

INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE PROCESSO NO PLA OBTIDO PELA TECNOLOGIA FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)

Jonathan Hartmann, jonathan_hartmann@estudante.sc.senai.br¹
Suelen Cristina Fenrich, suelen_fenrich@estudante.sc.senai.br¹
Eduardo Chiodini, eduardo_chiodini@estudante.sc.senai.br¹
Anderson de Carvalho Fernandes, anderson.c.fernandes@edu.sc.senai.br¹
Bruna Zappelino, bruna.zappelino@edu.sc.senai.br¹
Angelo Reck Neto, angeloneto@edu.sc.senai.br¹

¹Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville, Rua Arno Waldemar Döhler, 957 – Santo Antônio - 89219-510, Joinville

Resumo: *Fused Deposition Modeling (FDM) é uma tecnologia de manufatura aditiva capaz de fabricar peças funcionais para áreas como engenharia e medicina. Essa atrativa solução concebe peças funcionais com formas geométricas complexas em um tempo de construção aceitável. Uma das soluções que indústrias adotam para se manterem competitivas no mercado, é fornecendo rápidas respostas, para isso apostam na redução no lead time de produção usando manufatura aditiva (MA). Embora MA seja uma tecnologia eficiente, a aplicação em larga escala ainda resulta em discussões, devido a compatibilidade e resistência mecânica requeridas. Para suprir essa necessidade, recentes pesquisas apostam em diferentes configurações nos parâmetros de processo a fim de resultarem em ganhos de resistência mecânica. Devido a uma série de combinações de possíveis parâmetros de impressão, software de fatiamento, combinação de diferentes materiais, torna essa tarefa um pouco complexa. PLA tornou-se uma escolha aceitável em diversas aplicações, devido principalmente a ausência de necessidade de acabamento, boa resistência ao desgaste, além de ser um material biodegradável. Portanto, essa pesquisa objetiva-se estudar como diferentes parâmetros de construção interferem nas propriedades mecânicas dos corpos de prova fabricados pelo processo de manufatura aditiva por FDM. Como parte desse objetivo, desenvolve-se uma aplicação da técnica de planejamento fatorial 2³ e metodologia de superfície de resposta, a fim de determinar os níveis dos fatores para otimizar a variável resposta resistência mecânica à tração. Amostras em PLA foram fabricadas conforme norma ASTM D638. A variação dos seguintes parâmetros foi analisada: dois tipos de perímetro (2 e 6 filetes), dois tipos de porcentagem de preenchimento (20 e 100%) e duas temperaturas de impressão (195 e 240°C), todas utilizando uma velocidade de 70 mm/s, altura de preenchimento de 0,3 mm e preenchimento tipo grade. Assim, foram geradas 8 amostras com 3 réplicas cada, totalizando 24 combinações. Portanto, concluiu-se que os maiores valores de parâmetros obtiveram melhores resultados nos ensaios, sendo a densidade de preenchimento o maior influenciador na obtenção de maior resistência à tração. Os resultados alcançados nessa pesquisa mostram como técnicas de planejamento de experimentos aliadas a tecnologia de manufatura, podem facilitar o aprimoramento do processo, por meio de ganhos de qualidade e produtividade.*

Palavras-chave: *Modelagem por Fusão e Deposição (FDM), manufatura aditiva, Parâmetros de Impressão 3D, Resistência à tração*

1. INTRODUÇÃO

O processo de deposição de material em camadas com o objetivo de formar um objeto final, também conhecido como manufatura aditiva, vem criando uma revolução na indústria como um todo. Este processo permite a fabricação de peças de geometria complexa, peças estas que não são fabricadas facilmente pelos processos convencionais, se tornando assim um dos pilares da indústria 4.0 e das áreas de inovação e prototipagem rápida.

“A impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva, possui vários métodos de fabricação de produtos, como estereolitografia (SLA e DLP), sinterização seletiva a laser (SLS), sinterização direta de metal a laser (DMLS) e modelagem por fusão e deposição (FDM) (Rocha *et al.*, 2014 apud Cambraia *et al.*, 2020)”. FDM é a técnica mais comumente utilizada para polímeros [...] alguns materiais usados no processo de FDM podem ser citados: Poli (ácido láctico) (PLA), Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), Policarbonato (PC), Álcool Polivinílico (PVA), Poli (tereftalato de etileno glicol) (PETG) e Poliamida (Cambraia *et al.*, 2020). O PLA é um material muito usado em impressões 3D do tipo FDM por se tratar de um polímero biodegradável, com potencial para substituir polímeros baseados no petróleo (Cabreira, 2018, p.37). É um material resistente, rígido, difícil de deformar ou flexionar, e de alta dureza, tornando-o

frágil com baixa resistência ao impacto (Alves *et al.*, 2020). Sua alta fluidez e baixa contração durante o processo de extrusão permite a produção de peças com alta precisão dimensional e bom acabamento superficial. É um material indicado para produção de modelos físicos que não sejam submetidos às condições de altos esforços mecânicos, atritos ou altas temperaturas. Estes fatores implicam no processo de desgaste do material (Croucillo *et al.*, 2018).

Atualmente já se encontram vários estudos relativos aos parâmetros de processo de impressão, tal como preenchimento, altura da camada, perímetro, densidade de preenchimento, padrão de preenchimento, entre outros, e sua influência nas características mecânicas das peças.

Visando compreender o comportamento mecânico de peças fabricadas por manufatura aditiva, o presente trabalho tem por objetivo estudar a resistência à tração de peças impressas em filamento PLA através do processo FDM, tendo como base a variação dos parâmetros de impressão. Este estudo pretende trazer um grande benefício para os fabricantes de peças impressas em FDM, pois ajuda a definir quais os parâmetros, dentre os que foram estudados, apresentam os melhores resultados em relação à resistência à tração.

2. METODOLOGIA

Para a realização dos experimentos foi utilizado um planejamento fatorial 2^3 com três réplicas cada, totalizando 24 amostras onde foram alterados três parâmetros de impressão, sendo eles dois tipos de perímetro (2 e 6 filetes), dois tipos de porcentagem de preenchimento (20 e 100%) e duas temperaturas de impressão (195 e 240°C), apresentados na Tabela 1. Os fatores mínimos e máximos são representados pelos símbolos “+” e “-” respectivamente. A Tabela 2 mostra as condições e ordem de impressão, onde as letras foram utilizadas para identificar as combinações dos tratamentos.

Tabela 1 - Parâmetros de impressão.

VARIÁVEL RESPOSTA	PARÂMETROS	
FATORES	A	DENSIDADE DO PREENCHIMENTO: - (20%) e + (100%)
	B	PERÍMETRO: - (2 filetes) e + (6 filetes)
	C	TEMPERATURA: - (195°C) e + (240°C)
Nº DE TRATAMENTOS	$2^3 = 8$	
Nº DE RÉPLICAS	3	
Nº DE AMOSTRAS	24	

Tabela 2 - Condições e ordem de impressão dos corpos de prova.

TRATAMENTO	A	B	C	ORDEM
(0)	-	-	-	3
A	+	-	-	7
B	-	+	-	2
C	-	-	+	8
AB	+	+	-	4
AC	+	-	+	6
BC	-	+	+	1
ABC	+	+	+	5

O planejamento fatorial nos dá o arranjo da quantidade de corpos de prova, e estes seguem uma aleatoriedade nas impressões.

Os corpos de prova seguiram os padrões da norma ASTM D638, que padroniza a metodologia de testes de tração em polímeros. As amostras foram modeladas em software CAD onde foi gerado um arquivo 3D no formato STL.

A impressora 3D utilizada para a impressão das amostras foi a impressora Ultimaker 3. É uma impressora que possui 2 bicos extrusores, com temperatura máxima de 280°C no bico extrusor e de 100°C na mesa de impressão. A área de impressão é de 215 x 215 x 200mm, com ela é possível imprimir em PLA, PVA, ABS, CPE e Nylon. A Figura 1 mostra o corpo de prova (a), o software para alterar os parâmetros e gerar a trajetória de impressão (b) e a máquina utilizada para a impressão (c).

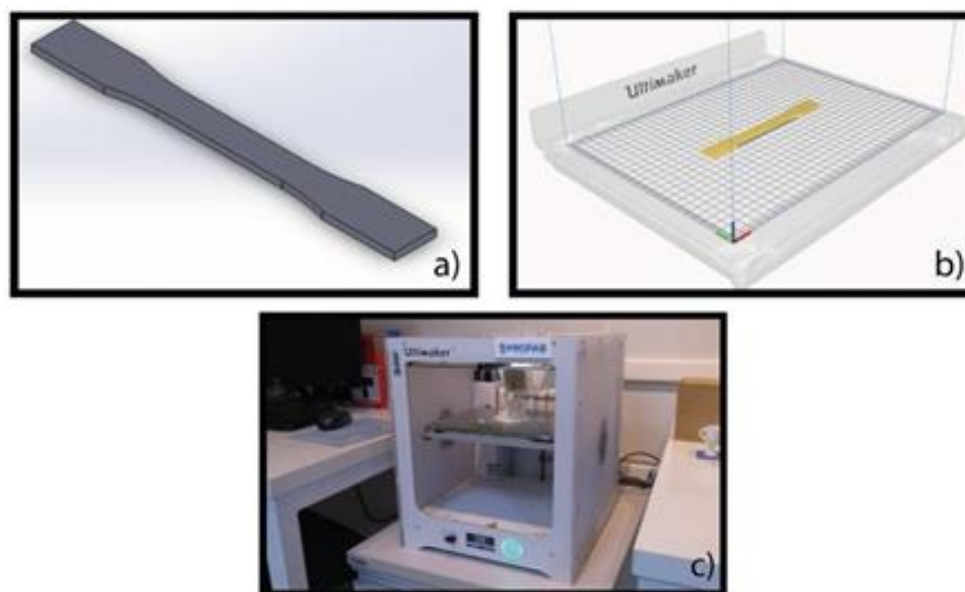


Figura 1 – a) Corpo de prova modelado, b) software Ultimaker Cura, c) Impressora Ultimaker 3.

Fonte: Os Autores (2022)

Em seguida as amostras foram preparadas para o ensaio de tração, que foi realizado em uma máquina de tração da Instron modelo 3366 com velocidade do ensaio em 5 mm/min conforme mostrado na Figura 2.



Figura 2 - Corpo de prova no ensaio de tração

Fonte: Os Autores (2022)

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Após a realização dos ensaios de tração, foram obtidos os resultados dos ensaios das amostras. A Figura 3 auxilia na interpretação dos resultados, deixando evidente as influências mais relevantes para o processo.

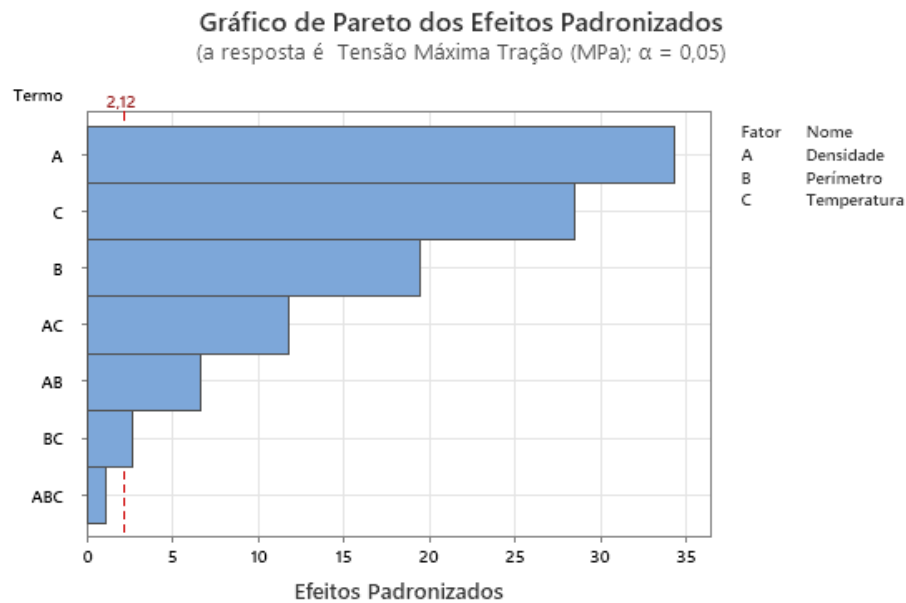


Figura 3 - Gráfico de Pareto, Parâmetros de impressão
Fonte: Os Autores (2022)

Os parâmetros mais representativos para o processo foram A, C e B, pois estes representam 90% do total dos efeitos. Nota-se que A (densidade) é o fator de maior efeito na resistência máxima à tração, na sequência tem-se o efeito C, seguido de B (temperatura e perímetro). São estes, portanto, os itens de maior relevância no processo, e que podem ser utilizados para garantir a resistência mecânica do material.

Outra forma de analisar os parâmetros e sua importância é através da Figura 4. A influência dos fatores A (densidade), C (temperatura) e B (perímetro) são representadas no gráfico linear de efeitos, alterando-se um fator do nível baixo (-) para o alto (+). “O efeito de um fator é definido como a variação na resposta produzida pela mudança no nível do fator” (Montgomery; Runger, 2003, p. 297).

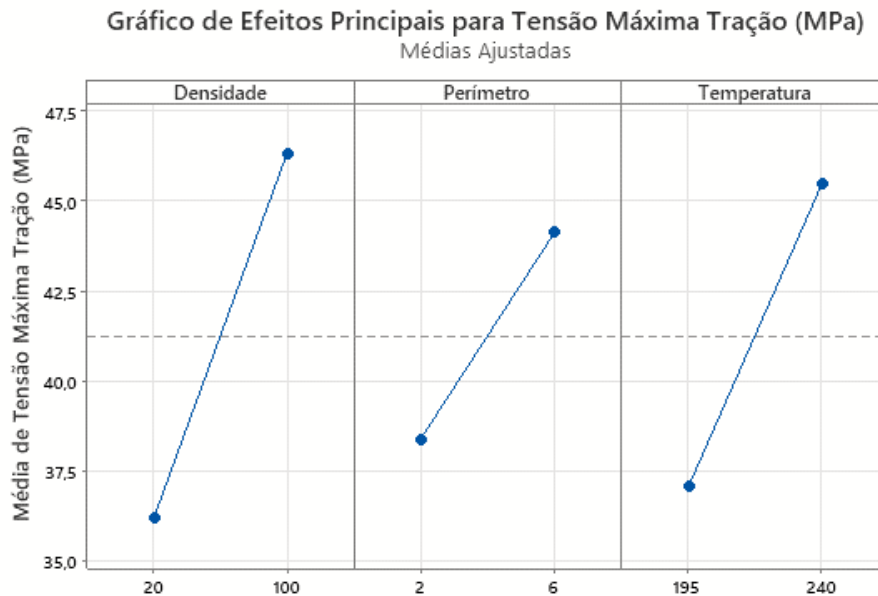


Figura 4 - Gráfico de efeitos principais na tensão máxima.
Fonte: Os Autores (2022)

A Figura 4 demonstra que o fator A é o mais importante, pois quando a mesma troca de nível, seja (+) para o (-) ou vice-versa, existe uma grande variação na resposta. Por meio da análise do gráfico do efeito principal, pode-se observar que uma porcentagem menor de densidade resultou em uma menor resistência à tração, ao passo que o contrário, a maior porcentagem de densidade, resultou na maior resistência à tração. O gráfico do efeito principal C mostra que a temperatura mais elevada (240°C) contribuiu para uma melhor resistência à tração, já as peças produzidas com menos temperatura

(195°C) apresentaram menor resistência. A mudança no fator B (perímetro) representou pouca influência no processo, conforme pode ser verificado no gráfico.

Este resultado se justifica devido ao fato de que quanto maior a porcentagem de preenchimento, maior será o número de camadas de extrusão no interior da peça, desta forma, a carga exercida no ensaio de tração é dividida no interior do corpo de prova entre um número maior de camadas. Como a carga é dividida, cada camada é responsável por suportar uma carga cada vez menor, de acordo com a porcentagem de preenchimento escolhida (Oliveira, 2017).

Uma outra hipótese é que ao combinar uma maior densidade de preenchimento com uma maior temperatura a adesão dos filamentos de impressão que constituem o preenchimento é melhor, devido o material demorar um tempo maior para resfriar até que seja depositada a nova camada de impressão (Lizardo, 2016). Ao ser aquecido a uma elevada temperatura o material se funde mais, facilitando assim a deposição da próxima camada de filamento, criando uma homogeneidade entre as camadas e resultando em uma maior resistência.

4. CONCLUSÕES

De acordo com a análise dos gráficos e com os resultados encontrados em relação a resistência máxima à tração, podemos concluir que:

- A densidade de preenchimento foi o parâmetro que teve maior influência nos resultados dos ensaios de tração;
- A temperatura de impressão foi o segundo fator mais influente na resistência à tração;
- Já o perímetro de impressão, foi o parâmetro que teve menor influência nos resultados de resistência à tração.

Como sugestão para próximos estudos, os autores indicam um maior aprofundamento nas análises estatísticas dos dados encontrados e também estudos com os demais parâmetros de impressão.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade SENAI Joinville por disponibilizar os equipamentos necessários para a realização do presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Alves, T. P., De Jesus, A. V. S., Pinto, G. V. da S., Ribeiro, R. R. M., Rodrigues, L. K. de O. 2020. Análise da Influência do Padrão de Preenchimento e da Altura de Camada de Deposição na Tensão de Ruptura de Corpos de Prova Fabricados em Poli Ácido Lático (PLA) a Partir de Impressão 3D. Salvador - BA.
- Cabreira, V. 2018. Avaliação dos Parâmetros de Processamento em Impressão 3D nas Propriedades do Poliacido Lático. Porto Alegre - RS.
- Cambraia, L. V., Ferreira, F. L. Q., Bernardes, M. R. F., Silva, G. G. 2020. Desenvolvimento de filamentos de PLA e óxido de grafeno para melhoria termomecânica de peças produzidas por impressão 3D. Belo Horizonte - MG.
- Croucillo, A. P. dos R., Arruda, J. D., Franco, L. J. V., Leite, J. F., Carvalho, M. R. 2018. Avaliação das características mecânicas do pla, impressa em 3D, para aplicação em próteses em animais de pequeno e médio porte. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração.
- Lizardo, B. F., Vieira, L. M. G., Martins, A. M., Faria, P.E., Rubio, J. C. C. 2016. Utilização do Método de Taguchi para Estudo da Influência dos Parâmetros de Fabricação nas Propriedades Mecânicas de Peças em PLA Obtidas por Manufatura Aditiva. Belo Horizonte - MG.
- Montgomery, D., Runger, G. 2003. Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros. 2 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S.A.
- Oliveira, G. de A. 2017. Influência das Propriedades dos Polímeros nas Características Finais das Peças Obtidas por Impressão 3D. Ponta Grossa - PR.
- Rocha, C.R., Perez, A. R. T., Roberson, D. A., Shemelya, C. M., MacDonald, E., Wicker, R. B. 2014. Novel ABS-based binary and ternary polymer blends for material extrusion 3D printing. Journal of Materials Research, v. 29, n. 17, p. 1859 –1866.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

INFLUENCE OF PROCESS PARAMETERS ON PLA OBTAINED BY FUSED DEPOSITION MODELING (FDM) TECHNOLOGY

Jonathan Hartmann, jonathan_hartmann@estudante.sc.senai.br¹

Suelen Cristina Fenrich, suelen_fenrich@estudante.sc.senai.br¹

Eduardo Chiodini, eduardo_chiodini@estudante.sc.senai.br¹

Anderson de Carvalho Fernandes, anderson.c.fernandes@edu.sc.senai.br¹

Bruna Zappelino, bruna.zappelino@edu.sc.senai.br¹

Angelo Reck Neto, angeloneto@edu.sc.senai.br¹

¹Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville, Rua Arno Waldemar Döhler, 957 – Santo Antônio - 89219-510, Joinville

Abstract: *Fused Deposition Modeling (FDM) is an additive manufacturing technology capable of manufacturing functional parts for areas such as engineering and medicine. This attractive solution conceives functional parts with complex geometric shapes in an acceptable construction time. One of the solutions that industries adopt to remain competitive in the market is providing quick answers, for this they bet on reducing the production lead time using additive manufacturing (AM). Although MA is an efficient technology, the large-scale application still results in discussions, due to the compatibility and mechanical strength required. To meet this need, recent research bets on different configurations in the process parameters in order to result in gains in mechanical strength. Due to a number of possible combinations of printing parameters, slicing software, combination of different materials makes this task a bit complex. PLA has become an acceptable choice in many applications, mainly due to the lack of finishing, good wear resistance, in addition to being a biodegradable material. Therefore, this research aims to study how different construction parameters interfere in the mechanical properties of specimens manufactured by the FDM additive manufacturing process. As part of this objective, an application of the 2³ factorial design technique and response surface methodology is developed in order to determine the levels of factors to optimize the response variable mechanical tensile strength. PLA samples were manufactured in accordance with ASTM D638. The variation of the following parameters was analyzed: two types of perimeter (2 and 6 fillets), two types of filling percentage (20 and 100%) and two printing temperatures (195 and 240°C), all using a speed of 70 mm/ s, fill height of 0.3 mm and grid type fill. Thus, 8 samples were generated with 3 replicates each, totaling 24 combinations. Therefore, it was concluded that the highest values of parameters obtained better results in the tests, with the filling density being the greatest influencer in obtaining greater tensile strength. The results achieved in this research show how experimental planning techniques combined with manufacturing technology can facilitate process improvement, through quality and productivity gains.*

Keywords: *Fusion Deposition Modeling (FDM), additive manufacturing, 3D Printing Parameters, Tensile Strength*