

## Influência do percentual de preenchimento no comportamento mecânico de peças em PLA e ABS obtidas por Impressão 3D por extrusão

### *Influence of fill percentage on the mechanical behavior of PLA and ABS parts obtained by 3D extrusion printing*

Marcos Massao Shimano<sup>1</sup>; Bruno Simões Barini<sup>2</sup>; Willian Baunier de Melo<sup>3</sup>; Vinicius Abrão da Silva Marques<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Professor do Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, Brasil. E-mail: marcos.shimano@uftm.edu.br

<sup>2</sup> Estudante do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, Brasil. E-mail: bruno\_barini@hotmail.com

<sup>3</sup> Estudante do Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, Brasil. E-mail: willian.melo@uftm.edu.br

<sup>4</sup> Professor do Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, Brasil. E-mail: vinicius.marques@uftm.edu.br

**RESUMO:** A tecnologia de impressão 3D por extrusão tem revolucionado a maneira como são fabricados peças e equipamentos. Esses processos permitem que sejam impressas peças com considerável complexidade geométrica a um baixo custo. Diferentes tipos de materiais termoplásticos podem ser utilizados. Tanto o tipo de material quanto os parâmetros do processo de impressão podem resultar em produtos com distintas propriedades mecânicas. Para verificar qual material tem o comportamento mais adequado a uma determinada aplicação, é necessário submetê-los a diferentes testes mecânicos, dentre estes os ensaios de flexão em 3 pontos e compressão. O objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento mecânico do PLA (Poli Ácido Láctico), e do ABS (Acrlonitrila Butadieno Estireno) utilizados na fabricação de corpos de prova com 15% e 30% de preenchimento, quando submetidos a esforços de flexão e compressão. As propriedades mecânicas analisadas foram a força máxima, a deformação até a força máxima e a rigidez. Os resultados indicaram que há diferenças estatisticamente significativas entre os grupos testados nos valores de força máxima para compressão, e rigidez para flexão. Os maiores valores para estas propriedades mecânicas foram apresentados pelo PLA com 30% de preenchimento. Para o teste de flexão o preenchimento teve influência direta na rigidez e para o teste de compressão a porcentagem de preenchimento influenciou em todas propriedades mecânicas avaliadas para ambos materiais. Nestes casos, quanto maior a porcentagem de preenchimento, maiores foram os valores observados. Ao caracterizar mecanicamente tais materiais o presente estudo colabora para que a manufatura aditiva resulte em produtos mais confiáveis, projetados conforme especificações técnicas validadas experimentalmente.

**Palavras-chave:** ABS, PLA, Impressão 3D, Comportamento mecânico.

**ABSTRACT:** *Extrusion 3D printing technology has revolutionized the way parts and equipment are manufactured. These processes allow parts with considerable geometric complexity to be printed at a low cost. Different types of thermoplastic materials can be used. Both the type of material and the parameters of the printing process can result in products with different mechanical properties. To verify which material has the most appropriate behavior for a particular application, it is necessary to submit them to different mechanical tests, among them the 3-point bending and compression tests. The objective of this work was to study the mechanical behavior of PLA (Poly Lactic Acid) and ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) used in the manufacture of specimens with 15% and 30% of filling, when subjected to flexural and compression efforts. The mechanical properties analyzed were maximum strength, deformation to maximum strength and stiffness. The results indicated that there are statistically significant differences between the groups tested in the values of maximum strength for compression, and stiffness for flexion. The highest values for these mechanical properties were presented by PLA with 30% filling. For the flexural test, the filling has a direct influence on the stiffness and for the compression test the filling percentage influenced all mechanical properties evaluated for both materials. In these cases, the higher the filling percentage, the higher the observed values. By mechanically characterizing such materials, the present study contributes to additive manufacturing results in more reliable products designed according to experimentally validated technical specifications.*

**Keywords:** ABS, PLA, 3D Printer, Mechanical behavior.

## INTRODUÇÃO

A impressão 3D, também chamada de manufatura aditiva, vem sendo aplicada nas mais diferentes áreas e conseguindo reduzir custos de protótipos e produtos funcionais (aplicação final). Na atualidade, pode-se considerar a tecnologia de impressão 3D como um grande acelerador para projetos de baixo custo, pois permite a fabricação de peças variadas e de considerável complexidade geométrica, com apenas um equipamento. Existem muitos materiais aplicáveis às impressoras 3D, dentre estes destaca-se o termoplástico.

Dentre as tecnologias de impressão 3D, uma das mais utilizadas atualmente é a impressão 3D por extrusão. Trata-se de um processo de manufatura aditiva no qual materiais termoplásticos são depositados em camadas, sendo possível criar estruturas com geometrias pré-definidas em programas do tipo CAD (*Computer Aided Design*). Baseia-se no princípio de deposição de material camada por camada ou sobreposição. O material é aquecido até atingir um estado semi-líquido ou pastoso e, em seguida é extrudado até se tornar um objeto tridimensional. Assim, a impressão 3D por extrusão é caracterizada por um mecanismo menos complexo e de baixo custo quando comparado às demais.

Ao ser impresso, os componentes possuem características que não se assemelham às do termoplástico enquanto filamento. Devido a esse fator, ensaios com a forma final do produto são necessários a fim de verificar suas características mecânicas e possíveis aplicações industriais.

Para solucionar esse problema há estudos que verificam a influência dos diversos parâmetros do processo de manufatura sobre as características mecânicas do produto final. Além da influência desses parâmetros, são testados diferentes tipos de termoplásticos, assim como a adição de outros materiais no processo. Sönmez e Yong (2014) verificaram a influência da adição de partículas metálicas e fibras na composição do material. Wang et al. (2016) estudaram a adição de microesferas termicamente expansíveis no comportamento mecânico dos materiais utilizados em impressão 3D, demonstrando uma melhoria nas propriedades mecânicas.

Alguns dos parâmetros do processo de manufatura que podem influenciar no comportamento mecânico são a espessura das camadas, a velocidade de impressão, a porcentagem de preenchimento das camadas intermediárias, a orientação dos filamentos depositados nas camadas e o tipo de material utilizado (TANIKELLA et al., 2017; DOMINGO-ESPIN et al., 2017).

Atualmente os materiais mais utilizados são o PLA ou Poli (Ácido Lático) e ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno). Em relação ao primeiro, existem estudos relacionados às propriedades de tração e flexão através da variação de parâmetros de impressão, dados pela variação da orientação de impressão, espessura da camada e velocidade de extrusão, conforme visto por Chacón et al. (2017) e possíveis melhorias obtidas com tratamento térmico, vistos por Torres et al. (2015). Já em relação ao ABS foram feitas pesquisas em relação às propriedades de tração e fadiga (LEE; HUANG, 2013).

Para verificar qual material tem o perfil mais adequado a uma determinada aplicação é necessário confrontá-los sob variações paramétricas similares. Alguns desses parâmetros possuem baixo grau de significância, porém no que se refere à orientação de deposição do filamento e a taxa de preenchimento das camadas percebe-se elevadas alterações no produto final em função de suas variações (MONTERO et al., 2012; WU et al., 2015).

O objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento mecânico do PLA e ABS submetidos a esforços de flexão em três pontos e de compressão, com preenchimentos

de 15% e 30%. Foram fabricados corpos de prova e testados mecanicamente para verificar a influência sobre os valores da força máxima, rigidez e deformação até a força máxima.

A escolha dos valores de 15% e 30% foi feita de maneira a definir a influência de diferentes percentuais de preenchimentos nas propriedades mecânicas de peças impressas, sendo escolhido baixos valores na tentativa de reduzir massa, tempo de impressão e custo do produto final.

O ensaio de flexão foi feito de maneira a avaliar a situação de menor resistência (situação crítica), conforme citado por Chacón et al. (2017), uma vez que as cargas, no caso da flexão, são aplicadas diretamente na linha de adesão entre camadas (zona mais fraca das peças obtidas pelo processo de impressão 3D por extrusão). Já o de compressão buscou caracterizar os materiais e verificar a influência do preenchimento mediante um modo de falha pouco explorado na literatura.

## MATERIAL E MÉTODOS

Todos os procedimentos experimentais foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM).

Com o objetivo de comparar as características do ABS e do PLA (marca 3DFila<sup>®</sup>) foram confeccionados 20 amostras de cada material, sendo 10 amostras com densidade de preenchimento de 15% e 10 amostras com 30% de preenchimento, totalizando 40 corpos de provas, de maneira a obter dados estatísticos que representem o comportamento dos materiais avaliados. As 40 provas foram submetidas a ensaios de flexão e de compressão. A **Tabela 1** apresenta as amostras divididas nos seguintes grupos experimentais:

**Tabela 1:** Configurações de impressão para os diferentes grupos amostrais

	% Preenchimento	Estratégia de decomposição	Ângulo de varredura	Espessura das camadas
PLA-15	15	tipo raster	45°	0,25 mm
PLA-30	30	tipo raster	45°	0,25 mm
ABS-15	15	tipo raster	45°	0,25 mm
ABS-30	30	tipo raster	45°	0,25 mm

### Confecção dos corpos de prova

A impressora 3D utilizada na fabricação das amostras foi da marca GTMax<sup>®</sup> 3D - modelo core A1. Esta impressora possui autonivelamento da mesa e gabinete totalmente fechado, o que possibilita a impressão com materiais que sofrem contração, como o ABS. Outra característica importante neste tipo de impressora é o posicionamento do extrusor, que fica no lado externos da impressora, possibilitando maior velocidade de impressão<sup>1</sup>.

Neste trabalho foi utilizado um extrusor com diâmetro do bico de 0,4 mm. Os corpos de provas foram padronizados para o teste de flexão na forma de um

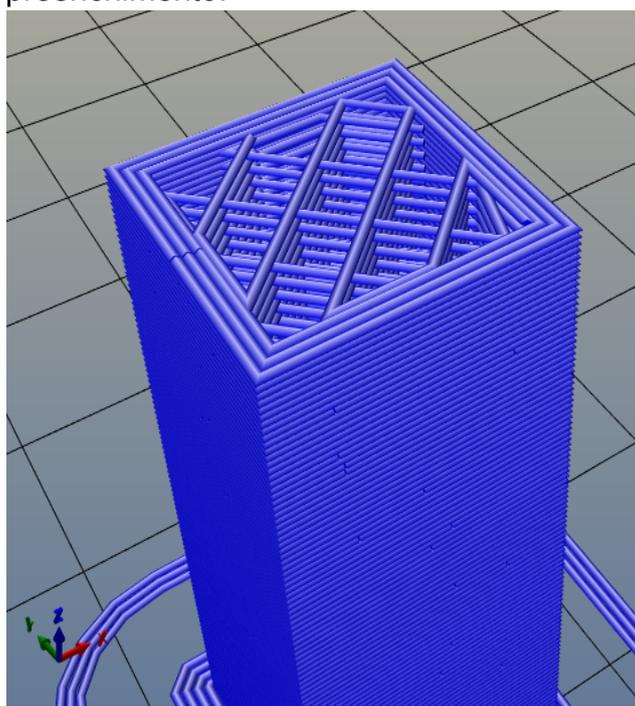
<sup>1</sup> Não é objeto de estudo deste trabalho comparar os resultados com o de outras impressoras 3D por extrusão.

paralelepípedo com 12 mm de largura (eixo x), 12 mm de altura (eixo y) e 80 mm de comprimento (eixo z). O desenho foi feito no programa AutoCad® e exportado na extensão .stl. A impressão foi feita em camadas no plano xy, conforme **Figura 1**. Para a impressão foram utilizados os programas livres Repetier-Host® e o Slic3r®, este último com a finalidade gerar o G-Code. Os parâmetros de impressão usados para gerar o código foram definidos com valores padronizados de acordo com o **Quadro 1**.

Parâmetros (inglês)	Parâmetros (português)	Valor
<i>Layer height</i>	Espessura das camadas	0,25 mm
<i>First layer height</i>	Espessura da primeira camada	0,35 mm
<i>Vertical shells</i>	Camadas laterais	3
<i>Horizontal shells</i>	Camadas horizontais	3 na base e 3 no topo
<i>Seam Position</i>	Posição de início de cada camada	Randômico
<i>Fill density</i>	Densidade de preenchimento	15% ou 30%
<i>Fill pattern</i>	Padrão de preenchimento	Rectilinear
<i>Fill angle</i>	Ângulo do preenchimento	45°
<i>Speed perimeters</i>	Velocidade do perímetro	30 mm/s
<i>Speed small perimeters</i>	Velocidade de perímetros pequenos	30 mm/s
<i>Speed external perimeters</i>	Velocidade do perímetro externo	25 mm/s
<i>Speed infill</i>	Velocidade do preenchimento	30 mm/s

Tais parâmetros não são baseados em normas, pois são inexistentes. Além disso, estes valores são configurados de acordo com o modelo de impressora e marca de filamento, sendo ajustados experimentalmente buscando uma melhor qualidade de impressão.

**Figura 1.** Simulação da impressão dos corpos de provas com 15% de preenchimento.



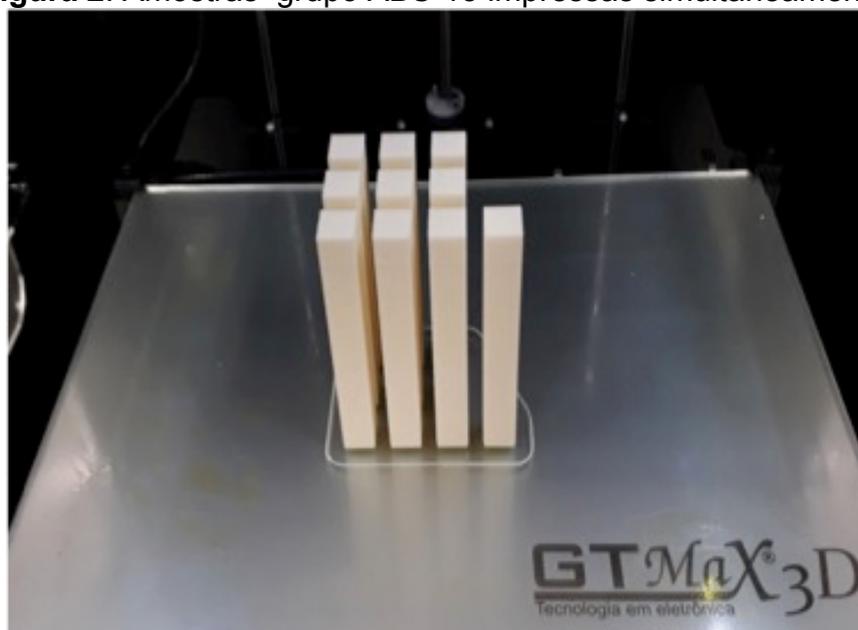
As temperaturas de impressão foram definidas de acordo com o fabricante (3D Fila, 2018), e variou com o tipo de material, conforme **Tabela 2**.

**Tabela 2.** Parâmetros da temperatura para impressão dos materiais PLA e ABS

Temperatura (°C)	PLA	ABS
<b>Extrusora</b>	215	220
<b>Mesa</b>	65	110

Com o objetivo de reduzir a influência de outros fatores (temperatura ambiente de 21 °C e umidade de 40%) que possam causar alterações na impressão, as 10 amostras de cada grupo foram impressas simultaneamente, conforme ilustrado nas **Figuras 1 e 2**.

**Figura 2.** Amostras grupo ABS-15 impressas simultaneamente.



Após as impressões, todas as provas foram identificadas e mensuradas (largura, altura e comprimento) com um paquímetro digital da marca INSIZE® (resolução de 0,01 mm). Posteriormente, a massa foi medida em uma balança de precisão da marca MARTE® – modelo AC-2000 (resolução de 0,001 g).

### Ensaio mecânico de flexão em três pontos

Após identificação e obtenção dos parâmetros geométricos, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de flexão de três pontos utilizando uma Máquina Universal de Ensaio modelo WDW – 1000E da marca TIME Group Inc. Para a obtenção das forças exercidas, foi utilizada uma célula de carga com capacidade máxima de 4905 N e as deformações foram captadas pelos sensores internos de deslocamento da máquina.

O corpo de prova foi apoiado sobre dois cilindros distanciados de 60 mm, definido experimentalmente. Foi aplicada uma força vertical com um cilindro posicionado entre os dois apoios, conforme Figura 3. A velocidade de aplicação da força foi de 1 mm/min, definida experimentalmente.

**Figura 3.** Posicionamento da amostra para realização do ensaio de flexão em três pontos

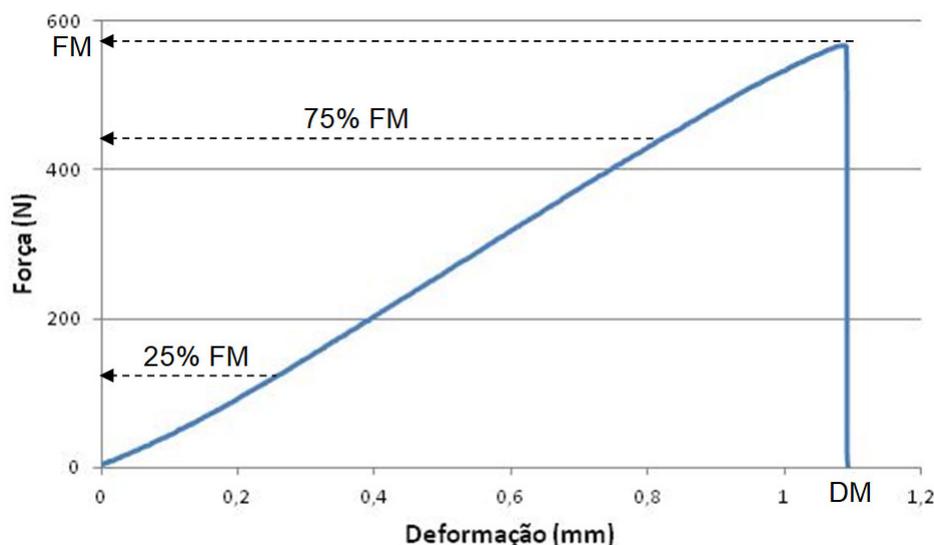


A partir dos ensaios mecânicos de flexão em três pontos foram obtidas curvas de força (N) x deformação (mm). Como os corpos de provas não foram fabricados com 100% de preenchimento, não foi possível calcular o momento de inércia das amostras e assim impedindo de trabalhar com o parâmetro de tensão. Além disso, o mesmo motivo inviabiliza padronizar os testes realizados de acordo com as normas da literatura, as quais tratam de corpos de prova homogêneos com 100% de preenchimento.

Portanto, as propriedades mecânicas analisadas foram:

- Força máxima (FM) – é o valor máximo da força suportada pela estrutura (**Figura 4**).
- Deformação máxima (DM) - é o valor da deformação máxima antes da ruptura da estrutura (**Figura 4**).
- Rigidez estrutural – é a inclinação da curva na região elástica. Neste caso, a rigidez é da estrutura (rigidez extrínseca). Ela foi determinada entre os pontos de 25% e 75% da força máxima (**Figura 4**) (CHACÓN et al., 2017).

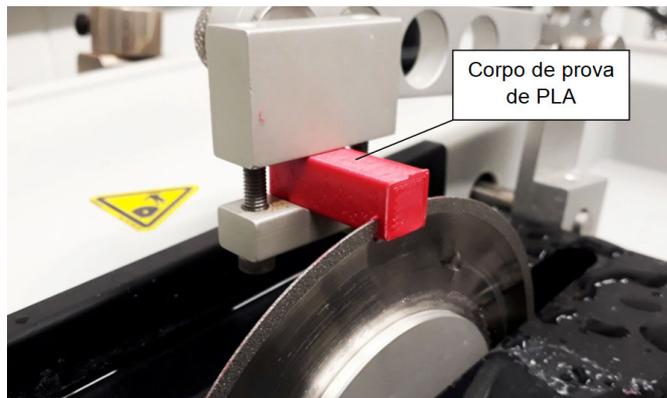
**Figura 4.** Curva analisada para determinação das propriedades mecânicas no ensaio de flexão em três pontos.



## Ensaio mecânico de compressão

Após o ensaio de flexão, as amostras foram cortadas numa cortadeira metalográfica da marca Buehler® - modelo Isomet 1000. Primeiramente foi feito um corte com 3mm para excluir da amostra as camadas da base com 100% de preenchimento e depois foi feito outro corte para deixá-la com um tamanho de 12 mm (**Figura 5**). O processo de corte foi feito em um equipamento de precisão, o qual minimiza os danos causados na interface entre filamentos.

**Figura 5.** Detalhe do corte da amostra para obtenção da prova para ensaio de compressão.



Foram obtidas 40 amostras (**Figura 6**), que foram identificadas e submetidas ao ensaio de compressão.

**Figura 6.** Amostras cortadas para realização do ensaio de compressão.



As amostras foram submetidas ao ensaio de compressão utilizando a mesma máquina universal de ensaios. Para a obtenção das forças exercidas, foi utilizada uma célula de carga com capacidade máxima de 4905N e as deformações foram captadas pelos sensores internos de deslocamento da máquina. A prova foi colocada entre duas placas e foi aplicada uma força vertical na direção do plano tangente às camadas, na velocidade de 1 mm/min (**Figura 7**).

**Figura 7.** Posicionamento da prova para realização do ensaio de compressão.

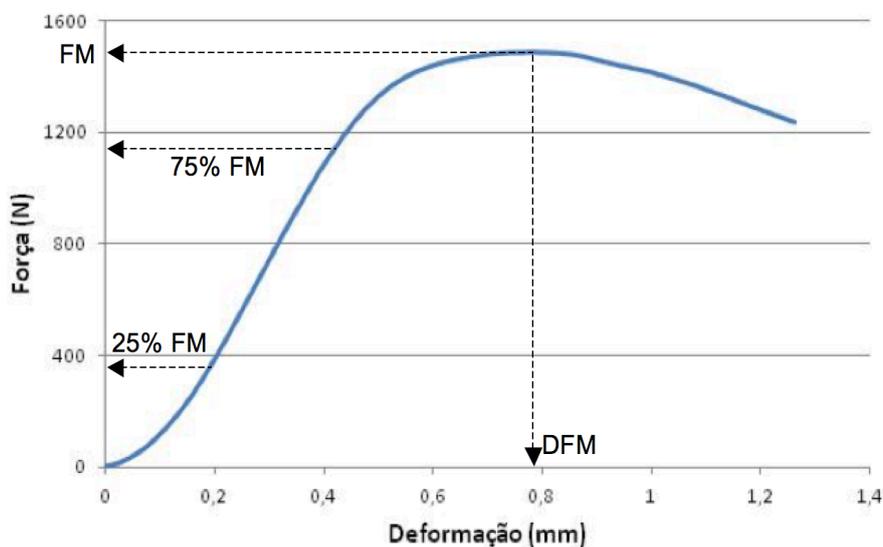


A partir dos ensaios de compressão foram obtidas curvas de força (N) x deformação (mm). Como a área de aplicação da força não é conhecida devido a direção do carregamento e da porcentagem de preenchimento das camadas, também não foi possível trabalhar com a tensão.

Para o teste de compressão as propriedades mecânicas analisadas foram:

- Força máxima (FM) – é o valor máximo da força suportada pela estrutura (Figura 8).
- Deformação até a força máxima (DFM) - é o valor da deformação máxima antes da ruptura da estrutura (Figura 8).
- Rigidez estrutural – é a inclinação da curva na região elástica. Neste caso, a rigidez é da estrutura (rigidez extrínseca). Ela foi determinada entre os pontos de 25% e 75% da força máxima (Figura 8) (CHACÓN et al., 2017).

**Figura 8.** Curva analisada para determinação das propriedades mecânicas no ensaio de compressão.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As dimensões e as massas das amostras não tiveram variações significativas entre os grupos. As médias e os desvios-padrão estão apresentados na **Tabela 3**.

**Tabela 3.** Médias e desvios padrões das dimensões e das massas das amostras impressas.

Grupos	Dimensões (mm)			Massas (g)
	Largura	Altura	Comprimento	
<b>PLA-15</b>	12,11±0,89	12,09±0,23	80,12±0,11	6,652±0,075
<b>PLA-30</b>	12,08±0,24	12,13±0,76	80,09±0,21	8,244±0,088
<b>ABS-15</b>	12,29±0,56	12,27±0,82	80,16±0,37	5,189±0,085
<b>ABS-30</b>	12,16±0,34	12,18±0,54	80,21±0,45	6,198±0,098

As propriedades mecânicas foram comparadas estatisticamente utilizando o programa GraphPad Instat<sup>®</sup> para realização das comparações estatísticas. Primeiramente foi aplicado o teste de Normalidade de Kolmogorov e Smirnov. Todos os grupos passaram no teste de normalidade.

Em seguida, para cada propriedade mecânica foram feitas análises comparando todos os 4 grupos de teste simultaneamente (ABS e PLA com 15% e 30% de preenchimento). Para isso, foram realizados os testes paramétricos ANOVA, para as propriedades mecânicas com desvio padrão semelhantes, e não paramétrico de Kruskal-Wallis, para desvio padrão com diferenças significativas.

Os resultados indicaram que no teste de compressão, somente a propriedade de deformação até a força máxima apresentou ser não paramétrica. No teste de flexão todas apresentaram ser paramétricas.

Em ambos os testes de flexão e compressão a comparação considerando todos os grupos simultaneamente indicou que existem diferenças estatísticas nas propriedades.

Em seguida foram feitas análises comparando os 4 grupos de teste dois-a-dois. Para essa comparação foi aplicado o teste de Tukey-Kramer para dados paramétricos e de Dunn para dados não paramétricos. Todas as análises foram feitas com 95% de confiança.

### Ensaio de flexão em três pontos

As curvas de força x deformação obtidas para os 4 grupos no teste de flexão são ilustradas na **Figura 9**. São apresentadas as curvas de uma amostra por grupo, de maneira a ilustrar o comportamento apresentado nos testes.

**Figura 9.** Força x deformação no teste de flexão em três pontos



Das curvas obtidas do ensaio de flexão em três pontos foram determinadas as propriedades mecânicas, que são apresentadas na **Tabela 4**.

**Tabela 4.** Características mecânicas dos materiais utilizando teste de flexão em três pontos

Grupos	Flexão em três pontos		
	Força máxima (N)	Deformação Máxima (mm)	Rigidez (N/mm)
<b>PLA-15</b>	435,8±31,5	1,08±0,11	456,6±16,0
<b>PLA-30</b>	516,2±37,6	1,05±0,07	539,2±26,0
<b>ABS-15</b>	262,0±37,3	0,81±0,14	364,3±16,2
<b>ABS-30</b>	289,0±37,3	0,81±0,07	401,1±20,0

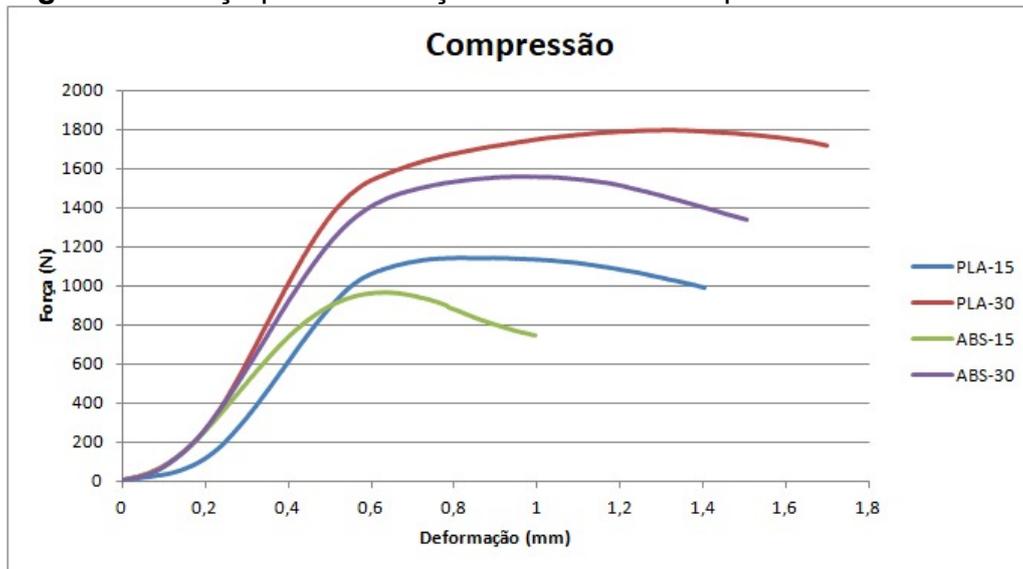
Para o ensaio de flexão, a comparação entre os pares de grupos resultou em:

- Força Máxima: Não houve diferença estatística entre ABS-15 e ABS-30, as demais comparações entre pares de grupos apresentaram diferenças estatísticas.
- Deformação máxima: Não houve diferença entre PLA-15 e PLA-30 e não houve diferença entre ABS-15 e ABS-30.
- Rigidez: Diferenças estatísticas entre todos os pares de grupos.

### Ensaio de compressão

As curvas de força x deformação obtidas para os 4 grupos no teste de compressão são ilustradas na **Figura 10**. São apresentadas as curvas de um corpo de prova por grupo, de maneira a ilustrar o comportamento apresentado nos testes.

**Figura 10.** Força por deformação no teste de compressão



Das curvas obtidas do ensaio de compressão foram determinadas as propriedades mecânicas, que são apresentadas na **Tabela 5**.

**Tabela 5.** Características mecânicas dos materiais utilizando teste de compressão

Grupos	Compressão		
	Força máxima (N)	Deformação na força máxima (mm)	Rigidez (N/mm)
<b>PLA-15</b>	1138,1±62,5	0,74±0,09	2968±248
<b>PLA-30</b>	1815,5±78,5	1,41±0,24	4146±237
<b>ABS-15</b>	944,7±91,5	0,68±0,11	2790±238
<b>ABS-30</b>	1465,3±92,5	0,90±0,08	3283±226

Para o ensaio de compressão, a comparação entre os pares de grupos resultou em:

- Força máxima: Diferença estatística entre todos os pares de grupos.
- Deformação: Não houve diferença estatística entre os grupos PLA-15 e ABS-15; PLA-15 e ABS-30; PLA-30 e ABS-30.
- Rigidez: Não houve diferença estatística entre os grupos PLA-15 e ABS-15.

## Discussões

Neste trabalho foram testados o efeito do preenchimento no comportamento mecânico em dois tipos de materiais. O teste de flexão foi escolhido para verificar o comportamento de adesão entre as camadas e o de compressão para analisar o efeito da geometria da estrutura.

Os resultados indicaram que houve diferenças significativas quando comparados simultaneamente os 4 grupos testados em todas as propriedades mecânicas analisadas nos dois tipos de ensaios (flexão e compressão). E, os maiores valores observados para

todas as propriedades mecânicas foram apresentados pelo PLA com 30% de preenchimento.

De acordo com a **Tabela 4**, o teste de flexão mostrou que houve diferença estatística para a deformação máxima e rigidez entre os dois materiais, porém não houve diferença devido ao preenchimento para o mesmo material. O preenchimento influenciou significativamente na força máxima do PLA, mas não na força máxima do ABS. O PLA-30 apresentou maiores valores de força máxima e rigidez, seguido pelo PLA-15, ABS-30 e ABS-15. No teste de flexão, o tipo de material teve estatística distinta em todos os parâmetros mecânicos avaliados (**Figura 9**).

Para o teste de compressão (**Tabela 5**) a porcentagem de preenchimento influenciou em todas as propriedades mecânicas avaliadas. Nestes casos, quanto maior a porcentagem, maiores foram os valores observados. O tipo de material modificou os valores de força máxima e para o caso de 30% de preenchimento observou-se diferenças na rigidez, sendo que a deformação não foi afetada pelas diferentes configurações de preenchimento. O PLA-30 apresentou maiores valores de força máxima e rigidez, superando o PLA-15, e de maneira semelhante ao teste de flexão. O ABS-15 foi o que apresentou menores valores de força máxima e rigidez (**Figura 10**).

Observa-se, portanto, que a quantidade de preenchimento das camadas tem impacto maior no teste de compressão, visto que neste teste a geometria da estrutura apresenta influência direta nos valores dos parâmetros mecânicos avaliados. Já no teste de flexão, a adesão entre as camadas foi fator mais significativo, resultado que corrobora com os achados de Casavola et al. (2016). Porém, os testes mostraram que a porcentagem de preenchimento influenciou mais no teste de compressão do que no de flexão.

Dessa forma, indica-se o PLA com 30% para projetos que requerem maior rigidez e maiores esforços tanto de flexão quanto de compressão. Porém, observando as massas das amostras obtidas, pode-se dizer que é um material mais denso, o que também deve ser levado em consideração em projetos similares.

## CONCLUSÕES

Com o presente trabalho foi possível verificar a influência do tipo de material e a porcentagem de preenchimento das camadas nas propriedades mecânicas de força máxima, deformação até a força máxima e rigidez de amostras fabricadas pelo método de manufatura aditiva.

Testes de flexão em 3 pontos e compressão foram realizados de maneira a quantificar o comportamento de 4 grupos de testes: PLA com 15% de preenchimento, PLA com 30% de preenchimento, ABS com 15% de preenchimento e ABS com 30% de preenchimento.

Os resultados indicaram que o PLA com 30% de preenchimento apresenta maiores valores de rigidez e força máxima em ambos os testes de flexão em 3 pontos compressão. Já o ABS com 15% de preenchimentos apresentou os menores valores para tais propriedades mecânicas.

No teste de flexão o tipo de material teve influência estatística em todos os parâmetros mecânicos avaliados. Já no teste de compressão o tipo de material influenciou nos valores de força máxima, influenciou pouco na rigidez e não influenciou na deformação.

Já a porcentagem de preenchimento influenciou apenas na rigidez no teste de flexão e teve influência direta em todos os parâmetros mecânicos avaliados para o teste de compressão, em ambos os materiais.

Como trabalhos futuros propõe-se avaliar a influência de outros parâmetros do processo de manufatura aditiva, tais como velocidade de impressão, outras formas de preenchimento e outros tipos de materiais, submetidos a diferentes tipos de esforços mecânicos.

Com os resultados obtidos neste presente trabalho é possível melhor projetar peças utilizando a técnica de manufatura aditiva visto que o conhecimento do comportamento mecânico é de grande importância para se ter produtos mais confiáveis e com previsível durabilidade.

## REFERÊNCIAS

3D Fila, Disponível em: <https://3dfila.com.br/>, Acesso em: 25 Out. 2018.

CASAVOLA, C. et al. Orthotropic mechanical properties of fused deposition modelling parts described by classical laminate theory. **Materials and Design**, v. 90, p. 453-458, 2016.

CHACÓN, J.M. et al. Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling: Effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection. **Materials and Design**, v. 124, p. 143-157, 2017.

DOMINGO-ESPIN, M. et al. Mechanical property characterization and simulation of fused deposition modeling Polycarbonate parts. **Materials and design**, v. 83, p. 670-677, 2015.

LEE, J.; HUANG A. Fatigue analysis of FDM materials. **Rapid Prototyping Journal**, v. 19, n. 4, p. 291-299, 2013.

MONTERO, M. et al. Material Characterization of Fused Deposition Modeling (FDM) ABS by Designed Experiments. In: **Proceedings of the SME RPA Conference**. Cincinnati, 2012.

SÖNMEZ, G.; YONG, C.K. Additive manufacturing of composites: current developments and use in the near future. In: **UTWENTE 3D Printing Research Papers 2015/2016**. Enschede, 2014.

TANIKELLA, N.G.; WITTBRODT, B.; PEARCE, J.M. Tensile strength of commercial polymer materials for fused filament fabrication 3D printing. **Additive Manufacturing**, v. 15, p. 40-47, 2017.

TORRES, J. et al. Mechanical Property Optimization of FDM PLA in Shear with Multiple Objectives. **The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society**, v. 67, n. 5, 1183-1193, 2015.

WANG, J. et al. A novel approach to improve mechanical properties of parts fabricated by fused deposition modeling. **Materials and Design**, v. 105, p. 152-159, 2016.

WU, W. et al. Influence of layer thickness and raster angle on the mechanical properties of 3D-Printed PEEK and comparative mechanical study between PEEK and ABS. **Materials**, v. 8, p.5834-5846, 2015.

Recebido em: 24/09/2018.

Aprovado em: 27/12/2018.