

DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS IMPRESSOS EM 3D PARA A CONFEÇÃO DE ÓRTESES E PRÓTESES

Caio Sottovia Gomide, Gustavo Aparecido Pita Baggio, Matheus Piazzalunga Neivock

Instituto Federal de Mato Grosso do Sul – *Campus* Campo Grande, MS.

caio.gomide@estudante.ifms.edu.br; gustavo.baggio@ifms.edu.br; matheus.neivock@ifms.edu.br.

Resumo

O movimento *Maker*, enraizado no conceito "Faça você mesmo", foi alimentado por avanços tecnológicos e pela internet, capacitando indivíduos a criar, modificar e reparar objetos. Um ponto chave para esse movimento é a impressora 3D, em especial a tecnologia de moldagem por deposição fundida (FDM), popularizada em 2004. Com as expirações de patentes em 2009, a FDM tornou-se acessível, encontrando aplicações na fabricação de dispositivos ortopédicos e protéticos. A presente pesquisa explora a relação entre parâmetros de impressão (temperatura, velocidade, densidade de preenchimento, ângulo, fabricante, software de fatiamento) e as propriedades mecânicas, particularmente a resistência à tração, dos produtos impressos em 3D. Embora em andamento, esta pesquisa enfatiza a importância de entender as propriedades mecânicas para dispositivos ortopédicos e protéticos impressos em 3D. Resultados preliminares indicam variações significativas entre os fabricantes de filamentos de PLA, onde o fabricante A apresenta de maneira consistente um desempenho melhor para valores de tensão máxima e para a tensão de escoamento. Além disso, a escolha do software de fatiamento (*Slicer*) afeta significativamente os resultados mecânicos, onde o *Slicer 1* supera o *Slicer 2*. As percepções obtidas, incluindo configurações recomendadas, como uma temperatura de 210 ° C, a velocidade de impressão de 40 mm/s, a densidade de preenchimento de 60%, o ângulo de impressão de 45 ° e o uso do *Slicer 1* com material do fabricante A, mantém implicações valiosas para otimizar impressão de PLA.

Palavras-chave: Impressão 3D, Órteses, Próteses, Propriedades Mecânicas.

Introdução

O movimento *Maker*, originado no conceito "Faça Você Mesmo" (DIY) e popularizado após a Segunda Guerra Mundial, evoluiu com o apoio da internet e inovações tecnológicas e continua a promover a autonomia das pessoas para construir, modificar e consertar coisas. Impulsionado por uma geração imersa na tecnologia, esse movimento está em ascensão, evidenciado pelo surgimento de *startups* relacionadas.

Um equipamento chave nessa tendência é a impressora 3D, cujo desenvolvimento começou na década de 1980. A técnica *Fused Deposition Modeling* (FDM), popularizada em 2004 pelo projeto RepRap, desempenhou um papel fundamental.

Com a queda de patentes em 2009, a tecnologia FDM se tornou acessível. Essas impressoras, particularmente as FDM, têm aplicações amplas, incluindo na fabricação de órteses e próteses. Este projeto foca em avaliar a correlação entre parâmetros de impressão (como velocidade, diâmetro do bico, temperaturas, tipos de material, direção de impressão, velocidade, preenchimento, fabricante do material e equipamento de impressão) e as propriedades mecânicas do produto impresso, em especial, a resistências à tração.

Metodologia

Neivock e Nogueira (2022) demonstraram que apesar de existirem inúmeras normas técnicas para a determinação das propriedades mecânicas de materiais poliméricos, poucas se aplicam com eficácia aos materiais poliméricos impressos em 3D.

Este trabalho irá avaliar a influência dos parâmetros de impressão: Temperatura, Velocidade, Preenchimento, Ângulo de impressão, Fabricante e Fatiador, realizando ao menos 2 variações para cada um destes, com a confecção de ao menos 10 Corpos de Prova (CP) para cada uma das variações estudadas. O que resulta em cerca de 120 CP para cada grupo de estudo.

Será avaliado o comportamento de 4 materiais e/ou fabricantes, o que irá resultar em cerca de 480 CP para as variações estudadas. Todos os CP serão rompidos seguindo as especificações técnicas da norma ASTM D638 - *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics* (2014), utilizando como referência o CP do Tipo I, e na sequência terão suas propriedades mecânicas levantadas, tabuladas em gráficos e tabelas para possibilitar sua análise e comparações diretas.

A impressora 3D utilizada neste estudo foi a Creality Ender 3 V1, versão de fábrica sem nenhuma modificação. A extrusão é do tipo *Bowden* com garganta tipo *bore* 4,1mm. O *firmware* da impressora é Ender-3-V4.2.2, e o sistema operacional é o Marlin 2.0.1 - V1.0.1. Todas as impressões foram realizadas pelos bolsistas deste projeto no Laboratório de Materiais do IFMS *Campus* Campo Grande.

Como os parâmetros de impressão mudam ao longo do projeto, pois este, é, inclusive um de seus objetos de estudo, é complicado estabelecer um parâmetro único de impressão. Contudo, utilizou-se um padrão genérico de impressão e quando a variável de impressão era estudada, apenas ela foi alterada, mantendo todos os demais inalterados, Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros padrão de impressão.

Material de impressão	PLA
Diâmetro do filamento	1,75 mm
Velocidade de impressão	60 mm/s
Temperatura da mesa	60°C
Temperatura do bico	200°C
Diâmetro do bico	0,4 mm
Altura da camada	0,2 mm
Largura da camada	0,4 mm
Número de camadas superior	3
Número de camadas inferior	3
Número de perímetros	3
Preenchimento	20%
Ângulo de impressão	45° / -45°
Software de fatiamento	Simplify 3D

Fonte: Autores, 2023.

Resultados e Análise

O projeto ainda está em execução e os resultados apresentados ainda são parciais e necessitam de revisão e/ou contraprova, contudo, já é possível identificar fortes indícios de comportamento e tendência em todas as variações estudadas.

Para todo o estudo envolvendo variações de parâmetros, foram utilizados sempre o material PLA do Fabricante A, pois no estudo inicial de comparação de propriedades mecânicas, apresentou os maiores valores. A Tabela 2, apresenta os resultados das propriedades mecânicas obtidas para 6 fabricantes.

Tabela 2 – Propriedades mecânicas obtidas para 6 diferentes fabricantes.

Fab.	Tensão Máxima (MPa)		Tensão de Escoamento (MPa)		Módulo de Elasticidade (GPa)	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
A	23,45	0,59	16,12	0,44	1,50	0,02
B	22,60	0,42	14,76	1,29	1,43	0,04
C	22,82	0,95	13,28	1,66	1,41	0,03
D	17,54	2,11	9,83	1,15	1,20	0,12
E	21,85	1,09	13,12	1,46	1,35	0,06
F	21,75	1,29	9,18	0,95	1,91	0,35

Fonte: Autores, 2023.

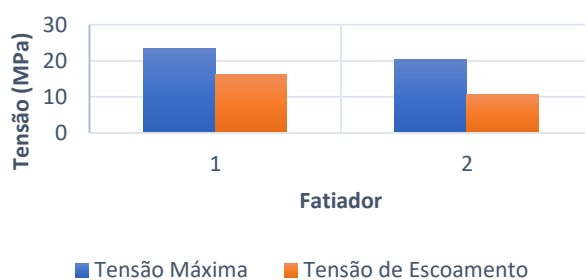
Como pode-se verificar existe uma variação entre todos os fabricantes analisados, ficando o Fabricante A com os maiores resultados tanto para tensão máxima como tensão de escoamento (23,45 e 16,12 MPa, respectivamente), o Fabricante F com o maior módulo de elasticidade registrado (1,91 GPa), o Fabricante D com o menor valor de tensão máxima e módulo de elasticidade (17,54 MPa e 1,20 GPa, respectivamente) e o Fabricante F com o menor valor de tensão de escoamento (9,83 MPa).

Essas variações podem ocorrer em função de inúmeros fatores como, por exemplo, qualidade de matéria prima, temperatura e velocidade de extrusão do filamento,

acondicionamento, enfim, vários aspectos devem ser levados em consideração para identificar a causa desta variabilidade. Contudo, fica claro que existem no mercado nacional fabricantes que possuem materiais com qualidade superior, ao menos quando aspectos mecânicos são levados em consideração e isto com certeza, dependendo da aplicação do usuário, pode trazer uma grande diferença aos seus produtos impressos.

Outros fatores como velocidade, preenchimento, temperatura e impressão também foram avaliados, entretanto, destaca-se a influência do fatiador, o *software* responsável pela conversão do arquivo digital tridimensional da peça em instruções para a impressora 3D, pois percebe-se que aparentemente os algoritmos utilizados nesta operação influenciam em todas as propriedades mecânicas, ficando o Fatiador 1 com os melhores resultados, obtendo tensão máxima de 23,45 MPa e tensão de escoamento de 16,12 MPa, enquanto que o Fatiador 2, obteve 23,36 MPa e 10,55 MPa respectivamente.

Influência do Fatiador



Fonte: Autores, 2023.

Considerações Finais

Como apresentado neste trabalho, já se obteve vários resultados e muitos outros ainda virão, uma vez que o projeto ainda não foi encerrado.

Fica clara a importância da determinação das propriedades mecânicas para a fabricação de próteses e órteses impressas em 3D, afinal, como claramente demonstrado, inúmeros são os fatores que podem causar alterações significativas no desempenho do material avaliado.

Como apresentado e de certa forma esperado, existem fabricantes que possuem um material com qualidade superior em relação às propriedades mecânicas, destacando-se o Fabricante A neste quesito. Contudo, outros fabricantes não tiveram um desempenho tão aquém e eventualmente, o custo para aquisição do material pode influenciar na escolha, ainda mais que este projeto pode-se transformar em uma proposta de trabalho de uma *startup*.

Baseando-se nos resultados preliminares, as condições mais adequadas para a impressão de PLA seriam temperatura de 210°C, com velocidade de 40 mm/s, preenchimento de 60 %, com ângulo de 45°, utilizando o Fatiador 1 e material do Fabricante A.

Referências

NEIVOCK, M. P.; NOGUEIRA, V. G. Determinação da resistência mecânica à tração de produtos impressos em 3D. PIBIC (Programa Institucional de Iniciação Científica e Tecnológico – IFMS, 2022.

TAKAGAKI, L. K. Tecnologia de Impressão 3D. RIT - Revista Inovação Tecnológica, São Paulo, v.2, n. 2, p.28-40, jul./dez. 2012

DETERMINATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF 3D PRINTED PARTS FOR THE MANUFACTURE OF ORTHOSES AND PROSTHESES

Abstract: *The Maker movement, rooted in the "Do It Yourself" ethos, has been fueled by technological advancements and the internet, empowering individuals to craft, modify, and repair objects. Central to this movement is the 3D printer, especially the Fused Deposition Molding (FDM) technology popularized in 2004. With patent expirations in 2009, FDM became accessible, finding applications in orthotic and prosthetic device manufacturing. This research explores the relationship between print parameters (temperature, speed, infill density, angle, manufacturer, slicer software) and the mechanical properties, particularly tensile strength, of 3D-printed products. Although ongoing, this research emphasizes the importance of understanding mechanical properties for 3D-printed orthotic and prosthetic devices. Preliminary findings indicate significant variations among PLA filament manufacturers, with Manufacturer A consistently performing better in maximum and yield stress. Additionally, the choice of slicer software significantly affects mechanical outcomes, with Slicer 1 outperforming Slicer 2. The insights gained, including recommended settings such as a temperature of 210°C, print speed of 40mm/s, 60% infill density, 45° print angle, and the use of Slicer 1 with material from Manufacturer A, hold valuable implications for optimizing PLA printing.*

Keywords: *3D Printing, Orthoses, Prostheses, Mechanical Properties.*