

## Influência da substituição parcial de cimento por filler calcário dolomítico nas propriedades de argamassas para impressão 3D

Tamara Carolina Alves de Lima<sup>1</sup>, Ana Clara Kuhn Martins<sup>2</sup>, Allan Guimaraes Borçato<sup>3</sup>, Juliana Machado Casali<sup>4</sup>, Rafael Andrade de Souza<sup>5</sup>, Andrea Murillo Betioli<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil (tamara.l@aluno.ifsc.edu.br)

<sup>2</sup>Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil (anackm2005@gmail.com)

<sup>3</sup>Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil (allan.borcato@ifsc.edu.br)

<sup>4</sup>Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil (juliana.casali@ifsc.edu.br)

<sup>5</sup>Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil (ras@ifsc.edu.br)

<sup>6</sup>Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil (andrea.betioli@ifsc.edu.br)

**Resumo:** Avaliou-se a substituição parcial do cimento CP II - Z 40 por filler calcário dolomítico (10% e 20%) em argamassas para impressão 3D. A incorporação do filler aumentou a fluidez, manteve a extrudabilidade e favoreceu o empacotamento das partículas, resultando em maior densidade e menor teor de ar. No estado endurecido, a redução da resistência à compressão foi inferior à redução do consumo de cimento. O índice de ligante diminuiu até 9,1%, indicando maior ecoeficiência.

**Palavras-chave:** Impressão 3D; Argamassa cimentícia; Filler dolomítico; Extrudabilidade; Sustentabilidade.

### INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva de materiais cimentícios, ou impressão 3D na construção civil, destaca-se pelo potencial de automação, liberdade geométrica e redução de custos operacionais. Na impressão 3D por extrusão, as propriedades reológicas das argamassas desempenham papel fundamental no sucesso do processo, sendo necessário conciliar extrudabilidade, capacidade de retenção de forma e estabilidade das camadas depositadas (Buswell *et al.*, 2018). Conforme apontado por Martins *et al.* (2023), a dosagem deve considerar a operacionalização da técnica, de modo a assegurar o bombeamento contínuo, a extrusão sem obstruções e a integridade estrutural das camadas sobrepostas.

Todavia, o desenvolvimento de misturas adequadas para impressão 3D frequentemente resulta em traços com elevado consumo de cimento Portland para garantir a coesão necessária, o que eleva significativamente o impacto ambiental e os custos do material. Diante desse desafio de sustentabilidade, a substituição parcial do cimento Portland por adições minerais torna-se uma estratégia indispensável para refinar a matriz cimentícia e reduzir a pegada de carbono dos compósitos. Para alcançar as propriedades reológicas ideais sem o uso excessivo de ligante, a associação entre adições minerais e aditivos químicos é fundamental.

A substituição parcial do cimento Portland por adições minerais tem sido investigada como estratégia para reduzir o consumo de clínquer e os impactos ambientais associados, mantendo o

desempenho requerido para aplicações em impressão 3D (Barbosa, 2022).

O filler calcário dolomítico, por exemplo, atua no empacotamento das partículas, preenchendo vazios na matriz cimentícia e melhorando a densidade de massa e o comportamento reológico no estado fresco. O uso de filler calcário em substituição parcial ao cimento contribui para a fluidificação da mistura e melhoria da trabalhabilidade, devido ao efeito físico de empacotamento e à morfologia de suas partículas (Damineli, 2013).

Além dos benefícios técnicos, a substituição parcial do cimento Portland por finos minerais contribui para o desenvolvimento de materiais compósitos mais sustentáveis, alinhando-se aos avanços em desempenho mecânico e redução de impactos ambientais (Tavares *et al.*, 2025).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da substituição parcial do cimento Portland CP II -Z 40 por filler calcário dolomítico nas propriedades das argamassas destinadas à impressão 3D. Essas propriedades foram analisadas no estado fresco, por meio dos ensaios de fluidez e extrudabilidade, e no estado endurecido, por meio das resistências à compressão e à tração na flexão, bem como da eficiência do uso do ligante.

### MATERIAL E MÉTODOS

Para a produção das argamassas, utilizou-se o cimento Portland composto com pozolana CP II - Z 40, caracterizado por uma massa específica de 3,01 g/cm<sup>3</sup>, granulometria apresentada nas Figuras 1. Como agregado miúdo, empregou-se areia natural fina de quartzo passante na peneira de 600 µm, cuja

granulometria encontra-se na Figura 2, com massa específica de  $2,66 \text{ g/cm}^3$ . A adição mineral utilizada foi o filler calcário dolomítico com massa específica de  $2,83 \text{ g/cm}^3$  e granulometria apresentada nas Figuras 1.

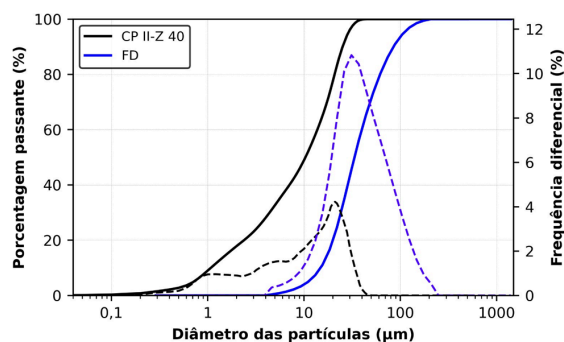


Figura 1. Granulometria do cimento e do filler calcário dolomítico.

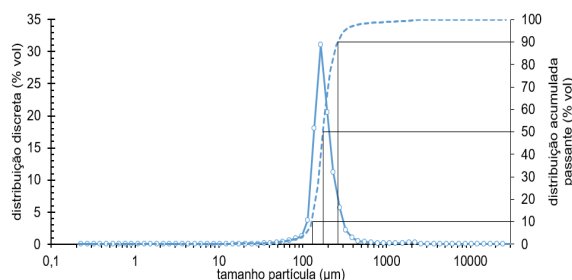


Figura 2. Granulometria agregado miúdo.

Foram utilizados um modificador de viscosidade (VMA), aditivo modificador de viscosidade antissegregante com densidade de  $0,5 \text{ g/cm}^3$  e um aditivo superplastificante (SP) dispersante, redutor de água tipo 2 com massa específica de  $1,05 \text{ g/cm}^3$ , adotados com base nos critérios de dosagem propostos por Betioli *et al.* (2025). Os materiais constituintes nesta pesquisa encontram-se ilustrados na Figura 3.



Figura 3. Materiais utilizados: (a) água, (b) VMA, (c) SP, (d) filler dolomítico, (e) CP II-Z 40 e (f) areia fina.

A definição das misturas baseou-se no traço de referência (REF) preliminarmente otimizado. Esse traço adota a proporção unitária em massa de 1 : 1,15 : 0,25 : 0,0015 : 0,001 : 0,45 (cimento Portland : areia : filler : VMA : SP : água).

A partir desse referencial estabelecido, foram realizados os ajustes experimentais para a criação das duas séries desta pesquisa, focadas na redução do consumo de ligante e denominadas FD10 e FD20. Nessas séries, o cimento Portland foi substituído parcialmente por filler calcário dolomítico nos teores de 10% e 20% em massa, respectivamente, considerando a substituição volumétrica equivalente em razão das diferentes massas específicas dos materiais.

Os consumos de areia, água e VMA foram mantidos fixos para todas as misturas avaliadas, assegurando a base comparativa do desempenho experimental, enquanto o teor de superplastificante foi ajustado proporcionalmente à redução da massa de cimento para garantir a compatibilidade química e reológica necessária para a integridade dos filamentos.

No procedimento executivo, os materiais secos foram inicialmente homogeneizados em argamassadeira planetária por 2 minutos em velocidade baixa. Na sequência, adicionou-se a água de amassamento, mantendo-se a mistura por 2 minutos em velocidade alta. Posteriormente, o equipamento foi pausado para a incorporação dos aditivos químicos, finalizando-se o procedimento com mais 2 minutos de mistura em alta velocidade.

Após a homogeneização, realizou-se a caracterização imediata da argamassa no estado fresco por meio do ensaio de espalhamento em mesa de consistência (*flow-table*), conforme os procedimentos estabelecidos pela NBR 13276 (ABNT, 2016). Na sequência, determinaram-se a densidade de massa e o teor de ar incorporado, segundo as diretrizes da NBR 13278 (ABNT, 2005).

A avaliação da extrudabilidade foi realizada de forma qualitativa utilizando um sistema de extrusão manual com aplicador comercial. Foram analisados qualitativamente parâmetros essenciais como a coesão interna, com o acabamento superficial e a continuidade dos cordões extrudados, depositados sobre uma placa cerâmica lisa, conforme a metodologia proposta por Martins *et al.* (2023). O conjunto de equipamentos auxiliares empregados nas análises no estado fresco encontram-se apresentados na Figura 4.

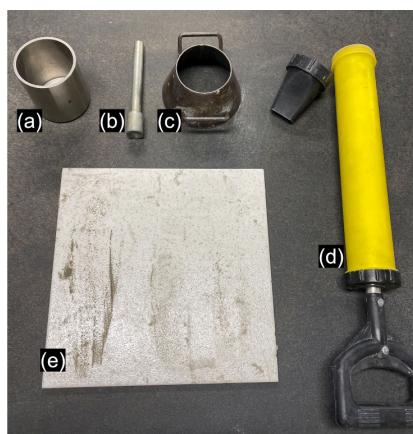


Figura 4. Equipamentos utilizados nos ensaios: (a) recipiente cilíndrico de volume conhecido, (b) soquete metálico, (c) molde tronco-cônico para consistência, (d) aplicador manual com bico extrusor e (e) placa cerâmica para deposição

Após a finalização de todos os ensaios no estado fresco, procedeu-se à moldagem de três corpos de prova prismáticos com dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm para cada traço avaliado, seguindo as diretrizes de adensamento estabelecidos pela NBR 13279 (ABNT, 2005) para análise das resistências à tração na flexão e à compressão aos 28 dias de idade.

A eficiência das argamassas foi avaliada pela Intensidade de Ligante (IL), conforme Damineli (2013), calculada pela razão entre o consumo de cimento Portland ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) e a resistência à compressão (MPa). Esse índice indica a quantidade de ligante necessária para gerar 1 MPa de resistência; assim, quanto menor a IL, maior a eficiência da argamassa.

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

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os consumos de materiais por metro cúbico de argamassa, calculados pelo método dos volumes absolutos a partir das massas específicas dos componentes. A substituição parcial do cimento Portland por filler calcário dolomítico promoveu redução progressiva do consumo de cimento, de 765  $\text{kg}/\text{m}^3$  no traço de referência para 689  $\text{kg}/\text{m}^3$  e 612  $\text{kg}/\text{m}^3$  nos traços FD10 e FD20, correspondendo a reduções de 10,0% e 20,0%, respectivamente. Em contrapartida, observou-se incremento proporcional no teor de filler, compensando volumetricamente a substituição e mantendo equivalente o volume total de materiais sólidos entre os traços.

Tabela 1. Consumos reais por metro cúbico de argamassa fresca ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

| Materiais  | T-Ref | FD10 | FD20 |
|------------|-------|------|------|
| CP II Z 40 | 765   | 689  | 612  |
| Areia fina | 880   | 880  | 880  |
| Filler     | 191   | 263  | 335  |
| VMA        | 1,15  | 1,15 | 1,15 |
| SP         | 0,77  | 0,69 | 0,61 |
| Água       | 345   | 345  | 345  |

Na determinação do espalhamento, todos os traços avaliados apresentaram valores compreendidos entre 20 e 30 cm, faixa considerada adequada para argamassas destinadas à impressão 3D (Martins *et al.*, 2023). Esse comportamento indica que as misturas mantiveram condições satisfatórias de fluidez e processabilidade, permitindo sua possível aplicação em sistemas de extrusão sem comprometer a estabilidade durante a deposição.

As Figura 5, Figura 6 e Figura 7 apresentam o aspecto visual das argamassas após a realização a determinação do espalhamento.



Figura 5. Determinação do espalhamento argamassa REF.



Figura 6. Determinação do espalhamento argamassa FD10.





Figura 7. Determinação do espalhamento argamassa FD20.

Observa-se uma influência significativa da substituição parcial do cimento Portland por filler dolomítico sobre a fluidez da mistura, evidenciada pelo aumento progressivo do espalhamento à medida que o teor de substituição foi elevado. Enquanto o traço REF apresentou espalhamento de 23,5 cm, os traços FD10 e FD20 atingiram 24,0 cm e 25,5 cm, respectivamente. Esse comportamento pode estar associado às características granulométricas do filler, que apresenta partículas mais grossas e menor área superficial específica em comparação ao cimento. Dessa forma, a substituição parcial do cimento Portland reduz a demanda de água para molhagem das partículas sólidas, aumentando a quantidade de água livre disponível na mistura e favorecendo sua mobilidade, conforme discutido por Daminieli *et al.* (2010). O incremento da fluidez foi proporcional ao teor de substituição, indicando que esse efeito se intensifica com o aumento da incorporação de filler.

Destaca-se ainda que o teor de superplastificante foi reduzido proporcionalmente à massa de cimento Portland substituída nos traços com filler. Assim, o aumento da fluidez não pode ser atribuído ao uso de aditivo químico, mas predominantemente às modificações promovidas pela substituição do cimento, especialmente à redução da área superficial total da fase ligante e ao consequente diminuição da demanda de água do sistema (Daminieli, 2013).

Os valores obtidos de densidade de massa e teor de ar incorporado estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Densidade de massa aparente e teor de ar incorporado no estado fresco.

| Traço | Densidade de massa (g/cm <sup>3</sup> ) | Teor de ar incorporado (%) |
|-------|-----------------------------------------|----------------------------|
| REF   | 2,12                                    | 2,76                       |
| FD10  | 2,12                                    | 2,90                       |
| FD20  | 2,14                                    | 1,69                       |

Os traços REF e FD10 apresentaram densidades de massa equivalentes, sugerindo que a substituição de 10% do cimento por filler dolomítico não promoveu alterações significativas no empacotamento da matriz no estado fresco. Em contrapartida, o traço FD20 apresentou maior densidade e menor teor de ar incorporado, indicando uma estrutura mais compacta e com menor volume de vazios. Esse comportamento pode ser atribuído ao efeito filler, no qual as partículas finas ocupam os espaços entre os grãos maiores, favorecendo o empacotamento granular e aumentando a eficiência da distribuição de partículas na mistura. Segundo Daminieli (2013), o aprimoramento do empacotamento reduz os vazios internos do sistema, contribuindo para uma matriz mais densa e potencialmente menos dependente de pasta para preenchimento desses espaços. A redução do teor de ar observada no FD20 reforça essa interpretação, evidenciando um arranjo particulado mais eficiente. Além disso, o resultado está alinhado ao maior espalhamento verificado para esse traço, indicando que a melhoria do empacotamento favoreceu simultaneamente a fluidez e a compactação da argamassa.

Na avaliação qualitativa da extrudabilidade, o REF produziu cordões contínuos e coesos ao longo dos 30 cm avaliados, confirmando a adequação do traço de referência ao sistema de extrusão manual adotado. As fotografias dos cordões extrudados estão apresentadas nas Figura 8, Figura 9 e Figura 10.



Figura 8. Cordões extrudados para o traço REF.

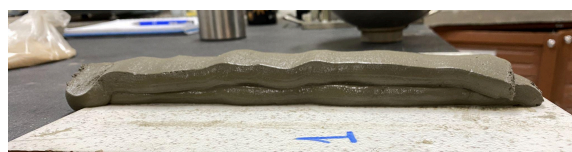


Figura 9. Cordões extrudados para o traço FD10.



Figura 10. Cordões extrudados para o traço FD20.

O traço FD10 foi extrudado com êxito, apresentando consistência ligeiramente mais fluida que o REF durante a deposição. Foram observadas pequenas ondulações superficiais nos cordões, sem comprometimento da continuidade da extrusão ou da coesão do material depositado. Essas irregularidades

podem estar associadas tanto à maior fluidez da mistura quanto às limitações inerentes ao processo de extrusão manual empregado, que apresenta menor controle dos parâmetros de deposição em comparação a sistemas automatizados. Dessa forma, a substituição de 10% do cimento Portland por filler dolomítico manteve a extrudabilidade dentro de parâmetros satisfatórios, indicando que a incorporação do material não prejudicou a processabilidade da mistura, em concordância com resultados reportados na literatura para sistemas cimentícios contendo adições minerais finas (Hasse *et al.*, 2020).

O traço FD20 apresentou maior facilidade de extrusão em relação aos demais traços, comportamento compatível com o aumento da fluidez verificado no ensaio de espalhamento. Contudo, a menor consistência da mistura resultou em cordões com geometria menos uniforme e maior variação dimensional ao longo do comprimento. Esse comportamento sugere que, embora o aumento da água livre favoreça o escoamento do material através do bico extrusor, ele também pode reduzir a capacidade de retenção de forma após a deposição. Dessa maneira, os resultados indicam que teores mais elevados de substituição por filler dolomítico podem melhorar a extrudabilidade, mas exigem maior controle da estabilidade geométrica dos cordões impressos.

Os resultados de resistência à compressão e à tração na flexão aos 28 dias estão apresentados na Figura 11.

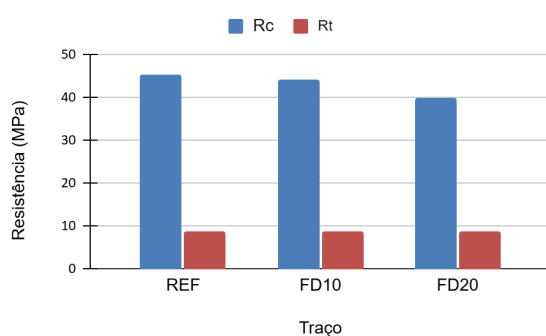


Figura 11 – Resultados de resistência mecânica aos 28 dias de idade.

Os resultados de resistência à compressão evidenciaram redução gradual do desempenho mecânico com o aumento do teor de substituição do cimento Portland por filler dolomítico. Em contrapartida, a resistência à tração na flexão apresentou pouca variação entre os traços avaliados, indicando que a incorporação do filler não comprometeu significativamente a integridade da matriz cimentícia.

O traço FD10 apresentou resistência próxima à da mistura de referência, com redução de apenas 2,4%, enquanto o traço FD20 registrou decréscimo de 11,9%. Esses resultados indicam que a substituição de 10% do cimento Portland teve impacto limitado sobre a resistência à compressão, ao passo que a substituição de 20% promoveu redução mais pronunciada. Esse comportamento pode ser atribuído ao efeito de diluição decorrente da redução do teor de clínquer disponível para hidratação, resultando em menor formação de produtos hidratados responsáveis pela resistência mecânica (Mehta e Monteiro, 2014).

Apesar da redução observada na resistência à compressão, o desempenho do traço FD10 sugere que, em baixos teores de substituição, o filler dolomítico foi capaz de compensar parcialmente o efeito de diluição por meio de sua atuação física na matriz cimentícia. O melhor empacotamento das partículas e o preenchimento de vazios podem contribuir para a manutenção da compacidade da microestrutura, limitando as perdas de resistência (Damineli, 2013).

Embora a tendência de redução da resistência à compressão com o aumento do teor de substituição seja evidente, a análise isolada desse parâmetro não permite avaliar a eficiência do uso do cimento Portland nas misturas. Para essa finalidade, foi calculado o Índice de Ligante (IL), que relaciona o consumo de cimento Portland por metro cúbico à resistência à compressão obtida, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Índice de Ligante (IL) dos traços avaliados.

| Traço | Cimento (kg/m³) | fc (MPa) | IL (kg/m³/MPa) |
|-------|-----------------|----------|----------------|
| REF   | 765             | 45,28    | 16,90          |
| FD10  | 689             | 44,19    | 15,59          |
| FD20  | 612             | 39,87    | 15,35          |

Os valores de IL foram reduzidos de 16,90 kg·m<sup>-3</sup>·MPa<sup>-1</sup> na mistura de referência para 15,59 e 15,35 kg·m<sup>-3</sup>·MPa<sup>-1</sup> nos traços FD10 e FD20, correspondendo a reduções de 7,9% e 9,1%, respectivamente. Esses resultados indicam aumento da eficiência no uso do cimento Portland, uma vez que menores quantidades de ligante foram necessárias para gerar cada unidade de resistência mecânica. Assim, mesmo com a redução da resistência à compressão, a substituição parcial do cimento Portland por filler dolomítico mostrou-se vantajosa sob a perspectiva da eficiência do uso de recursos cimentícios, especialmente considerando os potenciais benefícios econômicos e ambientais associados à redução do consumo de cimento Portland.



Observa-se que a redução da resistência à compressão foi proporcionalmente inferior à redução do consumo de cimento Portland. No traço FD20, por exemplo, a substituição de 20% do cimento Portland resultou em perda de resistência de apenas 11,9%, indicando que parte do desempenho mecânico foi mantida em razão dos efeitos físicos promovidos pelo filler na matriz cimentícia. Esse comportamento evidencia maior eficiência no aproveitamento do ligante disponível e justifica a redução observada nos valores do Índice de Ligante.

Os resultados obtidos corroboram a tendência observada por Barbosa (2022), que demonstrou a viabilidade do emprego de adições minerais como estratégia para redução do consumo de cimento Portland em compósitos destinados à impressão 3D, mantendo desempenho compatível com as exigências do processo. De forma complementar, os achados deste estudo também estão alinhados com Tavares *et al.* (2025), que destacam o potencial das adições minerais para aumentar a sustentabilidade de materiais cimentícios impressos em 3D, promovendo maior eficiência no uso do ligante sem perdas significativas de desempenho mecânico.

### CONCLUSÃO

A substituição parcial do cimento Portland por filler calcário dolomítico promoveu aumento da fluidez das argamassas, em razão da granulometria mais grossa do filler, que possibilitou maior disponibilidade de água livre na mistura, mantendo condições adequadas de extrudabilidade para aplicação em impressão 3D. Além disso, o traço com 20% de substituição apresentou maior densidade de massa e menor teor de ar incorporado, evidenciando um empacotamento das partículas mais eficiente e uma matriz mais compacta no estado fresco.

No estado endurecido, observou-se redução gradual da resistência à compressão com o aumento do teor de substituição, enquanto a resistência à tração na flexão apresentou pouca variação. Apesar da redução da resistência à compressão, a perda de desempenho foi inferior à redução do consumo de cimento Portland. No traço com 20% de substituição, por exemplo, a redução de resistência foi de 11,9%, frente a uma diminuição de 20% no teor de cimento Portland. Esse comportamento resultou em menores valores de Índice de Ligante, evidenciando maior eficiência no aproveitamento do ligante disponível.

Os resultados demonstram que o filler calcário dolomítico constitui uma alternativa tecnicamente viável para reduzir o consumo de cimento Portland em argamassas para impressão 3D, contribuindo para o desenvolvimento de misturas mais eficientes, com melhor empacotamento no estado fresco, menor incorporação de ar e menor demanda de recursos cimentícios.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) pelo apoio institucional e pela disponibilização da infraestrutura laboratorial utilizada na realização desta pesquisa, bem como a todos os colaboradores que auxiliaram na execução dos ensaios experimentais. Os autores agradecem também às empresas Azul Concretos, MC-Bauchemie e GCP, pela doação dos materiais.

### REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- 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. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- 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. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- BARBOSA, M. S. **Desenvolvimento de compósitos para impressão 3D com consumo de cimento reduzido por meio de adições minerais**. 2022. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.
- BETIOLI, A. M.; ZUCHI, C. F.; SCALCO, E. A. dos S.; SOUZA, R. A. de; CASALI, J. M.; OLIVEIRA, A. L. de. Avaliação da extrudabilidade de argamassas para impressão 3D: efeito da adição de diferentes finos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 15., 2025, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2025. DOI: <https://doi.org/10.46421/sbta.v15.6833>.
- 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>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.3.2013.tde-19092014-103459>

DAMINELI, B. L.; KEMEID, F. M.; AGUIAR, P. S.; JOHN, V. M. Measuring the eco-efficiency of cement use. **Cement and Concrete Composites**, v. 32, n. 8, p. 555–562, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.07.009>.

HASSE, J. A.; RUBIN, A. P.; QUINTANILHA, L. C.; REPETTE, W. L. Increasing structuration rate of 3D printable concretes: the effect of viscosity enhancing admixtures. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 13, n. 4, e13412, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1983-41952020000400012>.

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: **CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO**, 64., 2023, Florianópolis. Florianópolis: IBRACON, 2023.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: Microstructure, Properties, and Materials**. 4. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.

TAVARES, G. F.; RESENDE, B. R. L.; ALMEIDA, K. C.; COSTA, K. R.; MELO FILHO, G. A.; LIMA, vD. F. P. Desenvolvimento de materiais compósitos para impressão 3D com adição de microsilica: avanços em sustentabilidade e resistência estrutural. **Revista Delos**, Curitiba, v. 18, n. 71, p. 1-21, 2025.