cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS CIMENTÍCIOS PARA IMPRESSÃO 3D COM INCORPORAÇÃO DE SERRAGEM DE PINUS: PARÂMETROS DA LITERATURA

Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza[1]; Profa. Dra. Cristiane Inácio de Campos[1]; Bruna Soares Rezende[1]; MSc. Nathaly Proença[1]
[1] Instituto de Ciências e Engenharia — ICE/UNESP | alexandre.duarte@unesp.br

Introdução

A impressão 3D de argamassas por extrusão dispensa fôrmas, viabiliza geometrias complexas e reduz desperdícios [6]. O desafio é **material**: a argamassa precisa fluir pelo bico (*extrudabilidade*) e, logo após depositada, suportar as camadas seguintes (*construtibilidade*) [7, 9].

A serragem de *Pinus* spp., resíduo abundante da indústria madeireira do Sul do Brasil, é candidata a agregado leve na economia circular. Compósitos cimentícios moldados com serragem são viáveis [1, 8], mas extrativos, açúcares e alta absorção de água prejudicam hidratação e aderência [5, 10]. Em impressão 3D, os estudos com resíduos de madeira e outros orgânicos são recentes [2, 5] e **ainda não há parâmetros consolidados para o Pinus.**

Objetivos

Consolidar, por revisão da literatura, parâmetros de partida para formular argamassa cimentícia imprimível com serragem de *Pinus*, de modo a:

- mapear tratamentos do resíduo (aderência fibra-matriz);
- definir faixas de dosagem (a/c, substituição, aditivos);
- reunir requisitos reológicos e de impressão.

Metodologia

Revisão da literatura com artigos publicados entre 2016 e 2026 nas bases **Scopus, Web of Science e ScienceDirect**. Os parâmetros extraídos foram organizados em quatro eixos, do resíduo à peça impressa (Figura 1).

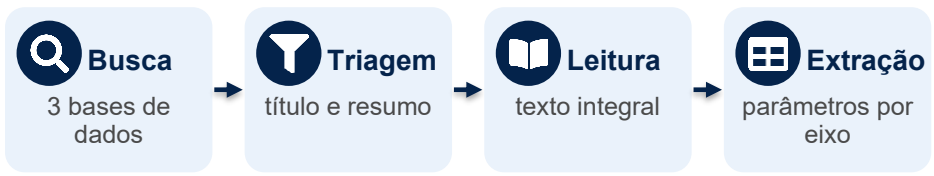


Figura 1. Etapas da revisão e eixos de organização dos parâmetros.

Resultados e Discussão

Eixo	Parâmetro	Faixa de partida
Tratamento	Imersão em NaOH	5% por 1 h *
	Granulometria	< 2 mm (não obstrui o bico)
Dosagem	Areia → serragem	5 a 15% em volume
	Relação a/c	0,40 a 0,50
	Aditivos	SP + modificador reológico
Reologia	τ_0 estática	crescente: $\tau_0(t) \geq \rho \cdot g \cdot H/\sqrt{3}$
Impressão	Bico / camada	20–25 mm / ≈ 10 mm [2, 5]
	Velocidade	≈ 100 mm/s [2]
Desempenho	fc aos 28 d (≤ 10%)	12 a 22 MPa (não estrutural)

Figura 2. Parâmetros de partida. Valores sem citação: síntese da revisão. * Em [10], geopolímero: NaOH 1% por 20 min.

- **Compatibilidade:** em geopolímero de cinza volante, os extrativos de *Pinus* deram a maior perda de resistência específica entre seis madeiras (13,51 → 11,11 kN·m/kg); o pré-tratamento com NaOH trouxe ganhos de 21% (alburno) e 10% (cerne) [10].
- **Leveza × resistência:** 30% de agregado granulado de pó de madeira reduziu a densidade fresca de 2125 para 1870 kg/m³; a peça impressa atingiu 30–32 MPa (referência: 46–57 MPa), com retração cerca de 2× maior [2].
- **Forma do resíduo:** grânulos de cânhamo e de carvão vegetal mantiveram 33–38 MPa aos 28 d; os mesmos resíduos soltos caíram para 21–25 MPa [5] — granular a serragem é uma rota a testar.
- **Reologia:** fibras vegetais (0,2% vol.) elevaram a compressão em ~26%, mas reduziram a extrudabilidade em ~8% [4]; nanoargilas aumentam τ_0 em repouso [3].

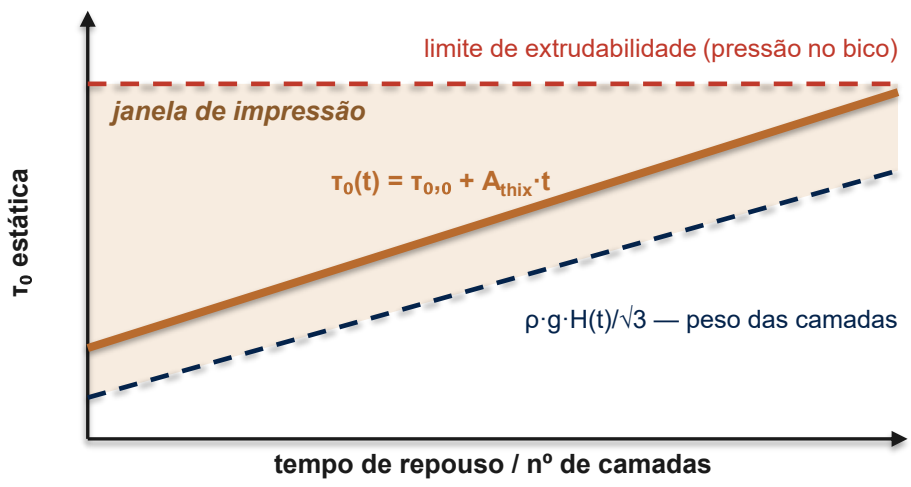


Figura 3. Janela de imprimibilidade — esquema conceitual *(adaptado de [7, 9]).*

Conclusões

- **Ponto de partida:** serragem tratada em NaOH, < 2 mm, 5% a 15% (vol.) de substituição, a/c entre 0,40 e 0,50 e aditivos SP + modificador reológico.
- Até 10% de serragem, 12–22 MPa aos 28 d atendem componentes **não estruturais**, com menor massa e menor consumo de agregado natural.
- **Lacuna:** faltam reologia e ensaios de impressão com serragem de *Pinus*; os estudos de impressão usam resíduo granulado [2, 5].
- **Próximas etapas:** validar o tratamento com NaOH em cimento Portland e medir reologia, extrudabilidade, construtibilidade e resistência.

Referências

[1] OLAIYA, B. C.; LAWAN, M. M.; OLONADE, K. A. Utilization of sawdust composites in construction — a review. SN Applied Sciences, v. 5, n. 5, 2023.
[2] KAVALIAUSKIENĖ, F. et al. Wood-waste-based artificial aggregates for extrusion 3D-printed cementitious composites. Materials, v. 19, n. 10, 2013, 2026.
[3] VARELA, H.; BARLUENGA, G.; SONEBI, M. Evaluation of basalt fibers and nanoclays to enhance extrudability and buildability of 3D-printing mortars. J. Build. Eng., v. 97, 110776, 2024.
[4] GARSHASBI, S. et al. Sustainable production of 3D concrete printing using agricultural waste fibers. Scientific Reports, v. 15, 38189, 2025.
[5] BUTKUTĖ, K.; VAITKEVIČIUS, V.; ADOMAITYTĖ, F. Eco-friendly 3D-printed concrete made with waste and organic artificial aggregates. Materials, v. 17, n. 13, 3290, 2024.
[6] MOHAN, M. K. et al. Extrusion-based concrete 3D printing from a material perspective: a state-of-the-art review. Cem. Concr. Compos., v. 115, 103855, 2021.
[7] ROUSSEL, N. Rheological requirements for printable concretes. Cem. Concr. Res., v. 112, p. 76-85, 2018.
[8] DAMAS, T. S. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do compósito cimento-madeira utilizando farinha de madeira Pinus. Dissertação (Mestrado) — UTFPR, 2024.
[9] PERROT, A.; RANGEARD, D.; PIERRE, A. Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques. Mater. Struct., v. 49, p. 1213-1220, 2016.
[10] ASANTE, B. et al. Influence of wood pretreatment, hardwood and softwood extractives on the compressive strength of fly ash-based geopolymer composite. J. Mater. Sci., v. 58, p. 5625-5641, 2023.