

## 13º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2022

### RESISTÊNCIA MECÂNICA DE PEÇAS DE ABS/PC IMPRESSAS EM 3D

PAOLA D. S. SOUZA<sup>1</sup>, CLEITON L. F. DE ASSIS<sup>2</sup>, GUILHERME R. MECELIS<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Elétrica, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus Votuporanga, paola.souza@aluno.ifsp.edu.br

<sup>2</sup> Professor EBTT, IFSP, Campus Votuporanga, fazolocla@ifsp.edu.br

<sup>3</sup> Professor EBTT, IFSP, Campus Votuporanga, guilherme.mecelis@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.03.05.04-7 Polímeros, Aplicações

**RESUMO:** A manufatura aditiva é um conjunto de técnicas de fabricação de peças 3D por meio da deposição de sucessivas camadas. Polímeros termoplásticos de engenharia são comumente utilizados para aplicações de desempenho, devido as propriedades vinculadas à suas estruturas moleculares, proporcionando a produção de peças de geometrias complexas que seriam inviáveis em processos de fabricação comuns. Tendo em vista compreender o comportamento mecânico de blendas poliméricas em aplicações de impressão 3D, é necessária compreender o efeito da combinação dos parâmetros de impressão. O objetivo dessa pesquisa é avaliar a resistência mecânica de peças produzidas por Fabricação por Filamento Fundido (FFF). O material dos corpos de prova é uma blenda de Acrilonitrila Butadieno Estireno + Policarbonato (ABS/PC). As variáveis são bico de extrusão, velocidade de impressão, espessura da camada e temperatura de extrusão. Ensaio de tração foram aplicados nos corpos de prova e os dados experimentais foram avaliados estatisticamente com auxílio da Análise de Variância (ANOVA). Os resultados indicaram que a altura de camada e velocidade de impressão são os parâmetros de impressão 3D mais influentes estatisticamente na resistência máxima das peças. Uma combinação adequada dos parâmetros de impressão permite o controle da resistência mecânica de peças impressas em 3D.

**PALAVRAS-CHAVE:** FFF; ABS/PC; Massa; Resistência máxima; ANOVA.

### EFFECT OF EXTRUSION NOZZLE ON MECHANICAL STRENGTH OF 3D PRINTED ABS AND POLYCARBONATE PARTS.

**ABSTRACT:** Additive manufacturing is a set of techniques for manufacturing 3D parts through the deposition of successive layers. Thermoplastic engineering polymers are commonly used for performance applications, due to the properties linked to their molecular structures, providing the production of parts with complex geometries that would be unfeasible in common manufacturing processes. In order to understand the mechanical behavior of polymer blends in 3D printing applications, it is necessary to understand the effect of the combination of printing parameters. The objective of this research is to evaluate the mechanical strength of parts produced by Cast Filament Fabrication (FFF). The material of the specimens is a blend of Acrylonitrile Butadiene Styrene + Polycarbonate (ABS/PC). The variables are extrusion nozzle, print speed, layer thickness and extrusion temperature. Tensile tests were applied to the specimens and the experimental data were statistically evaluated using Analysis of Variance (ANOVA). The results indicated that layer height and printing speed are the most statistically influential 3D printing parameters on the maximum strength of the parts. A suitable combination of printing parameters allows control of the mechanical strength of 3D printed parts.

**KEYWORDS:** FFF; ABS/PC; Mass; Tensile strength; Rupture Stress; ANOVA.

## INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva (MA) é popularmente conhecida como um processo de fabricação por meio da deposição de certo material em sucessivas camadas (VOLPADO, 2017). Uma de suas vantagens é a construção de geometrias complexas que seriam difíceis de serem geradas por processos de fabricação convencionais. Com o crescimento dessa indústria foi observado que modificando as propriedades dos materiais utilizados, poderia ser aplicada no campo da medicina, indústria automobilística e aeroespacial (BANDYOPADHYAY, GUALTIER, BOSE, 2015).

O processo de Fabricação por Filamento Fundido (FFF) é o mais utilizado quando do uso de materiais poliméricos e consiste na fusão de um material termoplástico, o qual é depositado na espessura desejada, através de um bico pré-aquecido (OSSWALD, PUENTES, KATTINGER, 2018). As propriedades mecânicas obtidas dependem do material do filamento termoplástico e dos parâmetros de impressão, tais como, altura da camada, temperatura e diâmetro do bico de extrusão. (KHAN, JOSHI, DESHMUKH, 2021). Esse processo também possui desvantagens como a qualidade de adesão das camadas (OSKOLKOV, TRUSHNIKOV e BEZUKLADNIKOV, 2021).

Os termoplásticos de engenharia são utilizados para impressão de componentes estruturais (WOJTYŁA *et al.*, 2017). Um estudo constatou que a blenda de ABS/PC possui uma maior resistência, aliada a boa rigidez (YAP, CHAN, KOAY, 2021). Essas blendas tem uma série de propriedades por preço que as permitem ter destaque nas suas aplicações em relação a outros termoplásticos (HUANG, WANG, 1989). O objetivo deste trabalho é investigar o efeito dos parâmetros de impressão na resistência mecânica de peças de ABS/PC impressas em 3D por meio do ensaio de tração. A Análise de Variância (ANOVA) foi a ferramenta estatística aplicada na avaliação dos dados experimentais.

## MATERIAL E MÉTODOS

A fabricação dos corpos de prova foi realizada numa impressora 3D da marca GTMax3D, modelo Core H4. O software de fatiamento utilizado foi o Cura Ultimaker®. Os corpos de prova foram impressos com alturas de camada de 40, 50 e 60% do diâmetro do bico de extrusão e preenchimento de 100%. Os bicos de extrusão adotados foram 0,6 e 0,8mm e as temperaturas de extrusão foram 270, 280 e 290°C. Cinco corpos de prova de cada condição de impressão foram confeccionados para posterior análise estatística dos resultados dos ensaios mecânicos. O filamento utilizado na fabricação dos corpos de prova foi o ABS/PC (Acrilonitrila Butadieno Estireno + Policarbonato), fornecido pela empresa 3DX Filamentos, parceira deste projeto de pesquisa. Todos os corpos de prova foram impressos com padrão de preenchimento concêntrico (Figura 1).



Figura 1: Padrão de preenchimento concêntrico dos corpos de prova dos ensaios de tração.

Depois de impressos, foi realizada uma análise visual das peças, verificando possíveis defeitos nas amostras que vissem gerar pontos de concentração de tensões. Os pontos de descontinuidade geométrica foram anotados, com registro fotográfico. As imagens foram geradas com auxílio de um celular Iphone com câmera de 12 megapixels. A pesagem dos corpos de prova com realizada uma balança modelo L303i, calibração interna automática, capacidade de 310g, display LCD e resolução de 0,001g. Cada amostra foi pesada duas vezes em posições diferentes para obter uma média da massa.

Os ensaios de tração foram realizados numa máquina de ensaios universal da marca EMIC, modelo DL-30000, com capacidade máxima de 30kN. A norma aplicada foi a ISSO 527-1/2:2012, específica para testes de tração padronizados em materiais poliméricos. Uma escala adequada foi adotada para geração dos gráficos tensão-deformação. A Análise de Variância (ANOVA) foi a ferramenta estatística utilizada para avaliação do efeito dos fatores de controle (parâmetros de impressão) nas repostas (massa e resistência máxima), considerando um intervalo de confiança de 95%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os corpos de prova impressos em 3D para os ensaios de tração foram examinados visualmente e não foram identificados defeitos ou descontinuidades que afetassem significativamente os resultados dos ensaios de tração. A Figura 2 apresenta uma imagem representativa de um dos lotes de corpos de prova submetidos a análise visual antes dos testes mecânicos definitivos.



FIGURA 2. Lote de corpos de prova impresso em 3D para os ensaios mecânicos de tração.

A Tabela 1 apresenta a análise de variância (ANOVA) para o efeito dos parâmetros de impressão na massa das peças impressas em 3D. O quadro revelou que todos os parâmetros de impressão abordados afetaram estatisticamente a massa das amostras, ou seja, com probabilidade menor que 0,05 ( $P < 0,05$ ). A análise do quadrado médio ajustado também indicou que o fator mais relevante para a variação da resposta foi a espessura de camada. O quadrado médio ajustado (QM-Ajustado) corresponde a soma dos quadrados ajustada (SQ-Ajustado) dividido pelo número de graus de liberdade (GL).

TABELA 1. Análise de variância para o efeito dos parâmetros de impressão na massa das peças.

Fator de controle	GL	SQ-Ajustado	QM-Ajustado	F	P
Diâmetro do bico [mm]	1	0,14747	0,14747	8,28	<b>0,004</b>
Espessura de camada [%]	2	2,29289	1,14645	64,34	<b>0,000</b>
Velocidade de impressão [mm/s]	2	1,78070	0,89035	49,96	<b>0,000</b>
Temperatura de impressão [°C]	2	0,76353	0,38177	21,42	<b>0,000</b>
Erro	262	4,66875	0,01782		
Total	269				

A Figura 3 apresenta os gráficos do efeito dos parâmetros de impressão na massa das peças impressas em 3D. O aumento do diâmetro do bico e da temperatura de extrusão resultaram no aumento da massa, enquanto o inverso foi observado para os demais parâmetros de impressão. Estes resultados, associados a análise estatística do quadro ANOVA da Tabela 1, indicaram que a espessura de camada e a velocidade de corte são mais influentes na variação da massa. O incremento de ambos parâmetros tendem a aumentar os vazios entre as camadas depositadas, causando uma diminuição da massa. Apesar da variação de massa ser relativamente pequena, uma relação poderia ser estabelecida com a resistência mecânica dos corpos de prova.

A Tabela 2 apresenta o quadro ANOVA para o efeito dos parâmetros de impressão na resistência mecânica das peças impressas em 3D. De acordo com a análise estatística, apenas a temperatura de impressão não afetou estatisticamente a resistência mecânica das amostras. Além disso, a espessura de camada foi mais significativa para a variação da resposta, conforme análise do quadrado médio ajustado.

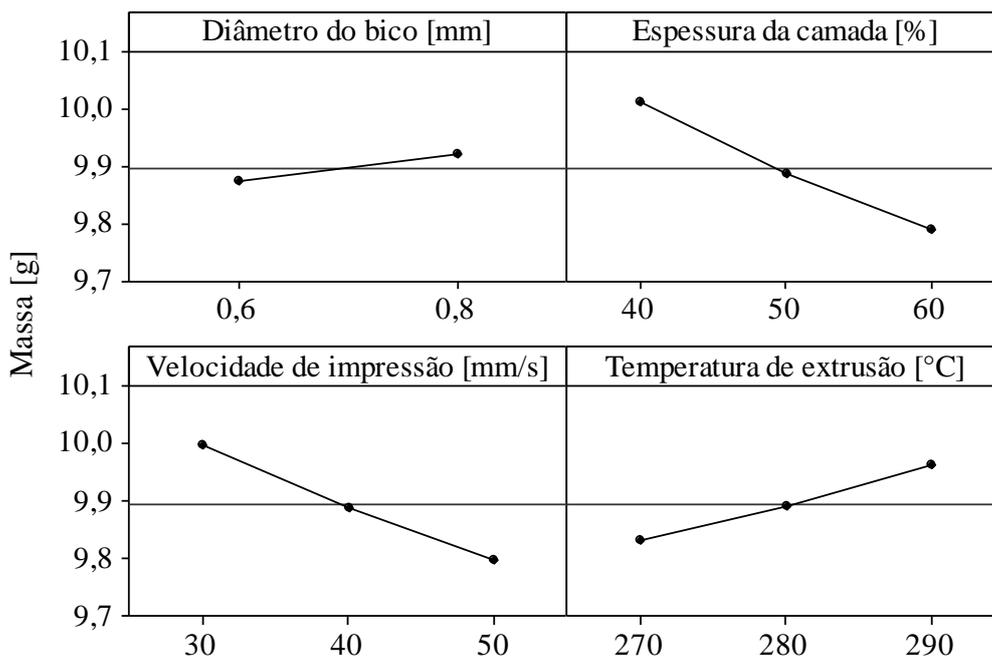


FIGURA 3. Gráficos do efeito dos parâmetros de impressão na massa das amostras.

TABELA 2. Análise de variância para o efeito dos parâmetros de impressão na resistência mecânica das peças.

Fator de controle	GL	SQ-Ajustado	QM-Ajustado	F	P
Diâmetro do bico [mm]	1	15,938	15,938	9,77	<b>0,002</b>
Espessura de camada [%]	2	192,766	96,383	59,07	<b>0,000</b>
Velocidade de impressão [mm/s]	2	70,087	35,044	21,48	<b>0,000</b>
Temperatura de impressão [°C]	2	3,515	1,757	1,08	0,342
Erro	262	427,482	1,632		
Total	269				

A Figura 4 apresenta os gráficos do efeito dos parâmetros de impressão na resistência mecânica das peças impressas em 3D. Apesar do efeito estatístico ( $P < 0,05$ ), o aumento do diâmetro do bico de extrusão representou uma variação de apenas 1% na resistência máxima, enquanto o aumento da espessura da camada resultou numa variação máxima de 4%. Com relação ao efeito da velocidade de impressão, a resistência apresentou um máximo na velocidade de 40 mm/s. Nesse sentido, um estudo da interação entre os fatores de controle (parâmetros de impressão) poderia esclarecer o fenômeno observado. O efeito da temperatura de extrusão não foi apresentado na Figura 4 pelo quadro ANOVA da Tabela 2 não ter revelado significância estatística ( $P > 0,05$ ).

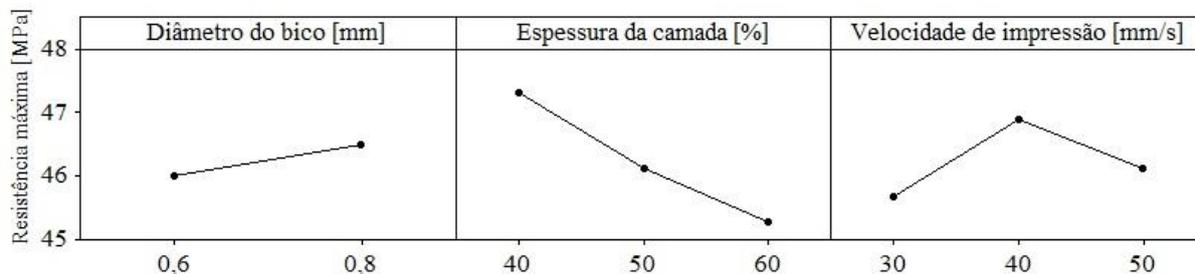


FIGURA 4. Gráficos do efeito dos parâmetros de impressão na resistência mecânica das peças.

## CONCLUSÕES

O ABS/PC apresenta uma resistência média de 46 MPa e qualidade das peças impressas, sem presença de defeitos aparentes. Os parâmetros de impressão são influentes no comportamento mecânico do material quando submetido a diferentes condições de impressão 3D. Altura de camada e velocidade

de impressão são os parâmetros estatisticamente mais significativos na variação da massa e resistência máxima. Na continuidade deste trabalho, uma análise estatística da interação entre os parâmetros de impressão será realizada para melhor compreensão do efeito dos fatores de controle nas respostas.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à empresa 3DX Filamentos Ltda pelos filamentos utilizados na impressão dos corpos de prova e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do IFSP pela bolsa da aluna.

### **REFERÊNCIAS**

BANDYOPADHYAY, Amit; GUALTIERI, T. P.; BOSE, Susmita. Global engineering and additive manufacturing. **Additive Manufacturing**, v. 1, p. 9-11, 2015.

HUANG, Jan-Chan; WANG, Ming-Song. Recent advances in ABS/PC blends. **Advances in Polymer Technology: Journal of the Polymer Processing Institute**, v. 9, n. 4, p. 293-299, 1989.

KHAN, Saifuddin; JOSHI, Ketan; DESHMUKH, Samadhan. A comprehensive review on effect of printing parameters on mechanical properties of FDM printed parts. **Materials Today: Proceedings**, 2021.

OSKOLKOV, A. A.; TRUSHNIKOV, D. N. and I. I. BEZUKLADNIKOV. "Application of induction heating in the FDM/FFF 3D manufacturing." **Journal of Physics: Conference Series**, vol. 1730, no. 1, p. 012005. IOP Publishing, 2021.

OSSWALD, Tim A.; PUENTES, John; KATTINGER, Julian. Fused filament fabrication melting model. **Additive Manufacturing**, v. 22, p. 51-59, 2018.

VOLPADO, N. **Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: EDGARD BLÜCHER, 2017. p.16, 2017

WOJTYŁA, Szymon; KLAMA, Piotr; BARAN, Tomasz. Is 3D printing safe? Analysis of the thermal treatment of thermoplastics: ABS, PLA, PET, and nylon. **Journal of occupational and environmental hygiene**, v. 14, n. 6, p. D80-D85, 2017.

YAP, Pui-Voon; CHAN, Ming-Yeng; KOAY, Seong-Chun. Preliminary Study on Mechanical Properties of 3D Printed Multi-materials ABS/PC Parts: Effect of Printing Parameters. **Journal of Physical Science**, v. 32, n. 2, 2021.