

Estudo da Correlação entre Parâmetros de Impressão e Resistência à Flexão em Peças Fabricadas com Impressora 3D FDM

Bruna Savi Tonelli | bruna.savi@ifsc.edu.br¹
Heron Warmling Canani | heron.w2009@aluno.ifsc.edu.br²
Jean Victor Garbin Sbardella | jean.vgs@aluno.ifsc.edu.br³
Lucas de Souza Roque | lucas.r2010@aluno.ifsc.edu.br⁴

DG-TUB 04/2025/Câmpus Tubarão - Programa de apoio à pesquisa do câmpus Tubarão
Trabalho de Pesquisa
DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo: Este trabalho investiga a influência de parâmetros de impressão 3D na resistência à flexão de peças produzidas em PLA, considerando que configurações padronizadas nem sempre resultam em propriedades mecânicas adequadas. O estudo foi conduzido a partir de uma revisão bibliográfica e de ensaios experimentais. Foram analisadas 12 combinações de parâmetros, envolvendo duas espessuras de camada (0,2 mm e 0,3 mm), duas temperaturas de impressão (190°C e 220°C) e três níveis de preenchimento (30%, 50% e 80%). Os corpos de prova foram fabricados conforme a norma ASTM D790 e submetidos a ensaios de flexão. Os resultados indicaram que o percentual de preenchimento é o fator mais significativo na resistência à flexão, sendo que amostras com 80% apresentaram os melhores desempenhos. A temperatura de impressão mostrou influência relevante apenas em baixos níveis de preenchimento, enquanto a espessura de camada apresentou impacto reduzido, embora valores maiores tenham favorecido a produtividade.

Palavras-chave: manufatura aditiva; impressão 3D; PLA; resistência à flexão; parâmetros de impressão

Introdução

Usuários e fabricantes de impressoras 3D, em muitos casos, utilizam configurações padronizadas que não necessariamente resultam em peças com propriedades mecânicas adequadas às exigências de uso. Essa limitação dificulta a otimização do processo de fabricação e a aplicação segura e eficiente de peças impressas em projetos de engenharia.

Diante disso, torna-se necessário investigar como variações em parâmetros de impressão influenciam diretamente a resistência à flexão de peças impressas em PLA,

¹ Servidora professora de fabricação mecânica do IFSC Tubarão.

² Estudante do curso Técnico Integrado em Automação Industrial do IFSC Tubarão.

³ Estudante do curso Técnico Integrado em Automação Industrial do IFSC Tubarão.

⁴ Estudante do curso Técnico Integrado em Automação Industrial do IFSC Tubarão.

com o objetivo de gerar dados que orientem a produção de componentes com maior confiabilidade estrutural.

Fundamentação teórica

A manufatura aditiva, ou impressão 3D, é um processo de fabricação de objetos tridimensionais caracterizado pela adição de camadas sucessivas de um material a partir de um modelo geométrico 3D originado por um sistema de desenho assistido por computador (Volpato, 2017). Este processo se tornou um grande auxiliador na fabricação de objetos tridimensionais, com aplicações na prototipagem e desenvolvimento de produtos, fabricação de ferramental e fabricação final direta, difundindo-se em diversos setores da economia.

Atualmente existem diversas tecnologias de manufatura aditiva aplicadas aos mais diversos tipos de materiais: polímero, metais e cerâmicos. O processo denominado Fused Deposition Modeling (FDM) é o estudado neste projeto, e é caracterizado por depositar um material termoplástico - polímero - na forma de um filamento, que é obtido pelo princípio da extrusão (aquecimento em torno de 200°C) em um bico calibrado, camada após camada (Volpato, 2017). Trata-se de um processo popular dentre as tecnologias de manufatura aditiva por aliar simplicidade, baixo custo e possuir código de fonte aberto, o que facilita seu projeto e construção.

O PLA (Poliácido Láctico), material escolhido para este trabalho, hoje é o mais aplicado nos estudos com o processo FDM, pois apresenta facilidade de processamento comparado aos demais materiais, disponibilidade no mercado, é biodegradável e apresenta características mecânicas semelhantes ao ABS, material que era até então mais utilizado (Domingos, 2022).

A impressão 3D, embora represente uma revolução na manufatura digital, enfrenta diversos desafios técnicos, operacionais e ambientais que impactam diretamente a qualidade e a eficiência do processo. Cuan-Urquizo (2019) diz que entre os principais entraves estão os parâmetros de impressão: percentual e padrão de preenchimento, orientação de construção e preenchimento, espessura do contorno, distância entre camadas, temperatura de extrusão e da mesa e velocidade de impressão.

Para produção de um protótipo, muitas vezes o usuário utiliza os parâmetros padronizados pelo fabricante da impressora. No entanto, faltam informações que relacionam os parâmetros de impressão e a resistência mecânica dos protótipos impressos. O comportamento mecânico de um material reflete a relação entre a sua resposta ou deformação a carga ou força aplicada (Callister; Rethwisch, 2024).

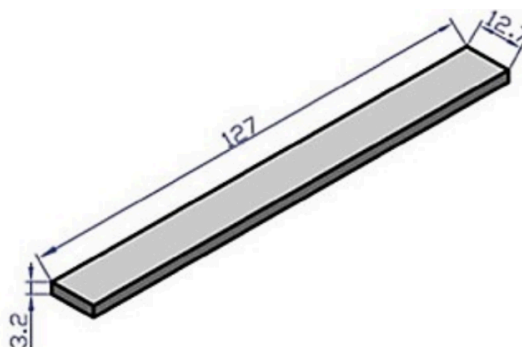
Diante disto, a justificativa deste projeto se baseia no conhecimento de como a variação de parâmetros de impressão (temperatura de impressão, percentual de preenchimento e espessura de camada) irá impactar na resistência a flexão da peça, já que faltam informações da relação dos parâmetros selecionados com a resistência do objeto, visando a fabricação de peças com melhor desempenho mecânico.

Procedimentos metodológicos

Inicialmente, o projeto seguiu um estudo bibliográfico, para conhecimento da temática pelos bolsistas, e definição dos parâmetros que seriam analisados. Os parâmetros avaliados foram: espessura de camada de 0,2 mm e 0,3 mm, a temperatura de impressão de 190°C e 220°C, e percentual de preenchimento de 30%, 50%, 80%.

Os corpos de prova seguiram as dimensões da Figura 1, projetado em *SolidWorks*, e sua fabricação na impressora Creality Ender-3. Foram impressas três amostras por conjunto de parâmetros (12 combinações que serão apresentadas nos resultados).

Figura 1– Projeto mecânico básico corpo de prova para ensaio de flexão



Fonte: elaborada pelo autor no SolidWorks (2025)

Os ensaios de flexão foram realizados de acordo com a norma ASTM D790, que engloba todos os métodos de teste para um ensaio de flexão, em uma máquina EMIC

DL30000N, utilizando a distância entre apoios de 60 mm e velocidade de aplicação de força de 1,5mm/min e célula de carga de 500 kgf. A tensão sobre o corpo ia aumentando conforme o tempo até a sua ruptura, onde foram medidas: carga de ruptura (N) e tensão máxima (MPa).

Resultados e discussões

As combinações de parâmetros e os valores obtidos para tensão de flexão nos ensaios são apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 - Resultado ensaios de flexão

				Tensão de flexão (MPa)			
	% preenchimento	espessura da camada (mm)	temperatura impressão (°C)	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Média
CP1	30	0,2	190	59,66	59,14	60,44	59,66
CP2	30	0,3	190	58,45	47,57	57,3	57,3
CP3	30	0,2	220	16,92	14,49	13,48	14,49
CP4	30	0,3	220	10,87	13,5	55,11	13,5
CP5	50	0,2	190	68,83	75,63	74,28	74,28
CP6	50	0,3	190	66,7	72,8	62,18	66,7
CP7	50	0,2	220	69,39	69,13	72,05	69,39
CP8	50	0,3	220	63,2	65,02	76,05	65,02
CP9	80	0,2	190	97,44	86,76	89,42	89,42
CP10	80	0,3	190	93,37	98,23	81,41	93,37
CP11	80	0,2	220	89,51	110,62	86,97	89,51
CP12	80	0,3	220	82,12	96,67	90,96	90,96

Fonte: elaborada pelo autor a partir dos ensaios realizados (2025)

Podemos observar que a combinação de parâmetros que teve melhor desempenho neste ensaio foi CP10: temperatura de impressão 190°C, espessura de camada 0,3 mm e percentual de preenchimento 80%.

O grupo de amostras (CP9, CP10, CP11 e CP12) com 80% de preenchimento obteve melhores resultados comparado aos demais ensaios, logo, podemos afirmar, assim como Galina *et al.* (2018) e Mansor *et al.* (2026) , que quanto maior este valor,

maior o desempenho mecânico, pois temos mais material depositado, maior densidade, rigidez e capacidade do material suportar cargas e tensões.

A temperatura de impressão mostrou influência relevante apenas em baixos níveis de preenchimento (CP1, CP2, CP3, CP4), onde temperaturas mais elevadas resultaram em redução acentuada da resistência mecânica, fora dos resultados esperados neste ensaio. Isso pode ser atribuído a alguma condição no processo de fabricação destas peças, pois a condição de ensaio não varia, já que todos os testes de flexão foram realizados no mesmo dia, mesmos parâmetros e mesma pessoa. Para as demais combinações de parâmetros podemos observar que a temperatura de 190°C foi um pouco maior, mas sem muito impacto.

Quanto à espessura de camada, esta teve influência menor e não totalmente consistente, mas o melhor resultado de ensaio foi alcançado com espessura de camada 0,3 mm. No grupo de peças impressas com 80% de preenchimento, nas duas condições onde se utilizou 0,3 mm se obteve maior resistência à flexão. A vantagem de se utilizar este valor é que se consegue menor tempo de impressão - maior produtividade. Segundo autores como Volpato (2017) e Galina *et al.* (2018) a menor espessura de camada tende a favorecer uma melhor adesão entre camadas, reduzindo descontinuidades estruturais e contribuindo para uma distribuição mais uniforme das tensões. Entretanto, no presente estudo, esse efeito não foi suficientemente pronunciado para gerar variações significativas nos resultados.

Considerações finais

Podemos verificar que o percentual de preenchimento é o fator mais significativo na resistência à flexão de corpos de prova em PLA, apresentando aumento expressivo da tensão máxima com o incremento do preenchimento. A temperatura de impressão demonstrou uma interferência moderada, com melhores resultados obtidos a 190 °C. A espessura de camada, no intervalo estudado, apresentou influência limitada na resistência à flexão do PLA, não sendo considerada um parâmetro crítico para a otimização mecânica do material. As maiores dificuldades encontradas foram o tempo para execução e expansão do ensaio, como para uma análise estatística mais confiável - maior números de ensaios.



Referência ao fomento recebido

Agradecimentos ao fomento para compra de materiais e utensílios ao IFSC câmpus Tubarão pelo apoio concedido no edital DG-TUB 04/2025/Câmpus Tubarão - Programa de apoio à pesquisa do câmpus Tubarão.

Referências

VOLPATO, Neri (org.). **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Blucher, 2017. 400 p. ISBN 9788521211501.

DOMINGOS, Caroline Maciel. **Análise Comparativa das Propriedades do Políácido Láctico (PLA) de Fornecedores Distintos para Aplicações em Manufatura Aditiva: Uma avaliação dos parâmetros de impressão na busca da otimização do processo de impressão 3D via Fabricação Filamento Fundido (FFF)**. 2022. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2022.

CUAN-URQUIZO, Enrique; et. al. Characterization of the Mechanical Properties of FFF Structures and Materials: a review on the experimental, computational and theoretical approaches. **Materials**, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 895, 18 mar. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ma12060895>.

CALLISTER JUNIOR, William D.; RETHWISCH, David G. **Fundamentos da ciência e engenharia dos materiais**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

GALINA, Dielyson Martins; GARCIA, Davi Pereira; MAZIERO, Rômulo; ZANCANELLA, Antonio Carlos Barbosa; CASTRO, Bruno Dorneles de; RUBIO, Juan Carlos Campos. Influência da espessura de camada de impressão 3D nas propriedades mecânicas de peças fabricadas com o copolímero ABS. **Revista Iberoamericana de Polímeros y Materiales**, v. 19, n. 3, p. 116–127, maio 2018.

MANSOR, Khalida K.; SHABEEB, Alaa H.; HUSSEIN, Emad A.; ABBAS, Tahseen F.; BEDAN, Aqeel S. A statistical investigation and prediction of the effect of FDM variables on flexural stress of PLA prints. **Tikrit Journal of Engineering Sciences**, v. 31, n. 3, p. 10–17, 2024. Disponível em: <http://doi.org/10.25130/tjes.31.3.2>. Acesso em: 6 abr. 2026.