ANÁLISE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE PEÇAS IMPRESSAS EM 3D

Wagner André Gambi Orlando (PIBIC/UEM), Gustavo Sanguino Dias (Orientador).
E-mail: ra128113@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Engenharia Mecânica / Análise de Tensões

Palavras-chave: manufatura aditiva; ensaios mecânicos; poliácido láctico.

RESUMO

A manufatura aditiva tem se consolidado como uma tecnologia promissora nos processos produtivos atuais, destacando-se o poliácido láctico (PLA) como um dos insumos renováveis mais utilizados por sua elevada estabilidade dimensional e versatilidade. No entanto, visto que o comportamento do material pode ser significativamente impactado pela vasta gama de variáveis do processo, este estudo investigou o impacto dos parâmetros de fatiamento (densidade, número de camadas laterais, orientação de impressão e tipo de preenchimento) na resistência mecânica de peças em PLA submetidas a ensaios normatizados de tração, flexão e compressão em uma máquina EMIC DL10000. Constatou-se que o aumento da densidade de preenchimento e da quantidade de camadas de contorno promove um crescimento linear na resistência mecânica em todas as modalidades de ensaio pelo ganho de área efetiva da seção transversal. Nos testes de tração e flexão, a orientação na posição lateral garantiu desempenho superior ao alinhar longitudinalmente os filamentos aos vetores de tensão, enquanto na compressão a variação da geometria de preenchimento exerceu papel secundário perante a massa total depositada na estrutura. Dessa forma, conclui-se que o desempenho mecânico do componente impresso em 3D não depende exclusivamente da matéria-prima, sendo fortemente modulado pelo ajuste estratégico das variáveis de fabricação.

INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva, processo de fabricação que consiste na adição de material em camadas, tem se consolidado como uma tecnologia sustentável de transformação nos processos produtivos atuais na demonstração de um crescimento acelerado e de perspectivas promissoras.

Neste contexto, cabe mencionar que o poliácido láctico (PLA) representa um dos insumos mais consolidados para a manufatura aditiva. De origem renovável e derivado de fontes como amido de milho e raízes, o polímero combina elevada estabilidade dimensional e ampla versatilidade de aplicação.

No entanto, apesar de ser um material consolidado, a vasta gama de parâmetros construtivos do processo pode impactar o desempenho final da peça. Nesse contexto, como o principal objetivo do presente estudo, torna-se relevante

investigar e compreender de que maneira essas variáveis de impressão afetam a resistência mecânica dos componentes, sob a hipótese de que o comportamento estrutural não seja determinado exclusivamente pela matéria-prima.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios mecânicos de tração, compressão e flexão foram conduzidos em conformidade com as normas ASTM D638, ASTM D695 e ASTM D790, respectivamente. Tais diretrizes estabeleceram as dimensões, a geometria e a amostragem de cinco corpos de prova por condição testada, garantindo a comparabilidade e a representatividade estatística dos resultados.

Como parte do procedimento experimental, todos os testes foram executados com o uso da máquina universal EMIC DL10000 programada e adaptada em conformidade com os requisitos propostos pelas condições normatizadas. Em adição, para a caracterização mecânica das amostras, foram selecionados quatro parâmetros principais de impressão, cujas variáveis de análise estão sintetizadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros escolhidos para a realização dos ensaios.

Densidade de preenchimento (Todos)	Orientação de impressão (Tração e Flexão)	Número de camadas (Todos)	Tipo de preenchimento (Compressão)
25%	Vertical	2	Giroide
50%	45°/-45°	9 (11 para tração)	Grade
75%	0°/90°	16 (20 para tração)	Colmeia
100%	Lateral	--	--

Conforme exposto pela Tabela 1, a densidade de preenchimento e o número de camadas foram avaliados em todos os ensaios. Especificamente para o número de camadas, referente aos contornos laterais, variou de 2 até o limite máximo necessário para o preenchimento integral da seção transversal do corpo de prova.

Por sua vez, a orientação de impressão contemplou apenas os ensaios de tração e flexão, optando-se por omiti-la da compressão devido à reduzida influência da orientação do arranjo de camadas frente a solicitações compressivas. Por fim, por sua vez, a variação no tipo de preenchimento (giroide, grade e colmeia) teve sua influência investigada exclusivamente nos ensaios de compressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a execução dos ensaios, os dados brutos de força e deslocamento foram processados para a construção das curvas de tensão por deformação. Por meio desses diagramas, tornou-se possível determinar algumas propriedades mecânicas fundamentais do material, tais como módulo de elasticidade, limites de escoamento e de resistência, tenacidade, deformação máxima e tensão de fratura.

Embora todos os parâmetros mecânicos tenham sido avaliados, optou-se por destacar os dados de limite de resistência à tração (LRT), à compressão (LRC) e à flexão (LRF), apresentados, respectivamente, pelas Figuras 1, 2 e 3. Essa escolha fundamenta-se no fato de o limite de resistência indicar a tensão máxima suportada pelo material, constituindo a propriedade mais representativa para evidenciar, de forma clara e comparativa, o impacto direto das variáveis de impressão no desempenho estrutural das amostras.

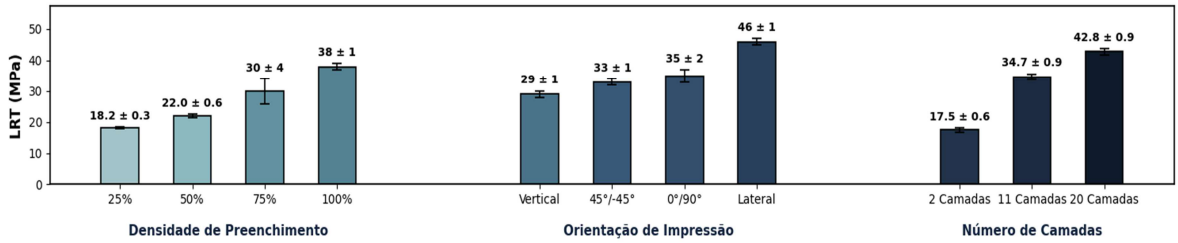


Figura 1 – Limite de resistência à tração em função dos diferentes parâmetros construtivos.

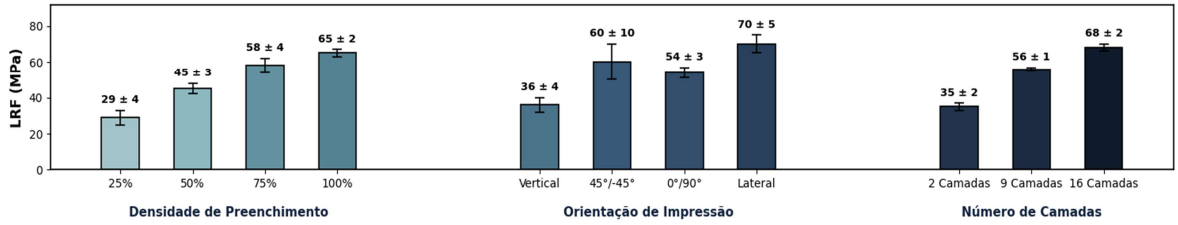


Figura 2 – Limite de resistência à flexão em função dos diferentes parâmetros construtivos.

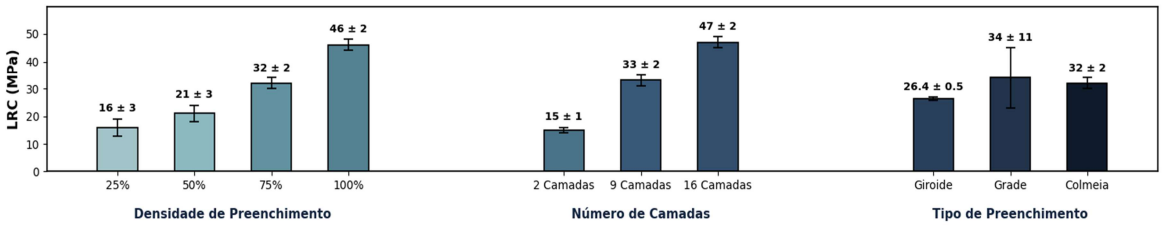


Figura 3 – Limite de resistência à compressão em função dos diferentes parâmetros construtivos.

De maneira geral, a análise conjunta dos resultados revela uma tendência de crescimento predominantemente linear em todas as propriedades mecânicas avaliadas à medida que se aumentam a densidade de preenchimento e o número de camadas, conforme os estudos de Gonabadi, Yadav e Bull (2020) e de Tasdemir (2024). Esse comportamento deve-se ao incremento direto da área efetiva de seção transversal resistente, permitindo maior absorção de carga antes do colapso.

A respeito do parâmetro de orientação de impressão, a disposição na posição lateral apresentou o desempenho mecânico superior tanto na tração (46 MPa) quanto na flexão (70 MPa). Conforme esperado, essa superioridade decorre do alinhamento longitudinal dos filamentos em relação ao vetor do esforço aplicado como uma condição estrutural que minimiza a tensão de cisalhamento entre as camadas.

Em seguida, na análise sobre o tipo de preenchimento, foram obtidos resultados médios próximos entre os padrões giroide (26,4 ± 0,5 MPa), grade (34 ± 11 MPa) e colmeia (32 ± 2 MPa). Mesmo apesar da alta dispersão observada para o conjunto grade, essa similaridade no comportamento global indica que, em ensaios compressivos, a topologia de malha exerce pouca influência mecanicamente.

Em adição, as altas dispersões observadas nos conjuntos grade (compressão) e 45° (flexão) são atribuídas a pontuais inconsistências na fabricação dos corpos de prova ou a flutuações do ensaio, visto que se manteve a padronização experimental.

Por fim, os resultados obtidos no presente estudo para os ensaios de tração, flexão e compressão apresentaram valores próximos aos encontrados por Pino *et al*. (2026), confirmando a reprodutibilidade e a coerência dos dados.

CONCLUSÕES

O estudo conclui que a resistência mecânica do PLA é fortemente modulada pelos parâmetros de impressão. De modo evidente, constatou-se que o aumento da densidade e do número de camadas laterais eleva o desempenho de forma linear em todos os ensaios, dado o incremento da área de seção transversal resistente. Para as solicitações de tração e flexão, a orientação na posição lateral favorece os resultados ao alinhar os filamentos diretamente com os vetores de esforço principal.

Por fim, tornou-se possível notar que a quantidade de material depositada rege a resistência à compressão, uma vez que a geometria do padrão de preenchimento exerceu pouca influência nesta modalidade de solicitação mecânica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento concedido através da bolsa de iniciação científica, e ao meu orientador, Prof. Dr. Gustavo Sanguino Dias, pelo incentivo à pesquisa e pela confiança em mim depositada para contribuir com o avanço da ciência paranaense.

REFERÊNCIAS

GONABADI, H.; YADAV, A.; BULL, S. J. **The effect of processing parameters on the mechanical characteristics of PLA produced by a 3D FFF printer**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, [s. l.], v. 111, p. 695–709, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s00170-020-06138-4.

PINO, Gilberto Garcia del *et al.* Análise comparativa das propriedades mecânicas dos materiais mais utilizados em impressão 3D através de ensaios de tração, flexão e compressão. **Peer Review**, v. X, n. XX, p. 1541-1389, 2026. DOI: 10.53660/PRW-2760-5015.

TAŞDEMİR, Vedat. Investigation of the Effects of the Number of Shells, Raster Angle, Extrusion Ratio, and Path Width on Printed Polylactic Acid Parts with Fused Deposition Modeling 3D Printer. **Journal of Materials Engineering and Performance**, v. 33, p. 11888–11898, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s11665-024-09863-z.