

## MANUFATURA ADITIVA: UMA REVISÃO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE IMPRESSÃO 3D DO MATERIAL PLA NA PROPRIEDADE MECÂNICA DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

**Murilo Luiz de Bitencourt.**

**Maria Eduarda Dalla Nora Bilibio.**

**Alexandre Aparecido Buenos.**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Av. Roraima, 1000 - Camobi, Santa Maria - RS, 97105-900.

murilo.bitencourt@acad.ufsm.br; bilibio.maria@acad.ufsm.br; alexandre.buenos@ufsm.br.

**Resumo.** A manufatura aditiva (AM) é um processo de manufatura, também conhecido como impressão 3D, amplamente utilizado na produção de peças e protótipos. Este vem ganhando importância, principalmente quando se trata de Indústria 4.0, contribuindo para melhoria do processo produtivo. Sua técnica consiste na deposição de material, camada por camada, até a obtenção do objeto tridimensional desejado, tornando-se atrativa para o mercado. No entanto, as propriedades mecânicas do objeto impresso são influenciadas pelos parâmetros de impressão 3D, tais como material, altura de camada, preenchimento, orientação de impressão, espessura de parede ou perímetro entre outros. Este trabalho possui como objetivo principal revisar pesquisas que abordam a influência desses parâmetros de impressão 3D no que tange a resistência à tração de componentes impressos em material ácido polilático (PLA). Como resultado foi observado que a resistência à tração aumenta com o aumento do percentual de preenchimento, espessura de parede e altura entre camadas em corpos de prova (CPs) impressos em material PLA. A orientação de impressão também demonstrou ser um fator que influencia na resistência a tração.

**Palavras chave:** Impressão 3D. Ensaio de Tração. Ácido Polilático. Resistência. Processo de Fabricação.

### 1. INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva (*Additive Manufacturing* - AM), difundida também como impressão 3D, é um processo de manufatura que permite a construção de qualquer peça ou protótipo - seja metais, cerâmicos ou polímeros - por meio de um processo de deposição ou adição de materiais em sucessivas camadas. Dentre as técnicas mais utilizadas pode-se citar a Modelagem por Fusão e Deposição (*Fused Deposition Modeling* - FDM), que consiste na fusão de filamentos de polímeros, extrusão e deposição camada por camada em uma bandeja ou base de impressão. Esse método é utilizado nas mais diversas indústrias, como automobilística, aeroespacial, civil, visando uma produção mais eficiente e customizada.

O ácido polilático (*Polylactic Acid* - PLA), material a ser discutido, é um polímero biodegradável derivado de recursos renováveis, como a cana-de-açúcar e raízes de mandioca. Em virtude disso, possui vantagens frente a outros que são derivados do petróleo, como o ABS (acrilonitrila butadieno estireno).

A respeito da impressão 3D, esta pode ser começada com uma peça sendo desenhada em um software de desenho assistido por computador (*Computer Aided Design* - CAD) e posteriormente convertido para um arquivo possível de ser interpretado pelo software de impressão 3D. Esse por sua vez cria a trajetória de

impressão gerando um código que irá gerar a peça impressa. Logo após, o bocal de impressão extrusa o filamento de polímero - posicionado previamente na máquina - camada por camada até a obtenção da peça desejada. Os parâmetros de impressão 3D influenciam diretamente nas propriedades mecânicas da peça impressa.

Conhecendo esses aspectos, pretende-se realizar uma revisão para verificar a influência dos parâmetros de impressão 3D do material PLA na propriedade mecânica de resistência à tração.

### 2. INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE IMPRESSÃO 3D NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

A resistência de uma amostra impressa em FDM depende de vários fatores, incluindo a orientação de impressão, espessura de camada e preenchimento. Esses três parâmetros serão os analisados aqui. Alguns fatores são mais importantes para a resistência propriamente dita dos corpos de prova (CPs), podendo até mesmo ser correlacionados.

#### 2.1. Preenchimento

Vikas, Hussain e Reddy (2019) realizaram um estudo de influência dos parâmetros de impressão 3D, tais como temperatura, velocidade de impressão, espessura de

camada e taxa de preenchimento de CPs impressos em PLA. Os CPs de teste de tração foram projetadas conforme norma ASTM D638, sendo modeladas em software de modelagem digital e salvos no formato STL.

Ademais, dentro do padrão de preenchimento é usado favo de mel, que é mais resistente que outros padrões. Os dados de entrada são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Dados de entrada de todas as amostras.

| Dados de entrada             |                    |
|------------------------------|--------------------|
| Formato do CP                | Plano              |
| Tipo de material             | Plástico (PLA)     |
| Descrição do CP              | Tensil PLA-1       |
| Largura do CP                | 13 mm              |
| Espessura do CP              | 7 mm               |
| Comprimento para % alongação | 50 mm              |
| Valor de pré-carregamento    | 0 kN               |
| Máximo carregamento          | 250 kN             |
| Máxima alongação             | 200 mm             |
| Área de seção transversal CP | 91 mm <sup>2</sup> |

Fonte: adaptado de Vikas, Hussain e Reddy (2019).

Neste projeto, para os testes do material PLA foi usada uma máquina UTM com carga de 250kN. Os valores de resistência foram obtidos em teórica e experimentalmente, sendo estes mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados do teste de resistência à tração.

| Teste                                | Teórica                   | Experimental             | Diferença |
|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------|
| Resistência a tração                 | 30,5411 N/mm <sup>2</sup> | 29,014 N/mm <sup>2</sup> | 1,5271    |
| Resistência a tração 100% preenchim. | 48,283 N/mm <sup>2</sup>  | 49,197 N/mm <sup>2</sup> | 1,5271    |

Fonte: adaptado de Vikas, Hussain e Reddy (2019).

Comparando os resultados, o CP com taxa de preenchimento de 100% foi o que apresentou maior resistência à tração.

Ambrós (2019) também estudou essa influência utilizando CPs impressos em uma impressora 3D Cliever Pro Plus com tecnologia FDM, sendo posteriormente ensaiados em uma máquina de ensaio EMIC DL-2000.

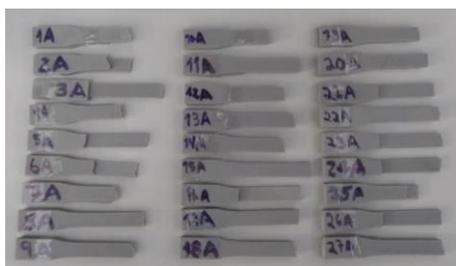


Figura 1. CPs ensaiados.

Fonte: adaptado de Ambrós (2019).

Os resultados do ensaio de tração mostram que o CP 1a com parâmetros de preenchimento de 10%, espessura de parede de 2 perímetros e altura entre camadas de 0,15 mm apresentou menor resistência à tração, cerca de 18,60 MPa e uma força máxima de 1 kN. Já o CP 27 com preenchimento de 50%, espessura de parede de 4 perímetros e altura entre camadas de 0,25mm, resistiu a um carregamento superior com força máxima de 2,06 kN e limite de resistência à tração de 37,70 MPa.

## 2.2 Orientação de impressão

A orientação é um fator determinante no processo de impressão 3D, essa etapa consiste em escolher como a peça fabricada será orientada em relação ao eixo principal de construção.

Rajpurohit e Dave (2018) observaram que a orientação gera forte influência sobre a resistência à tração de CPs impressos em material PLA.

Corapi *et al.* (2019) realizaram ensaios de tração com o intuito de caracterizar as propriedades mecânicas do material PLA impresso em uma máquina Creabot F430 em diferentes orientações (horizontal, lateral, vertical) sendo produzidos 6 CPs para cada, totalizando 18 CPs.

Para os CPs impressos na vertical, o valor da tensão obtido foi de 23,75MPa. Já para os CPs impressos na horizontal, obtiveram o valor de 57,58MPa. Por fim, para os CPs de lado, o valor foi de 52,40MPa. Os CPs impressos na horizontal também obtiveram maior módulo de elasticidade, igual a 2571MPa, enquanto na orientação vertical e de lado, atingiram 2363MPa e 2415MPa, respectivamente. Isso se deve ao fato de que a direção de construção dos CPs em diferentes planos altera a quantidade de filamento extrudado alinhado com o carregamento, afetando a resistência à tração.

Vălean *et al.* (2020) investigou a orientação de impressão no que tange à resistência à tração. Foi obtido um CP semelhante ao osso de um cachorro, denominado de *dog-bone* (DB). Para simplificar os resultados, foi utilizada a convenção de que, se haver, por exemplo, DB-2.15-0, isso corresponde a um CP DB com espessura de 2,15 mm obtido a uma orientação de impressão (OI) de 0°.

Após o ensaio obteve-se os resultados que estão dispostos na Figura 1, que aborda as curvas de carga-deslocamento dos CPs de acordo com a OI.

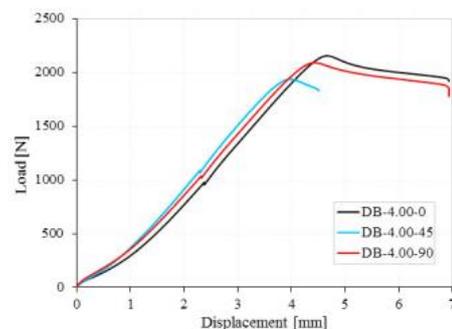


Figura 1. Curvas de deslocamento de carga para amostras.

Fonte: Vălean *et al.* (2020).

Nota-se na Figura 1 que todas as curvas mostram uma zona elástica linear, obtendo assim o módulo de Young. Além disso, é possível observar o ponto máximo de cada CP, a resistência à tração das mesmas e que os CPs DB-4.00-0 e DB-4.00-90 têm aproximadamente a mesma carga de fratura (~ 2100 N). Logo, tanto as cargas de fratura (~1950 N) quanto os deslocamentos correspondentes a elas (~7 mm) quase coincidem para as duas OI, enquanto a OI de 45° apresenta valores menores em todos os testes realizados. Devido à quase sobreposição das zonas linear-elásticas, os CPs têm quase o mesmo valor do Módulo de Young.

### 2.3 Espessura de camada

A altura ou espessura de camada se refere a distância entre camadas depositadas durante a extrusão de filamento. A escolha da espessura de camada é outro fator determinante no tempo de fabricação da peça, aumentando a espessura diminui o número de camadas depositadas influenciando no tempo de produção das peças.

Ambrós (2019) analisou a influência da espessura de camada na resistência à tração de CPS impressos em PLA. Para isso ele variou as espessuras em 0,15mm, 0,19mm e 0,25mm. Os CPs foram produzidos em uma impressora Cliever CL2 Pro Plus que empregada técnica FDM. Seus resultados mostram que a resistência aumenta com o aumento na espessura de camada.

Corapi *et al.* (2019) também analisaram o parâmetro de altura de camada, fazendo com que ela variasse de 0,15 à 0,25mm. Contudo, eles analisaram todos os parâmetros em conjunto, não possuindo conclusão apenas sobre a espessura de camada.

Dessa maneira, a análise de intervalo indicou que a combinação ideal de resistência à tração para taxa de preenchimento de 100% é a velocidade de impressão de 40 mm/s, espessura de camada 0,25mm, temperatura de impressão de 210°C. Sendo ela igual à 49,197 N/mm<sup>2</sup>. Isso prova o mesmo obtido para Ambrós (2019), que, quanto maior a espessura de camada, mais alta a resistência a tração do corpo de prova.

Válean *et al.* (2020) também analisou a influência da espessura de camada no seu estudo, que pode ser vista na Tabela 4.

Tabela 4. Descrição da amostra

| Efeito de | Código da amostra | Espessura (mm) | Largura (mm) | OI (°) |
|-----------|-------------------|----------------|--------------|--------|
| Espessura | DB-1.25-0         | 1,25           | 6            | 0      |
|           | DB-2.15-0         | 2,15           | 7            | 0      |
|           | DB-3.70-0         | 3,7            | 13           | 0      |
|           | DB-8.00-0         | 8              | 13           | 0      |

Fonte: Adaptado de Válean *et al.* (2020).

Foi observado que tanto o Módulo de Elasticidade (E) quanto a Tensão média ( $\sigma_m$ ) diminuíram significativa e

polinomialmente com a espessura de camada (30% para E e acima de 7% para  $\sigma_m$ ).

### 2.4 Espessura de parede

A espessura de parede ou perímetro se refere ao número de camadas de parede externa do objeto. A escolha da espessura de parede é outro fator determinante no tempo de fabricação da peça, aumentando a espessura aumenta o consumo de material, o que eleva os custos.

No estudo de Ambrós (2019), ele mostra que quando mantido os parâmetros de preenchimento e altura entre camada variando apenas a espessura de parede, há também o aumento da resistência dos CPs. Para um preenchimento de 10% e altura entre camada de 0,15 mm variando a espessura de parede de 2 perímetros (CP representado pela nomenclatura “1A”) para 3 (4A) e 4 perímetros (7A) a força máxima passa de 1,00 kN para 1,41 kN com um limite de resistência à tração de 18,6 MPa para 25,76MPa.

## 4. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão de pesquisas que verificaram a influência dos parâmetros de impressão 3D na resistência à tração de componentes impressos em PLA utilizando tecnologia FDM.

Após análise fica evidente que a resistência à tração aumenta com o aumento do preenchimento, espessura de parede e altura de camada, isso para peças e protótipos impressos em PLA. Pode-se notar também que a orientação de impressão influencia na resistência das peças impressas.

## REFERÊNCIAS

- AMBRÓS, Guilherme Silva. Influência dos Parâmetros de Impressão 3D na Resistência à Tração de Corpos de Prova Impressos em PLA Utilizando Modelagem por Fusão e Deposição. 93 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, UFSM, Santa Maria. 2019.
- CORAPI, Domenico *et al.* Characterization of a Polylactic Acid (PLA) Produced by Fused Deposition Modeling (FDM) Technology. *Procedia Structural Integrity*, v. 24, 2019, p. 289–295.
- RAJPUROHIT, Shilpesh R.; DAVE, Harshit K. Effect of process parameters on tensile strength of FDM printed PLA part. *apid Prototyping Journal*, v. 24, n. 8, 2018, p. 1317-1324.
- VALEAN, Cristina *et al.* Effect of manufacturing parameters on tensile properties of FDM printed specimens. *Procedia Structural Integrity*, v. 26. 2020, p. 313-320.
- VIKAS, B.; HUSSAIN, D. M.; REDDY, C. S. Optimization of 3D Printing Process Parameters of Poly Lactic Acid Materials by Fused Deposition Modeling Process. 2019. *International Journal of Engineering Development and Research*. v. 7, n. 3, 2019, p. 189-196.