

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE FABRICAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE PEÇAS FABRICADAS EM PLA A PARTIR DA IMPRESSÃO 3D

GUSTAVO L. FORTI¹

¹Graduando em Engenharia de Controle e Automação, Bolsista PIBIC/CNPq, IFSP, Câmpus Hortolândia, forti.g@aluno.ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.05.03.01-9 Mecânica dos Corpos Sólidos, Elásticos e Plásticos

RESUMO:

A técnica de modelagem por deposição de material fundido ou FDM – *Fused Deposition Modeling*, também conhecida por FFF – Fabricação com Filamento Fundido, é o processo de manufatura aditiva mais utilizado em equipamentos de impressão 3D e consiste na fabricação de objetos pelo aquecimento e extrusão de um material em camadas sucessivas para formação do objeto conforme um modelo. A utilização de polímeros, como o poliláctico (PLA), como matéria-prima tem tornado a impressão 3D mais acessível, ao reduzir os custos dos equipamentos. Metamateriais são uma classe de materiais com propriedades especiais não encontradas naturalmente. Tais propriedades estão relacionadas ao projeto geométrico calculado, de forma que a estrutura tenha uma resposta desejável. A impressão 3D possibilita criar metamateriais variando-se parâmetros de fabricação e por consequência seus parâmetros físicos e estruturais. Este trabalho propõe o estudo das características mecânicas de metamateriais impressos em 3D em PLA com diferentes parâmetros de fabricação visando à obtenção de propriedades mecânicas otimizadas.

PALAVRAS-CHAVE: metamateriais; impressão 3D; manufatura aditiva; Fabricação com Filamento Fundido; poliláctico.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF MANUFACTURING PARAMETERS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF PLA PARTS MANUFACTURED BY 3D PRINTING.

ABSTRACT: The technique of Fused Deposition Modeling (FDM), also known as Fused Filament Fabrication (FFF), is the most widely used additive manufacturing process in 3D printing equipment. It involves creating objects by heating and extruding material in successive layers according to a digital model. The use of polymers, such as polylactic acid (PLA), as raw material has made 3D printing more accessible by reducing equipment costs. Metamaterials are a class of materials with unique properties not found in nature. These properties are related to a precisely calculated geometric design, enabling the structure to exhibit desirable mechanical responses. 3D printing allows for the creation of metamaterials by varying manufacturing parameters, thereby altering their physical and structural properties. This work proposes to study the mechanical characteristics of 3D-printed metamaterials made from PLA, with different manufacturing parameters, aiming at optimized mechanical properties.

KEYWORDS: metamaterials; 3D printing; additive manufacturing; Fused Filament Fabrication; polylactic acid.

INTRODUÇÃO

A Fabricação com Filamento Fundido (FFF) é um método de manufatura aditiva que constrói peças por meio da deposição de material em camadas (DOMINGOS, 2022). A conversão de arquivos tridimensionais de CAD para comandos numéricos ocorre através do formato STL, responsável por fatiar as geometrias do CAD para a impressão (MARTINEZ, 2019).

Segundo Magno (2020), um dos fatores críticos no processo de FFF é a definição dos parâmetros ideais de fabricação, pois esses parâmetros influenciam diretamente nas propriedades finais das peças, como o tempo de impressão, o custo de material e suas características mecânicas.

Metamateriais, por sua vez, são definidos como materiais que apresentam propriedades óticas, mecânicas, acústicas ou eletromagnéticas que não ocorrem naturalmente. Esses materiais são formados por estruturas denominadas "meta-átomos", cujas dimensões devem ser iguais ou menores que o comprimento de onda incidente, o que resulta em suas propriedades únicas (ASKARI, 2020).

Este trabalho propõe o estudo das características mecânicas de metamateriais impressos em 3D com diferentes parâmetros de fabricação para o levantamento da curva tensão-deformação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta etapa foi dividida em 4 seções, estudo inicial, manufatura, ensaios e tratamento de dados.

Estudo inicial

O procedimento implementado para analisar as propriedades mecânicas do material polimérico foi o ensaio de tração, com o intuito de avaliar a interação entre os parâmetros de impressão e seu impacto no desempenho da peça final. Utilizou-se o software de CAD OnShape para a modelagem do corpo de prova (Figura 1), com dimensões definidas conforme as especificações da norma ASTM D638, especificamente o corpo de prova tipo 1 descrito no tópico 6.

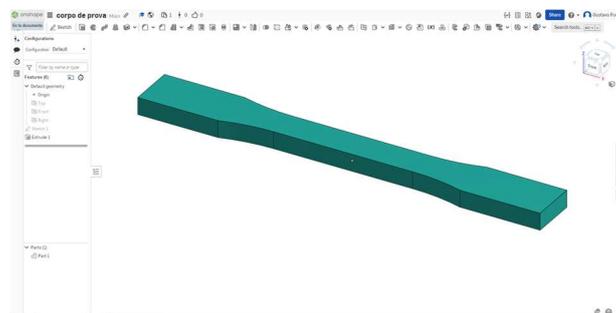


Figura 1: Corpo de prova modelado no software CAD OnShape.

Um estudo foi conduzido para identificar e tabelar os principais parâmetros a serem analisados. Após uma revisão da literatura, foram selecionados dois parâmetros-chave para variação no software de fatiamento: o padrão de preenchimento (geometria interna) e a espessura superior e inferior (espessura da região sólida no topo e na base da peça).

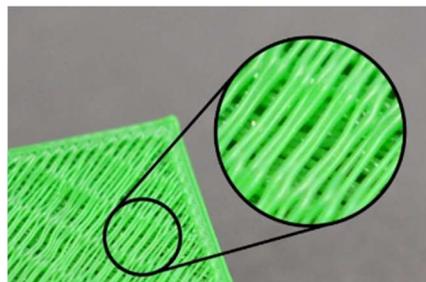


Figura 2: Demonstra camada sólida superior.

Foi gerado um modelo padrão de corpo de prova, com o qual os outros modelos foram comparados (ver Tabela 1 e Tabela 2). Inicialmente, planejavam-se cinco corpos de prova por variação, conforme a norma ASTM D638; no entanto, devido a falhas nos ensaios, foi decidido adotar três corpos de prova por variação.

Tabela 1. Variações dos Parâmetros de preenchimento dos corpos de prova fabricados.

Variação	Preenchimento
A (Padrão)	Grade
B	Octeto
C	Triângulos
D	Cúbico
E	Tri-hexagono
F	Giróide

Tabela 2. Variações dos Parâmetros de espessura superior e inferior dos corpos de prova fabricados.

Variação	Espessura Superior e Inferior (mm)
A (Padrão)	0.4
G	0.2
H	0.6
I	0.8
J	1.0

Manufatura

A impressora utilizada foi a GTMax Core A2V2, com volume de impressão de 220 x 220 x 240 mm e bico de 0,4 mm de diâmetro (GTMax3D, 2024). O filamento empregado foi PLA Gris Plomo da marca 3N3.

O software de fatiamento utilizado foi o Cura, configurado com espessura de camada de 0,2 mm, preenchimento de 20%, velocidade constante de impressão de 40 mm/s e com a temperatura da mesa em 65°C.

A Torre de temperatura é um método o qual é possível analisar qual a temperatura ideal a trabalhar com determinado material, portanto ela foi realizada e a partir dos resultados a temperatura do bico foi configurada em 215°C para as impressões dos corpos de prova.

Os corpos de prova foram manufaturados em pares e trios (figura 3), com a posição da costura (onde inicia a próxima camada) na direita.



Figura 3: 3 corpos de prova de preenchimento octeto durante o período de manufatura

Ensaio

A máquina universal de ensaios utilizada foi a EMIC DL30000 (EMIC, 2003), com célula de carga de 5 kN (modelo Z), extensômetro eletrônico digital EMIC (modelo EE04) e garras autotravantes (modelo GR052).

Os ensaios foram realizados durante o período de uma semana, com a preferência de que os agrupamentos de mesma variação fossem testados no mesmo dia. Foi decidido manter a sala refrigerada a 24°C 30 minutos antes e durante os ensaios de tração para a temperatura não interferir no resultado final. Antes de cada ensaio, todo corpo de prova era medido com um paquímetro para obter a área da seção estreita do corpo de prova e o comprimento inicial entre a distância das ponteiros do extensômetro, os ensaios foram realizados numa velocidade de 5 mm/min.



Figura 4: Corpo de prova submetido a ensaio de tração

Tratamento de Dados

Após os ensaios, todos os dados foram tratados pelo Excel, o qual converteu os dados da tabela que estavam em Força e Distância para Tensão e Deformação de acordo com as fórmulas:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Em que,

ε - Deformação, adimensional;

L_0 - Comprimento Inicial, mm;

ΔL - Variação do Comprimento, mm.

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Em que,

σ - Tensão, Pa;

A_0 - Área Inicial, m²;

F - Força, N.

Os resultados finais foram cuidadosamente processados no software de análise de dados Origin 2024b, no qual cada curva obtida nos ensaios de tração foi plotada individualmente. A partir das curvas correspondentes aos corpos de prova de mesma variação, foi gerada uma curva média representativa, que então possibilitou uma análise comparativa mais precisa entre as diferentes variações estudadas, conforme ilustrado nos Gráficos 1 e 2. Essa abordagem permitiu uma avaliação aprofundada do comportamento dos materiais, destacando as sutis variações e similaridades entre as amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios realizados com corpos de diferentes tipos de preenchimento apresentaram comportamentos similares. A inclinação das curvas similares sugere que o módulo de elasticidade dos metamateriais fabricados sofre pouca influência do tipo de preenchimento. O desvio observado na curva do preenchimento do tipo Tri-hexágono (rosa) pode indicar alguma falha no processo de fabricação mais

do que uma característica específica deste tipo de preenchimento e justifica a necessidade de realização de novos ensaios específicos.

De acordo com o Gráfico 1, há determinados padrões de preenchimentos capazes de prolongar a curvatura. Um preenchimento capaz de distribuir a tensão de forma igualitária ao longo do corpo de prova sugere que ele seja capaz de resistir a uma tensão e deformação mais elevada. O preenchimento octeto, cúbico e giróide demonstram serem superiores na distribuição de tensão ao longo do corpo de prova sem gerar acúmulo de tensões.

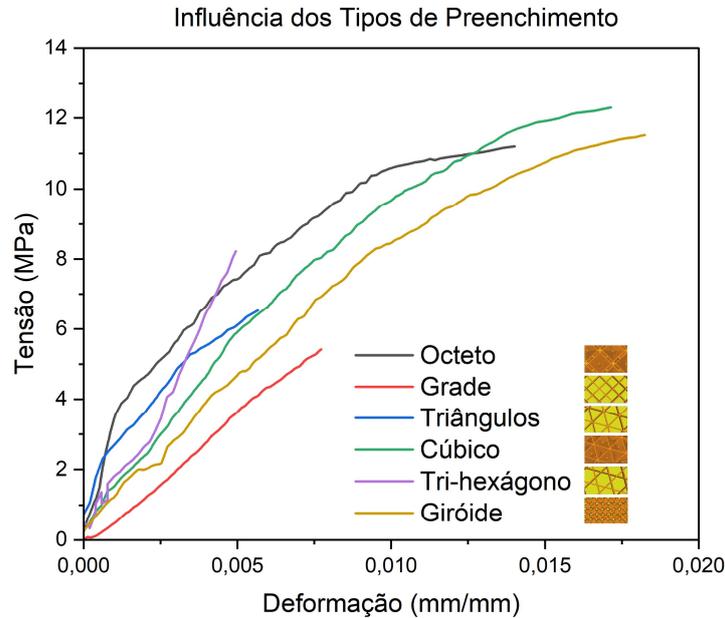


Gráfico 1: Diagrama Tensão-Deformação com Influência dos tipos de preenchimento.

Os ensaios realizados com corpos de prova com diferentes espessuras das camadas superiores e inferiores demonstram comportamentos distintos entre si. Ao aumentar esta espessura, a inclinação do gráfico e sua tensão máxima se elevam, enquanto a deformação máxima idealmente não altera. Os dados sugerem que quanto mais espessa seja a altura de camada superior e inferior, mais rígido será o material, ou seja, maior será o Módulo de Young.

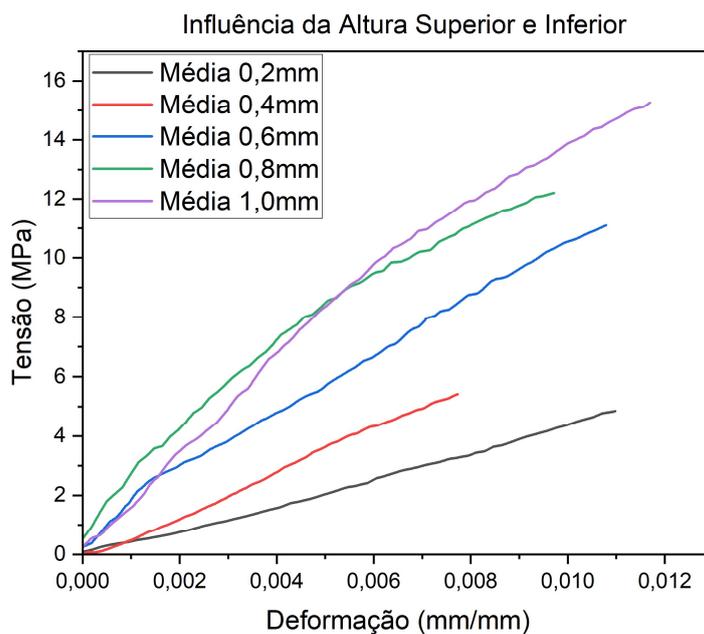


Gráfico 2: Diagrama Tensão-Deformação com Influência da altura de camada superior e inferior.

CONCLUSÕES

O trabalho demonstrou a influência dos parâmetros de impressão sobre as propriedades dos metamateriais, apresentando resultados satisfatórios para um estudo inicial. Esses resultados permitiram a comparação com as previsões teóricas.

No entanto, algumas curvas mostraram-se imprecisas e não apresentaram a curvatura esperada. Para um estudo futuro mais preciso de metamateriais, é recomendável utilizar um material base mais dúctil, como o Polietileno Tereftalato Glicol (PETG), para que as micro fraturas características de materiais frágeis não afetem drasticamente a pesquisa.

Desenvolvimentos Futuros: Nos próximos estudos, a variação dos parâmetros será analisada por métodos numéricos, visando a avaliação sob diferentes tipos de cargas e geometrias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que participaram deste projeto, especialmente ao meu orientador e aos demais professores que contribuíram para seu desenvolvimento, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

REFERÊNCIAS

ASKARI, M.; et al. **Additive manufacturing of metamaterials: A review**. Additive Manufacturing, v. 36, 2020.

ASTM – American Society for Testing Materials. **ASTM D638 – 10 – Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**. In: Annual Book of ASTM, 2014.

BARRIONI, T. T. N. **Análise numérica e caracterização hiperelástica de metamateriais mecânicos produzidos com impressão 3D: Simulações numéricas e ensaios com corpo de prova TPU para observação de parâmetros hiperelásticos**. 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/45945>.

DOMINGOS, C. M. **Análise comparativa das propriedades do poliacido 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.

EMIC. **Manual de apresentação: linha DL**. 3. ed. São José dos Pinhais, PR: EMIC, 2003.

GTMAX 3D. **Impressora 3D GTMax Core A2V2: especificações técnicas**. Disponível em: <http://www.gtmax3d.com.br/>. Acesso em: 9 set. 2024.

MAGNO, M. **Influência da densidade de preenchimento e do número de perímetros nas propriedades mecânicas de peças fabricadas em PLA a partir de impressão 3D**. v. 5, 2020.

MARTINEZ, A. C. P. et al. **Avaliação do comportamento mecânico dos polímeros ABS e PLA em impressão 3D visando simulação de desempenho estrutural**. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Carlos, v. 14, n. 1, p. 125-141, set. 2019.

SANTANA, L.; ALVES, J. L.; DA COSTA SABINO NETTO, A.; MERLINI, C. **Estudo comparativo entre PETG e PLA para impressão 3D através de caracterização térmica, química e mecânica**. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 23, dez. 2018.