



II CONGRESSO ESTADUAL DE ENGENHARIA  
MECÂNICA E INDUSTRIAL DE SERGIPE

## CORRELAÇÃO ENTRE FATOR DE PREENCHIMENTO E RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE PEÇAS PRODUZIDAS POR FDM

Matheus Henrique Lima Borges<sup>1</sup>, [borgesmh@academico.ufs.br](mailto:borgesmh@academico.ufs.br)

Irina Jacob Ribas<sup>2</sup>, [irinajr@academico.ufs.br](mailto:irinajr@academico.ufs.br)

Prof. Dr. José Kaio Max Alves do Rego<sup>3</sup>, [kaiomax@academico.ufs.br](mailto:kaiomax@academico.ufs.br)

Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marechal Rondon Jardim s/n - Rosa Elze, São Cristóvão - SE, 49100-000

<sup>1</sup> - Engenharia Mecânica | <sup>2</sup> - Engenharia de Materiais | <sup>3</sup> - Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais

**Resumo:** O processo de fabricação por manufatura aditiva tem revolucionado a indústria e o comércio de bens e serviços, parte em razão dos custos relacionados e parte em razão da ampla gama de aplicações. Um dos processos mais difundidos e com menor custo/benefício, utiliza a técnica de FDM, onde um polímero fundido é depositado com base em uma série de coordenadas tridimensionais. Utilizando-se de impressora 3D do tipo FDM, confeccionou-se CP para ensaios de tração e determinação de peso. Foi observado uma diferença nos pesos medidos para o estimado e valores de resposta a tração de forma crescente com o aumento da taxa de preenchimento. Sendo então, dependentes a diferença de peso e a resposta a tração da densidade de preenchimento.

**Palavras-chave:** Impressão 3D, FDM, PLA, ABS, ASTM D638.

### 1. INTRODUÇÃO

O processo de manufatura aditiva torna-se cada vez mais relevante em diversas aplicações, criando a possibilidade de fabricação de produtos dimensionáveis e com geometria complexa, este, consegue ter diversas aplicações. Com uma grande variedade de técnicas utilizadas para impressão 3D destaca-se a FDM (*Fused Deposition Modeling*), ocupando hoje a maior fatia do mercado por seu baixo custo de equipamento/insumos e maior facilidade de manuseio.(BARLETTA; GISARIO; MEHRPOUYA, 2021).

A crescente preocupação contemporânea com uma produção mais limpa, rápida e com menor custo, reflete diretamente no grande crescimento do mercado de impressão 3D. Fomenta também os estudos e criação de novas blendas poliméricas para a utilização em impressoras do tipo FDM, cada um com características físicas e químicas

diferentes, e possíveis aplicações (DORIGATO, 2021).

Entretanto, com um mercado tão aquecido e em constante e rápida evolução, a compreensão dos processos das consequências do processo de fabricação nos produtos (SAJAN; PHILIP SELVARAJ, 2021), tem enorme relevância e impacto para toda a possível aplicabilidade.

Desta forma, pretende-se apresentar um estudo relacionando a densidade de preenchimento (*infill*) com a massa e comportamento mecânico sob tração de amostras produzidas em impressoras 3D do tipo FDM.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Materiais

Neste experimento, foram utilizados filamentos de ABS (acrilonitrila-butadieno-estireno) da P3D e PLA (poliácido láctico) da 3D Fila, ambos sem pigmentos.

### 2.2. Métodos

Os corpos de prova (CP) foram fabricados, utilizando uma impressora 3D tipo FDM da *Creativity*, modelo *Ender 3* modificada com placa 32 bits da *Bigtreetech* modelo *SKR Mini E3V1.2*. As configurações de impressão utilizadas foram as sugeridas pelo fabricante. Todas as configurações de velocidade e construção foram iguais para os dois materiais, alterando apenas as temperaturas. As configurações são: altura de camada com 0,2 mm; velocidade de impressão de 50mm/s; quatro camadas de base e topo; quatro linhas de borda; preenchimento tipo giróide; temperatura de bico de impressão/ Mesa: 240 °C/100 °C para ABS e 200 °C/50 °C para PLA; fluxo de ar a 50% para o PLA e 0 % para ABS;

Foram preparados CP hexagonais para avaliar o impacto da densidade de preenchimento no peso final do produto. A **Figura 1** apresenta a geometria e medidas dos corpos de prova **Figura 2** e a prospecção de preenchimento em cada CP analisado.

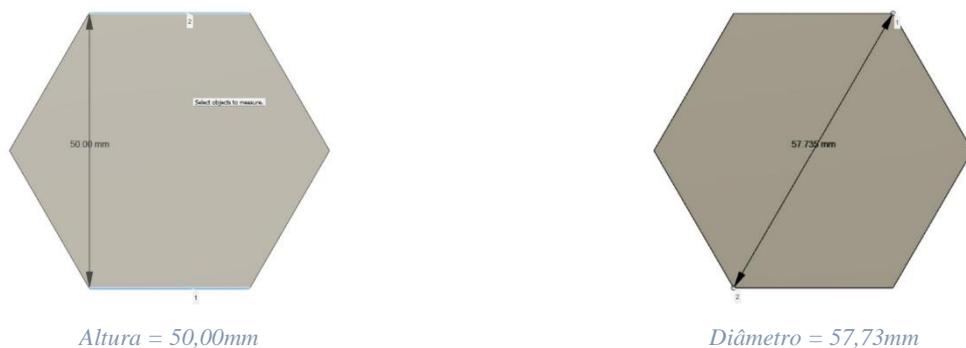


Figura 1 - Geometria de CP para teste de massa x preenchimento

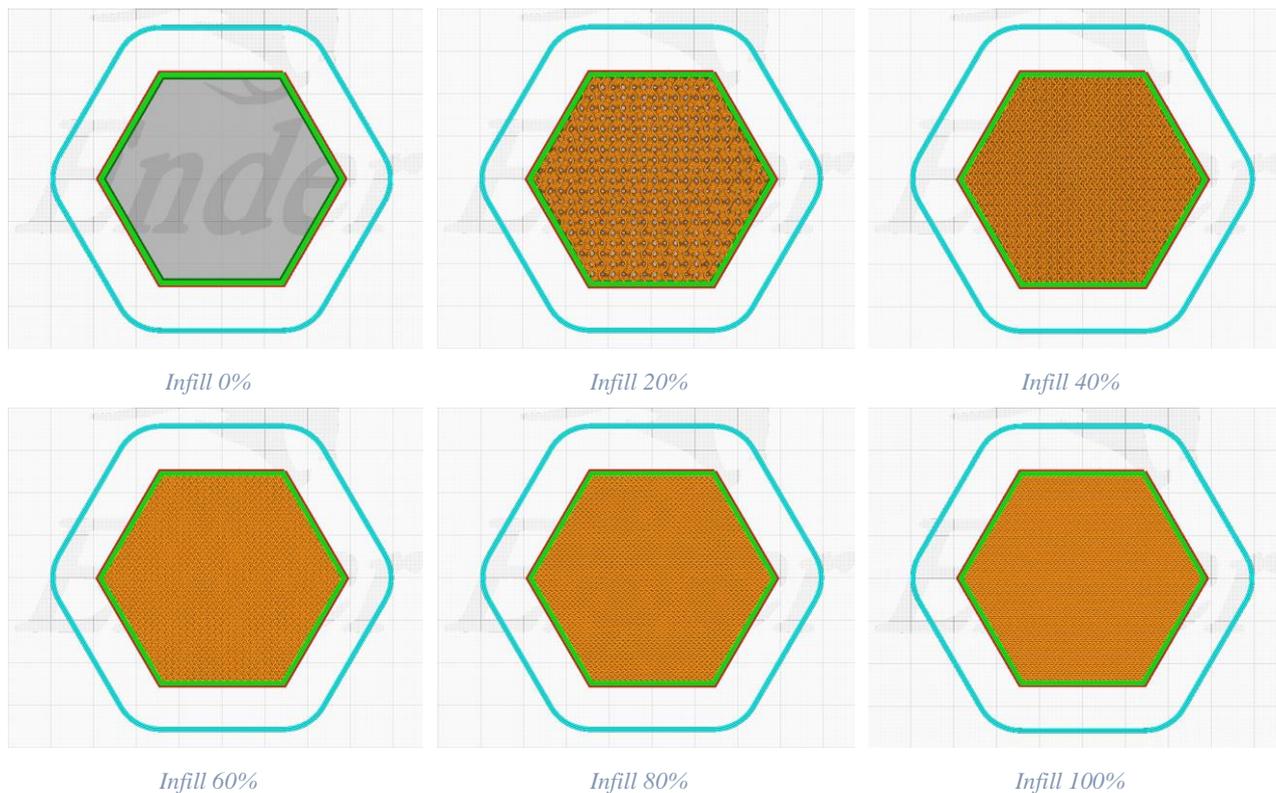


Figura 2 - Corpos de Prova Hexagonais com porcentagens de preenchimento aumentadas gradualmente.

Os CP para os testes de tração seguiram as instruções normativas da ASTM (*American Society for Testing and Materials*) D638 Tipo I (ASTM, 2012). Os modelos foram obtidos do repositório digital *Thingiverse* (THINGIVERSE, 2022). A porcentagem de *Infill* (Preenchimento) foi a variável livre utilizada no experimento, organizados em: 20 %, 40 %, 60 % e 80 %. Com 5 corpos de prova para cada *infill*, os corpos de prova foram agrupados da seguinte maneira, ABS (A, B, C, D) e PLA (E, F, G, H) respectivamente. Foi utilizada a Máquina Universal *Instron* modelo 3367 presente no Laboratório de Ensaio Mecânicos I (DCEM – UFS).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Relação de *Infill* com o Peso

Considerando as camadas inferiores e superiores e paredes externas como preenchimento total (100 %), o percentual de *infill* a qual o CP está sujeito é de 39,21 %, de um total de 9,314 cm<sup>3</sup>. Levando esses valores em consideração e a densidade para o ABS e PLA (1,04 e 1,24 g/cm<sup>3</sup>), a densidade e massa teóricas esperadas (DT e MT), e a densidade e massa obtidas (DM e MM) para os CP são:

Tabela 1 - Medida de massa dos corpos de prova para ensaio de impacto D638.

Amostra (%)	ABS				PLA			
	DT (g/cm <sup>3</sup> )	DM (g/cm <sup>3</sup> )	MT (g)	MM (g)	DT (g/cm <sup>3</sup> )	DM (g/cm <sup>3</sup> )	MT (g)	MM (g)
20	0,714	0,603	6,6481	5,6155	1,101	0,673	10,2532	6,2660

40	0,795	0,675	7,4077	6,2830	1,140	0,760	10,6225	7,0805
60	0,877	0,754	8,1673	7,0194	1,180	0,865	10,9918	8,0552
80	0,958	0,810	8,9269	7,5408	1,220	0,942	11,3612	8,7702

Estima-se que para ambos os materiais e em todos os casos, a diminuição da massa frente aos valores teóricos, na ordem de 12 à 20 %, deve-se a característica do filamento depositado. Mesmo utilizando-se de preenchimento máximo, é observado um espaço vazio entre as camadas e as linhas, provocando uma diminuição na massa e consequentemente da densidade do produto. Essa diminuição pode chegar a maior ou menor grau, baseando-se no tamanho e volume da peça impressa (EUN-HEE; HYUN-HEE; YEON-GIL, 2020; MAJID et al., 2020).

Para um estudo mais preciso da relação do peso e densidade com o *infill*, foram impressos CP em formato hexagonal e estimado a influência da parede (0 % - 1,167 cm<sup>3</sup>) e do corpo maciço (100 % - 10,826 cm<sup>3</sup>) sem as camadas de topo e base, no peso e densidade das amostras com preenchimento de 20, 40, 60 e 80 %.

Tabela 2 - Medida de massa frente a taxa preenchimento.

		ABS				PLA			
	Volume útil (cm <sup>3</sup> )	DT (g/cm <sup>3</sup> )	DM (g/cm <sup>3</sup> )	MT (g)	MM (g)	DT (g/cm <sup>3</sup> )	DM (g/cm <sup>3</sup> )	MT (g)	MM (g)
0%	1,167	0,112	0,110	1,2137	1,1902	0,134	0,136	1,4471	1,4759
20%	3,099	0,298	0,275	3,2230	2,9760	0,355	0,330	3,8428	3,5750
40%	5,031	0,483	0,430	5,2322	4,6539	0,576	0,504	6,2384	5,4525
60%	6,962	0,669	0,606	7,2405	6,5564	0,797	0,729	8,6329	7,8887
80%	8,894	0,854	0,732	9,2498	7,9276	1,019	0,884	11,0286	9,5683
100%	10,826	1,040	0,880	11,2590	9,5286	1,240	1,059	13,4242	11,4650

É observada a direta relação entre a massa da amostra e o volume útil impresso e que a diferença entre a massa real e a massa teórica cresce, com o aumento do volume de preenchimento. Isso se deve aos espaçamentos formados durante o processo de moldagem, com o surgimento de espaços vazios entre as linhas e camadas de impressão, como demonstrado na **Figura 3**. Mensurando apenas as camadas de parede, é observado uma variação na massa de  $\pm 2$  %, sendo essa a contribuição/impacto das paredes na massa do objeto impresso. Com exceção das amostras com 60 %, observa-se valores crescentes na diferença entre massa/densidade teórica para a massa/densidade medida, indo de 7 % (*infill* 20 %) a 15 % (*infill* 100 %), corroborando com os resultados observado nos corpos de prova ASTM.

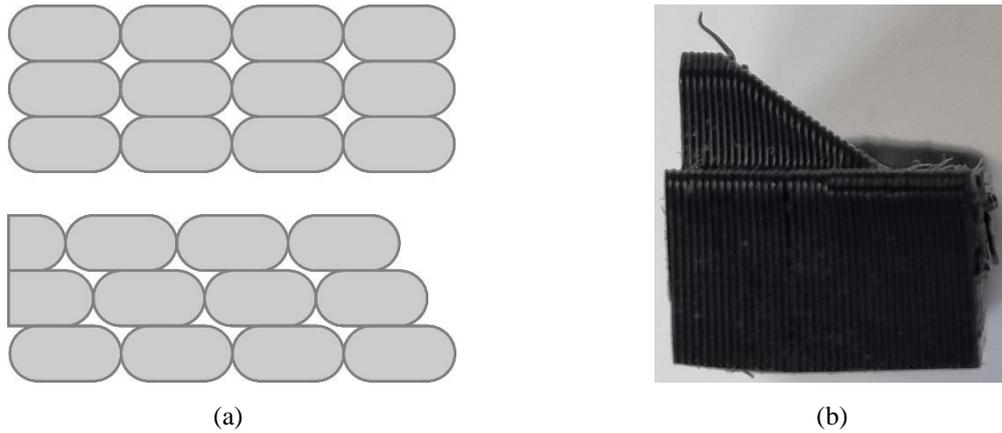


Figura 3 - (a) Projeção de deposição de filamento e (b) micrografia de camadas depositadas.

### 3.2. Ensaio de Tração ASTM D638-10

O ensaio de tração retornou os seguintes resultados, **Figura 4**:

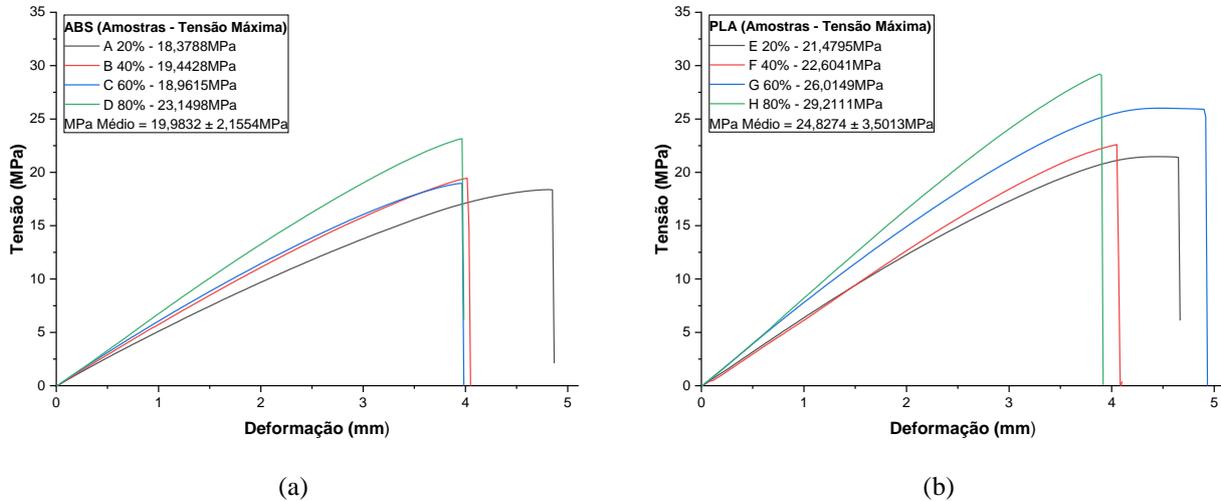


Figura 4 – Resultados do ensaio a tração para (a) ABS e (b) PLA;

Observa-se o crescimento da resistência à tração com o aumento da densidade de preenchimento, resultado do esforço aplicado sobre um maior volume de material. Ambos os conjuntos de amostras (ABS e PLA) apresentam comportamento frágil, não sendo apresentado uma zona de deformação plástica, porém por características de valor de deformação, os mesmos podem ser considerados por terem passado por deformação plástica. Isso pode estar relacionado às zonas descontínuas finas, formado durante a fabricação. Macroscopicamente, os CP apresentaram deformações consideráveis antes da ruptura. Porém, a níveis comparativos aos CP injetado, os valores de tensão e deformação estão abaixo das amostras injetadas encontradas na literatura (ZAFAR; LEE; KWAK, 2022).

Quando consideramos a área útil (28,28; 31,52; 34,56 e 37,60 mm<sup>2</sup>, respectivamente) em vez da área total (40,64 mm<sup>2</sup>) nos CP, **Figura 5**, observamos uma tendência de alinhamento e sobreposição na resposta a tração para ambos os materiais (ABS e PLA). Podemos considerar então, que essa é a resposta do material ao ensaio, enquanto o resultado anterior é a resposta do produto/processo de fabricação ao ensaio de tração.

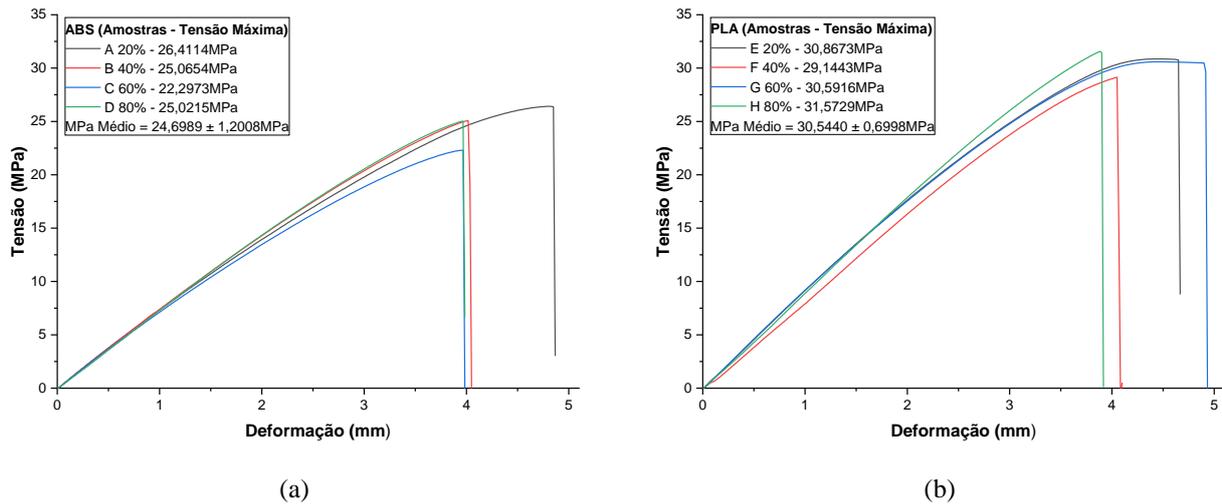


Figura 5 - Comportamento mecânico de ensaio a tração após a aplicação do fator de correção para: (a) ABS; (b) PLA;

#### 4. CONCLUSÕES

A densidade de preenchimento é um dos principais fatores influentes no peso final do produto fabricado por FDM e está diretamente relacionado à propriedade de resistência à tração. Mesmo amostras com 100 % de preenchimento apresenta uma diferença de peso, causado pela irregularidade dos filamentos depositados camada a camada. É possível prever a resposta à tração do material, com base em um único grupo de amostras, desde que seja considerado a área útil real.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao DCEM – Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais da UFS – Universidade Federal de Sergipe, pela disponibilização das ferramentas de ensaio mecânico.

#### 6. REFERÊNCIAS

- ASTM. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. Norma ASTM D638, 2012.
- BARLETTA, M.; GISARIO, A.; MEHRPOUYA, M. 4D printing of shape memory polylactic acid (PLA) components: Investigating the role of the operational parameters in fused deposition modelling (FDM). *Journal of Manufacturing Processes*, v. 61, p. 473–480, 1 jan. 2021.
- DORIGATO, A. Recycling of polymer blends. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, v. 4, n. 2, p. 53–69, 1 abr. 2021.
- EUN-HEE, K.; HYUN-HEE, C.; YEON-GIL, J. Fabrication of a ceramic core for an impeller blade using a 3D printing technique and inorganic binder. Elsevier, 2020.
- MAJID, F. et al. Mechanical behavior and crack propagation of ABS 3D printed specimens. *Procedia Structural Integrity*, v. 28, p. 1719–1726, 1 jan. 2020.
- SAJAN, S.; PHILIP SELVARAJ, D. A review on polymer matrix composite materials and their applications. *Materials Today: Proceedings*, v. 47, p. 5493–5498, 1 jan. 2021.
- THINGIVERSE. Thingiverse - Digital Designs for Physical Objects. Disponível em: <<https://www.thingiverse.com/>>. Acesso em: 13 out. 2022.
- ZAFAR, R.; LEE, W.; KWAK, S. Y. A facile strategy for enhancing tensile toughness of poly(lactic acid) (PLA) by blending of a cellulose bio-toughener bearing a highly branched polycaprolactone. *European Polymer Journal*, v. 175

## **7. RESPONSABILIDADE AUTORAL**

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.