas que diminuem o atrito entre elas, proporcionando maior fluidez à argamassa.

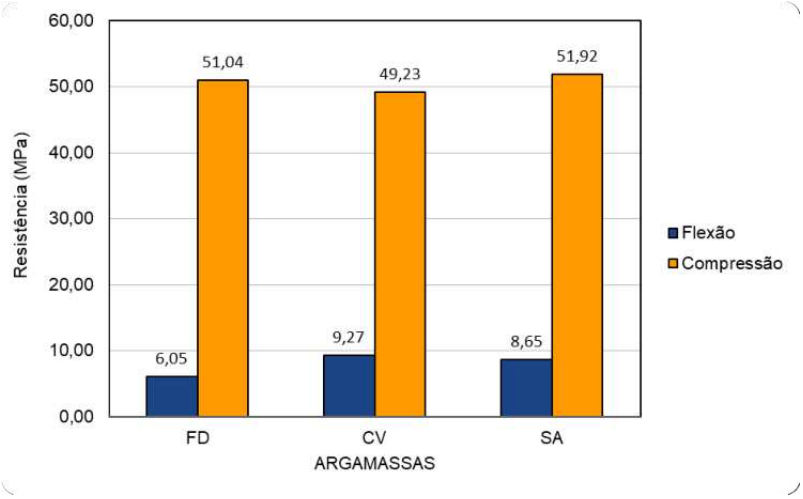
A sílica ativa por ser material com granulometria mais fina que o cimento Portland, aumenta a fluidez (menor viscosidade) da argamassa devido ao efeito de enchimento, que melhora o empacotamento das partícula, liberando água retida entre as mesmas, reduzindo assim também a viscosidade [4]. A menor tensão de escoamento da argamassa com sílica ativa ocorreu possivelmente pela adição de mais superplastificantes, uma vez que, segundo Bloomer (1979) citado por Jiao *et al.* [4], o aumento do teor de superplastificante reduz a tensão de escoamento.

Com relação ao efeito da sílica ativa no comportamento reológico, não há um consenso entre os autores. Muitos estudos citam que a adição de sílica ativa aumenta a tensão de escoamento e a viscosidade plástica, reduzindo a fluidez de materiais à base de cimento, enquanto outros observaram uma redução nessas propriedades e outros citam que seu uso reduz a viscosidade, mas aumenta a tensão de escoamento. O alerta ainda vai para o estudo da interação da sílica com o tipo de aditivo utilizado [4]. Vale ressaltar que apesar da menor tensão de escoamento determinada em ensaio de rotação na argamassa com sílica ativa, foi a argamassa que apresentou maior resistência à extrusão e menor espalhamento, o que demonstra que se deve ter o cuidado de se utilizar técnicas complementares e ensaios que simulem de fato o material na prática.

PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

Os valores de resistência à tração e à compressão encontram-se na Figura 10. Após a análise estatística, verificou-se que as adições não influenciaram na resistência à compressão, pois não há diferença estatística das médias, apenas a resistência à tração que foi menor na argamassa com fíler calcário dolomítico.

Figura 10 - Resistência à compressão e à tração na flexão das argamassas.



Fonte: Os autores (2025).

Observa-se que os índices de ligante foram semelhantes entre si, como mostra os valores da Tabela 8, o que mostra que o consumo de cimento Portland por MPa foi semelhante.

Tabela 8 - Índices de ligante das argamassas com diferentes adições minerais.

Argamassa	Intensidade de Ligante (IL)
Fíler dolomítico	13,8
Cinza volante	14,3
Sílica Ativa	13,7

Fonte: Os autores (2025).

CONCLUSÃO

O estudo avaliou o comportamento no estado fresco e endurecido de argamassas para impressão 3D com diferentes adições minerais. Os resultados mostraram que todas as argamassas são viáveis para aplicação, e a influência do tipo de adição nas propriedades reológicas da argamassa depende da granulometria e da área superficial. A sílica ativa densificada exigiu um maior teor de superplastificante para o mesmo índice de consistência, reduzindo assim a tensão de escomento por reometria rotacional. A cinza volante mostrou um comportamento intermediário entre as adições avaliadas. O fíler calcário dolomítico facilitou a extrusão manual, resultado contrário ao observado no ensaio de reometria rotacional, destacando a importância de ensaios que simulem a aplicação na prática. As resistências à compressão foram semelhantes, e o índice de ligante indicou bom equilíbrio entre consumo de cimento e resistência. O estudo reforça a necessidade de avaliar cuidadosamente os materiais utilizados para otimizar o desempenho das argamassas para impressão 3D, garantindo um equilíbrio entre sustentabilidade e eficiência técnica, bem como a escolha adequada dos ensaios para caracterização e simulação do material na prática.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e ao Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) - Campus Florianópolis, que concederam as bolsas de Iniciação Científica (IC), e ao Instituto Nacional Tecnologias Cimentícias Eco-eficientes Avançadas (FAPESP INCT 201450948-3; 465593/2014-3). Os autores também agradecem ao Laboratório de Aplicações de Nanotecnologia em Construção Civil da Universidade Federal de Santa Catarina pela realização dos ensaios de granulometria e área superficial específica.

REFERÊNCIAS

[1] BUSWELL, R.A. et al. 3D printing using concrete extrusion: a roadmap for research, **Cement Concrete Research**, v. 112, p. 37-49, out. 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.006

[2] CHEN, Y., S. et al. Improving printability of limestone-calcined clay-based cementitious materials by using viscosity-modifying admixture, **Cement Concrete Research**, v. 132, jun. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106040

[3] WANGLER, T. et al. Digital concrete: a review, **Cement Concrete Research**, v.123, set. 2019, DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105780

[4] JIAO, D.; SHI, C.; YUAN, Q.; AN, X.; LIU, Y.; LI. H. Effect of constituents on rheological properties of fresh concrete-A review. **Cement and Concrete Composites** Volume 83, October 2017, Pages 146-159. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.07.016

[5] INOZEMTCEV, A.; KOROLEV, E.; QUI, D. T. Study of mineral additives for cement materials for 3D-printing in construction. **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering** 365, 2018, DOI: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/365/3/032009.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7225:** Materiais de pedra e agregados naturais. Rio de Janeiro, 2009.

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

[8] MARTINS, K. C. M.; FERREIRA, A. C. C.; TINOCO, M. P.; REALES, O. A. M. Dosagem de concretos para impressão 3D considerando a operacionalização da impressora e o sistema de bombeamento. In: ANAIS DO 64° CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2023 – 64CBC, 2023, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis, 2023.

[9] RUBIN, A. P. **Influência da taxa de estruturação nas propriedades reológicas, físicas e mecânicas de concretos para impressão 3D (3DCP).** Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2021.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. São Paulo, 2016.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos -Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. São Paulo, 2005.

[12] MARCO, F. **Estudo do uso de resíduo oriundo do sistema de dessulfurização de gases (FGD) como adição em argamassa estabilizada.** Florianópolis, 2023. p. 175. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.

[13] BRASILEIRO, G. C. P. **Avaliação do comportamento reológico de argamassas através de reometria rotacional: variação dos tipos de geometria e protocolos de ensaio.** 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023. doi:10.11606/D.3.2023.tde-16042024-102848

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. São Paulo, 2005.

[15] DAMINELI, B. L. **Conceitos para formulação de concretos com baixo consumo de ligantes: Controle reológico, empacotamento e dispersão de partículas.** Tese - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

[16] CARDOSO, F.A. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico.** 2009. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

[17] BETIOLI, A. M. I**nfluência dos Polímeros MHEC e EVA na Hidratação e Comportamento Reológico de Pastas de Cimento Portland.** Florianópolis, 2007. 211 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.