

## ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE PEÇAS PRODUZIDAS POR MANUFATURA ADITIVA EM DIFERENTES POSIÇÕES DE IMPRESSÃO UTILIZANDO FILAMENTOS DE PLA, PETG E POLIAMIDA

## MECHANICAL ANALYSIS BEHAVIOR OF PARTS PRODUCED BY ADDITIVE MANUFACTURING IN DIFFERENT PRINTING POSITIONS USING PLA, PETG AND POLYAMIDE FILAMENTS

*Hélio dos Santos França Junior<sup>1</sup>, Marcus Paulo Lima de Carvalho<sup>2</sup>*

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17315144>

### RESUMO

Este estudo realizou uma análise comparativa das propriedades mecânicas de corpos de prova, utilizando filamentos de PLA, PETG e Poliamida, produzidos por meio da tecnologia *Fused Deposition Modeling* (FDM) de impressão 3D. Os ensaios mecânicos basearam-se na norma ASTM D638. Também foram realizadas análises comparativas com relação à posição de deposição de filamentos, onde foram impressos corpos de prova na

posição horizontal e vertical. Os resultados apresentaram diferenças significativas no comportamento mecânico com relação aos materiais utilizados, assim como com as posições de impressão. Foi possível concluir que a escolha do material e da posição de impressão deve considerar as demandas específicas da aplicação, destacando o potencial da impressão 3D na manufatura de componentes mecânicos.

**Palavras-chave:** Impressão 3D; Propriedades Mecânicas, Parâmetros de impressão.

### ABSTRACT

This study performed a comparative analysis of the mechanical properties of test specimens using PLA, PETG, and Polyamide filaments, produced using Fused Deposition Modeling (FDM) 3D printing technology. The mechanical tests were based on the ASTM D638 standard. Comparative analyses were also performed regarding the filament deposition position, with test specimens printed in horizontal

and vertical positions. The results showed significant differences in mechanical behavior regarding the materials used, as well as the printing positions. It was concluded that the choice of material and printing position should consider the specific demands of the application, highlighting the potential of 3D printing in the manufacture of mechanical components.

<sup>1</sup>Professor Mestre em Engenharia Metalúrgica e Materiais – UFF. Prof. e Coordenador dos Cursos de Engenharia do Centro Universitário do Rio de Janeiro – UNIRJ. Professor da Fundação Técnico Educacional Souza Marques – Faculdade de Engenharia Mecânica – Laboratório de Tecnologia Mecânica. E-mail: helio.junior@uniesp.edu.br

<sup>2</sup>Graduando da Fundação Técnico Educacional Souza Marques – Faculdade de Engenharia Mecânica. E-mail: marcuspl.carvalho@gmail.com

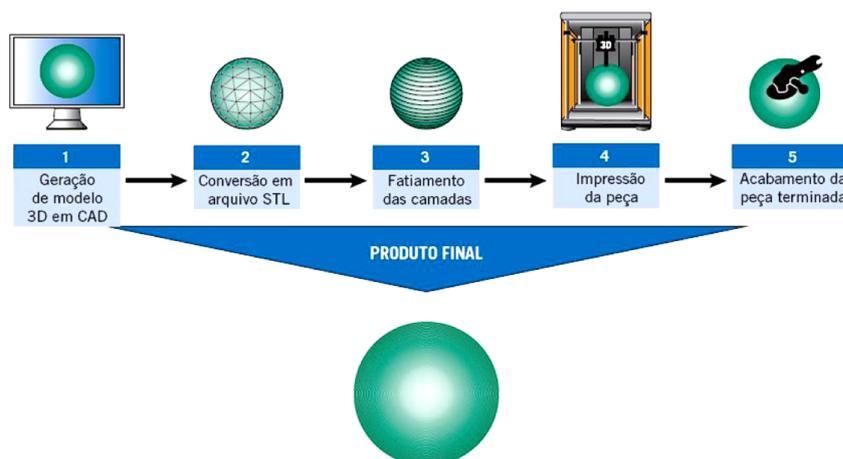
**Keywords:** 3D Printing; Mechanical Properties, Printing Parameters

## 1. INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva se apresenta como uma alternativa aos métodos de fabricação convencionais, sendo uma tecnologia inovadora que permite a fabricação de peças em diversos materiais, com geometrias complexas, além do baixo índice de desperdício, já que se trata de um método de fabricação que se baseia na adição de camadas de material a partir de um arquivo CAD (*Computer-Aided Design*) (Callister, 2020).

Ainda segundo Callister (2020), para a fabricação de uma peça por manufatura aditiva, o primeiro passo é gerar um modelo digital da peça desejada, seja por CAD ou um scanner 3D, em seguida, é necessário converter o arquivo 3D para modelo *Standard Triangle Language* (STL). Desse modo, o arquivo poderá ser lido pelo software “fatiador”, responsável por cortar o arquivo em camadas horizontais, para estabelecer o caminho que o equipamento irá percorrer para produzir a peça. Por fim, a peça já pode ser produzida; e, se necessário, poderá também passar por uma etapa de acabamento. A Figura 1 ilustra os processos envolvidos na produção de peças por manufatura aditiva.

**Figura 1:** Fluxograma para impressão 3D de peça

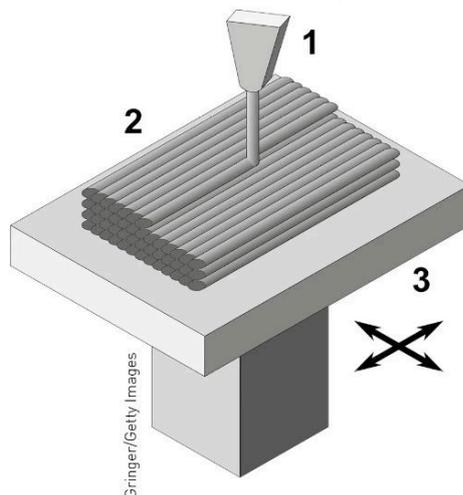


Fonte: Callister (2020, p. 337)

Dentre as diferentes tecnologias de manufatura aditiva, destaca-se a conhecida *Fused Deposition Modeling* (FDM) devido à acessibilidade e à facilidade de uso. Esse processo é caracterizado pelo uso de materiais termoplásticos na forma de filamentos que, uma vez aquecidos, são forçados a atravessar um orifício sendo depositado em sucessivas camadas,

formando a geometria da peça desejada. A Figura 2 exemplifica a deposição de material por meio da tecnologia FDM.

**Figura 2:** Processo de deposição de material através da tecnologia FDM



Fonte: Santos (2020, p. 97)

A escolha do material é fundamental para garantir a performance almejada para uma peça produzida por impressão 3D. Materiais termoplásticos são indicados quando se utiliza a tecnologia FDM de manufatura aditiva, com destaque para o PLA, PETG e PA.

O Poli(ácido láctico), ou PLA, é um dos polímeros biodegradáveis mais conhecidos. Ele é fabricado a partir de produtos renováveis ricos em amido, como milho, açúcar de beterraba ou trigo. É considerado um termoplástico e possui propriedades físicas e mecânicas comparáveis ao poli(tereftalato de etileno) (PET) (Silva, 2014). É considerado o material mais fácil de se utilizar com a tecnologia FDM, sendo indicado aos iniciantes na impressão 3D. Porém, é um material quebradiço, restringindo-se a aplicações que requerem resistência mecânica. Além disso, também não é recomendado utilizá-lo em operações acima de 60°C (Besko, 2017).

O polietileno tereftalato de etileno glicol, ou PETG, é um material que ganhou espaço nos últimos anos. É considerado um polímero de engenharia e, geralmente, é utilizado quando há necessidade de produzir peças mais flexíveis e duráveis. Trata-se de uma versão alterada do PET, com a adição de Glicol na composição, com o intuito de deixar o material menos rígido e mais fácil de ser manipulado (Santana, 2018). É frequentemente considerado um intermediário vantajoso entre o PLA e o ABS, oferecendo maior durabilidade e flexibilidade em relação ao

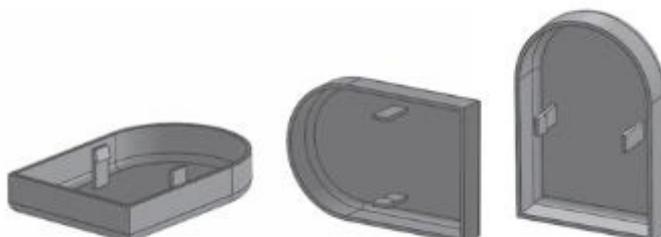
PLA, além de ser mais fácil de imprimir do que o ABS. Porém, assim como o PLA, o PETG é higroscópico, isto é, absorve a umidade do ar com mais facilidade. Seu armazenamento deve ser em local seco (Besko, 2017).

A poliamida (PA), comercialmente conhecida como Nylon, é um polímero termoplástico amplamente utilizado em diversas indústrias devido às suas excelentes propriedades mecânicas, dentre as quais destacam-se: boa resistência mecânica, resistência à abrasão e tenacidade, e o baixo coeficiente de atrito (Callister, 2020). Besko (2017) menciona que as poliamidas formam uma classe de polímeros desejada para aplicações de engenharia devido à sua combinação de propriedades, como estabilidade dimensional, boa resistência ao impacto, mesmo sem entalhes e excelente resistência química. Todavia, assim como o PLA, o filamento de Nylon é altamente sensível à umidade, sendo necessário adotar medidas de secagem tanto durante o armazenamento, quanto imediatamente antes da impressão.

Por outro lado, a posição de impressão é um parâmetro fundamental na fabricação de peças através da tecnologia FDM, influenciando diretamente nas propriedades mecânicas, no acabamento e no tempo de impressão da peça final. Esse parâmetro define a disposição das camadas em relação ao eixo principal de construção.

A escolha da posição em relação à mesa também influencia a resistência mecânica da peça, podendo determinar se ela será capaz de suportar a carga na aplicação prevista. Uma orientação inadequada pode levar a falhas estruturais, principalmente em direção perpendicular às camadas, onde a peça é mais suscetível à delaminação. Assim, essa escolha deve ser feita considerando a finalidade de uso do produto e as cargas específicas que ele irá suportar, pois a direção da aplicação da força afeta diretamente a integridade mecânica. Essa variação nas propriedades, decorrente da orientação de impressão, é uma característica comum dos materiais anisotrópicos (Ambrós, 2019). A Figura 3 ilustra diferentes posições de impressão para a confecção de peças através da impressão 3D.

**Figura 3** – Diferentes posições de impressão



Fonte: Volpato (2017, p. 106)

A proposta deste estudo é analisar o comportamento mecânico de peças produzidas através da tecnologia FDM de impressão 3D, variando materiais de filamento (PLA, PETG e PA) em diferentes posições de deposição de material, motivada pela necessidade de se estabelecer uma comparação das condições operacionais de impressão, face ao crescente uso da manufatura aditiva em variadas aplicações industriais.

## 1. OBJETIVOS

Estabelecer parâmetros para aplicações de peças produzidas por meio da manufatura aditiva, fundamentados no comportamento mecânico dos materiais PLA, PETG e PA, em diferentes posições de impressão.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Confeção dos corpos de prova

Os corpos de prova foram confeccionados em uma impressora da marca Creality, modelo Ender 3 v2 Neo, cujas especificações são apresentadas no Quadro 1.

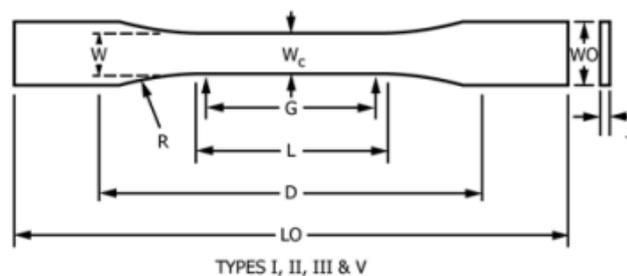
**Quadro 1:** *Dados técnico da impressora*

Dados Técnico da impressora	
Dimensões	438 x 424 x 472 mm
Volume de impressão	220 x 220 x 250 mm
Velocidade máxima	120 m/s
Temperatura máxima do bico	260°C
Temperatura máxima da mesa	100 °C

Fonte: Autores

Para garantir a reprodutibilidade e precisão dos resultados, todas os corpos de prova foram impressos com dimensões padronizadas, conforme estabelece a norma ASTM D638, cuja geometria é apresentada na Figura 4.

**Figura 4:** Corpo de prova padronizado conforme norma ASTM D638



Fonte: ASTM D638

As dimensões utilizadas foram escolhidas com base no “Type I” encontrado na norma, e podem ser verificados no Quadro 2.

**Quadro 2:** Dimensões padronizadas dos corpos de prova conforme norma ASME D638

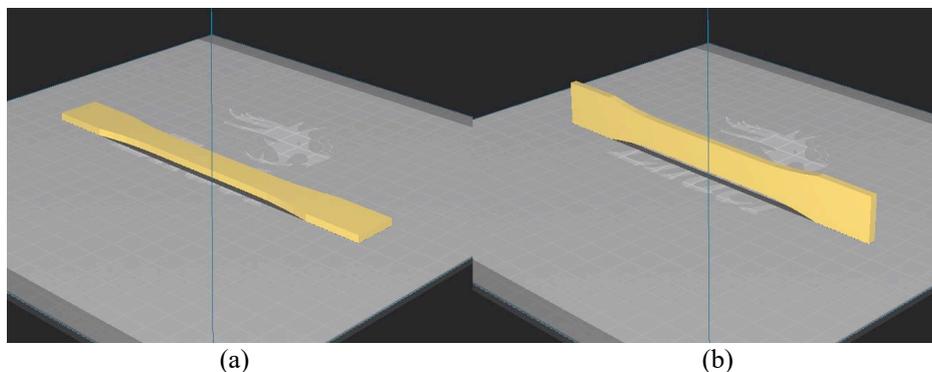
Cotas	Dimensões
Largura da seção estreita ( $W_c$ )	13 mm
Comprimento de seção estreita (L)	57 mm
Largura total (WO)	19 mm
Comprimento total (LO)	165 mm
Comprimento de medição (G)	50 mm
Distância entre garras (D)	115 mm
Raio de filete (R)	76 mm

Fonte: ASTM D638

## 2.2. Parâmetros de impressão

Para a realização dos ensaios, foram fabricados 10 corpos de prova para cada material, sendo 5 amostras impressas na posição horizontal ( $0^\circ$  em relação à base da impressora) e 5 amostras na posição vertical ( $90^\circ$  em relação à base). Essa variação na posição de impressão foi adotada para investigar como o alinhamento das camadas de material afeta as propriedades mecânicas dos polímeros, especialmente em relação à resistência à tração e à adesão entre camadas. A Figura 5a e 5b ilustram as posições de impressão dos corpos de prova horizontal e vertical respectivamente.

**Figura 5:** Posição de impressão dos corpos de prova



Fonte: Autores

Todas as peças foram impressas em superfície de vidro, utilizando um bico de 0,4 mm de diâmetro. Os parâmetros utilizados na impressão dos corpos de prova são apresentados no Quadro 3.

**Quadro 3:** Parâmetros de impressão dos corpos de prova

	PLA	PETG	PA
Fabricante	3DFila	3DFila	Print a Lot
Cor	verde	branco	natural
Temperatura do bico	205°C	230°C	250°C
Velocidade de impressão	30 mm/s	30 mm/s	30 mm/s
Preenchimento	triangular	triangular	triangular
Densidade de preenchimento	80%	80%	80%
Número de camadas de parede	3	3	3
Número de camadas de base	3	3	3
Número de camadas de topo	3	3	3

Fonte: Autores

### 2.3. Ensaio de tração

Os dados técnicos do equipamento utilizado nos ensaios de tração para caracterização das propriedades mecânicas dos corpos de prova são apresentados no Quadro 4.

**Quadro 4:** Dados técnicos da máquina de ensaio universal

Dados técnicos do equipamento	
Marca	EMIC
Modelo	DL 2000
Capacidade de carga	20 kN
Velocidade de ensaio	0,001 mm/min e 500 mm/min
Software de análise	Tesc (versão 7.0)

Fonte: Autores

## 2.4. Planejamento de experimentos

O Quadro 5 apresenta a identificação dos corpos de prova com relação aos materiais e às posições adotadas. Foram confeccionados 5 amostras para cada grupo de análises, conforme especificação da norma ASTM D638.

**Quadro 5:** *Identificação dos corpos de prova*

Posição de impressão	Materiais		
	PLA	PETG	PA
Vertical	AV1	BV1	CV1
	AV2	BV2	CV2
	AV3	BV3	CV3
	AV4	BV4	CV4
	AV5	BV5	CV5
Horizontal	AH1	BH1	CH1
	AH2	BH2	CH2
	AH3	BH3	CH3
	AH4	BH4	CH4
	AH5	BH5	CH5

Fonte: Autores

Para a caracterização do comportamento mecânico dos corpos de prova, foram avaliadas as seguintes propriedades mecânicas: limite de resistência, limite de escoamento, módulo de elasticidade e deformação máxima.

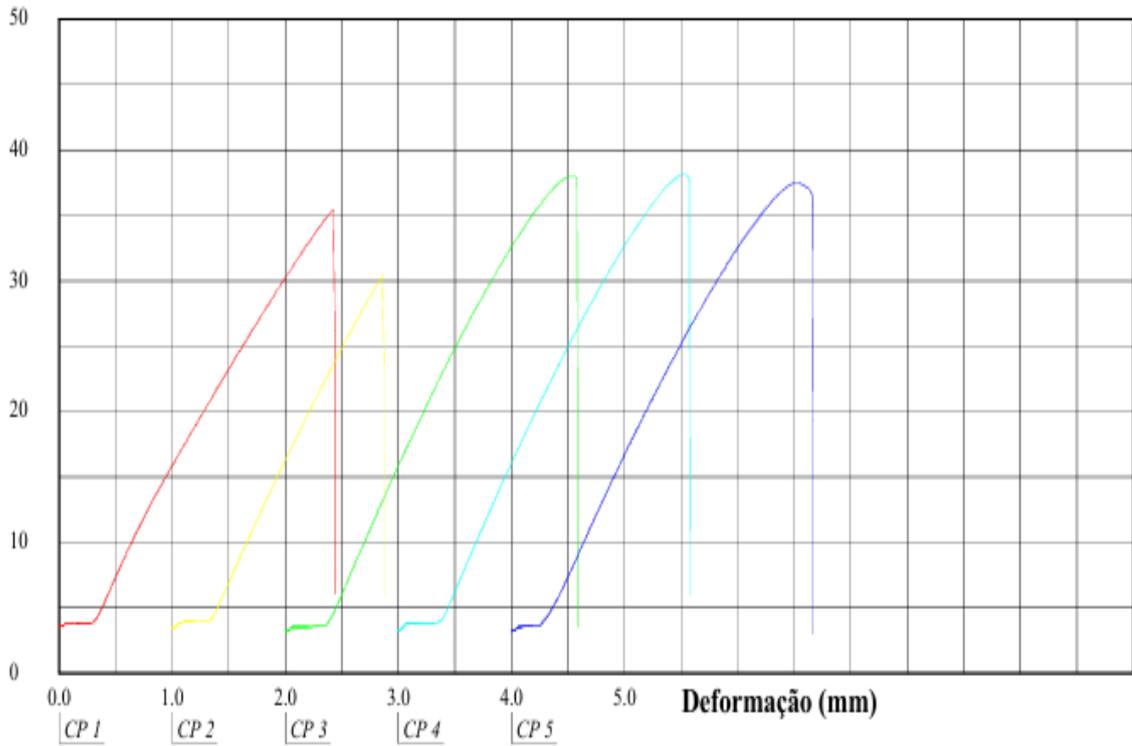
## 3. RESULTADOS

Os diagramas tensão x deformação apresentados nas Figuras 6a e 6b a seguir representam o comportamento mecânico dos corpos de provas impressos em PLA nas posições vertical e horizontal, respectivamente.

**Figura 6:** *Caracterização de propriedades dos corpos de prova impressos em PLA na posição vertical e horizontal*

Corpo de Prova	Compr. Base (mm)	Tensão @Força Max. (MPa)	Tensão @Escoam. ES1 (MPa)	Mod.Elástico. (MPa)	Deformação @Força Max. (mm)	Deformação @Ruptura (mm)
CP 1	50.00	35.41	18.93	958.35	2.43	2.41
CP 2	50.00	30.40	29.51	943.19	1.86	1.85
CP 3	50.00	38.05	29.06	992.13	2.54	2.58
CP 4	50.00	38.16	28.38	997.30	2.53	2.57
CP 5	50.00	37.52	28.87	943.53	2.52	2.66
Número CPs	5	5	5	5	5	5
Média	50.00	35.91	26.95	966.9	2.375	2.412
Desv.Padrão	0.0000	3.272	4.501	26.18	0.2906	0.3297

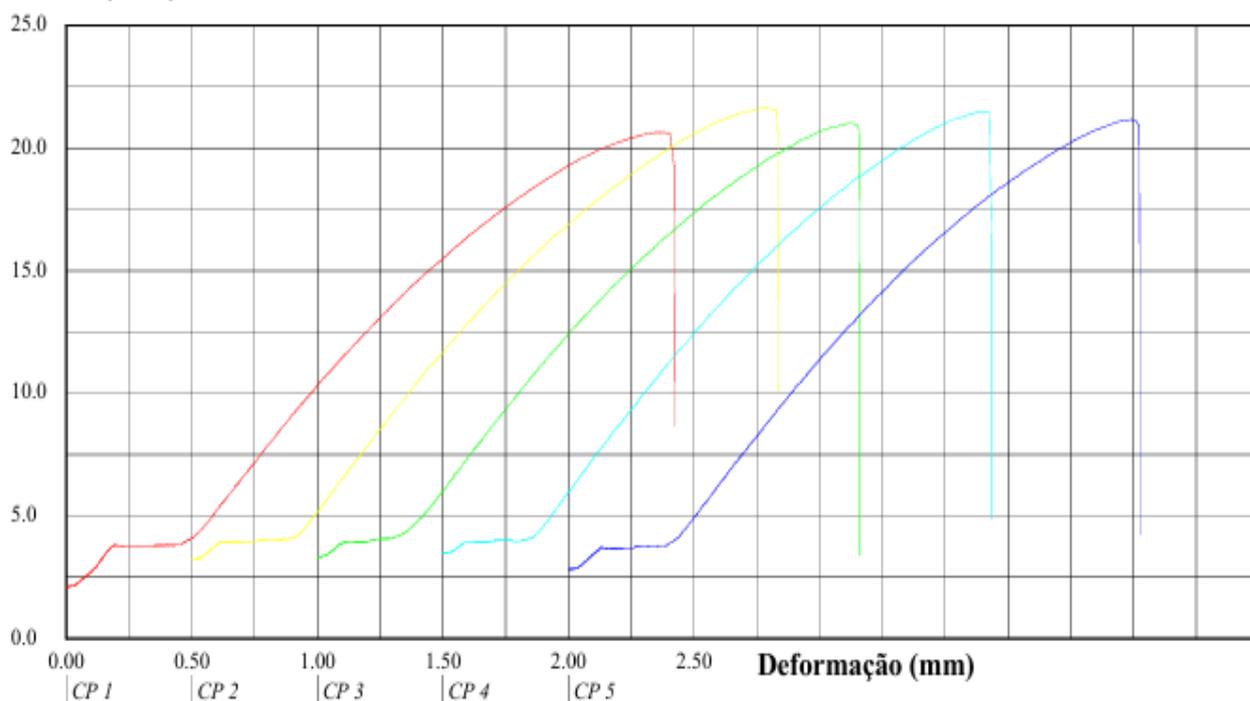
**Tensão (MPa)**



(a)

Corpo de Prova	Compr. Base (mm)	Tensão @Força Max. (MPa)	Tensão @Escoam. ES1 (MPa)	Mod.Elástico. (MPa)	Deformação @Força Max. (mm)	Deformação @Ruptura (mm)
CP 1	50.00	20.64	15.35	646.52	2.35	2.39
CP 2	50.00	21.64	16.23	671.11	2.28	2.31
CP 3	50.00	21.03	15.96	669.05	2.12	2.15
CP 4	50.00	21.52	16.27	680.28	2.16	2.16
CP 5	50.00	21.17	16.11	657.30	2.24	2.26
Número CPs	5	5	5	5	5	5
Média	50.00	21.20	15.98	664.9	2.228	2.253
Desv.Padrão	0.0000	0.3995	0.3742	13.11	0.09165	0.1005

### Tensão (MPa)



(b)

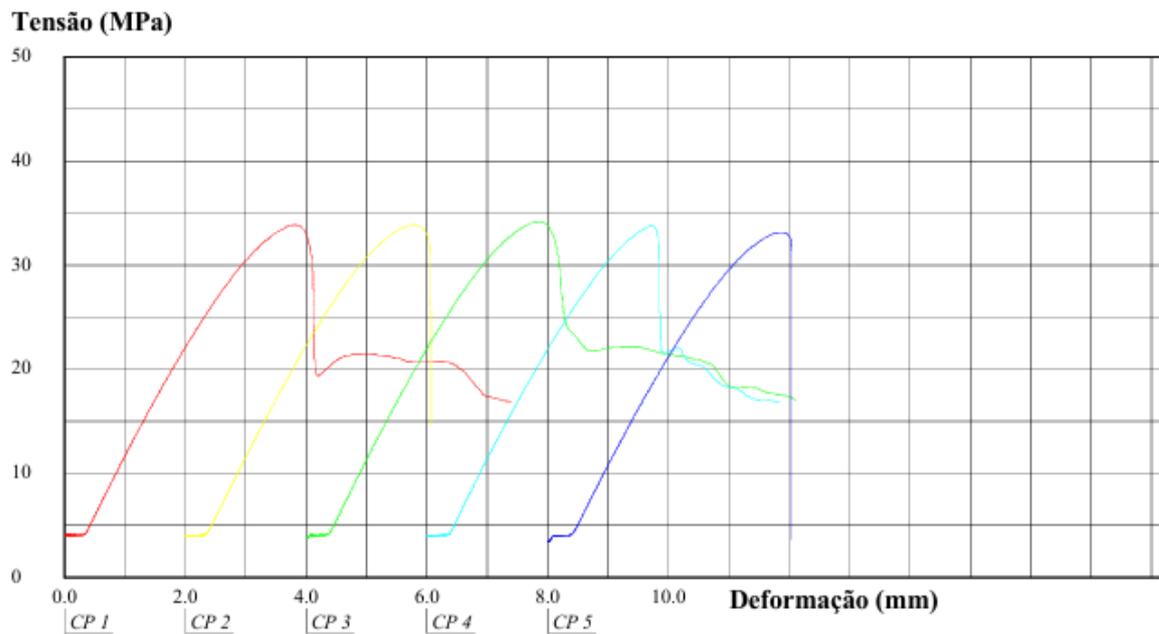
Fonte: Autores

Analisando os diagramas tensão x deformação apresentados nas Figuras 6a e 6b, nota-se que, qualitativamente, o comportamento mecânico se repetiu dentro de cada grupo analisado, uma vez que as curvas apresentaram elevada similaridade; confirmando, desta forma, que a padronização na confecção dos corpos de prova, assim como na execução dos ensaios possibilitou a obtenção de dados confiáveis e satisfatórios. Por outro lado, sob o ponto de vista quantitativo, os resultados apresentaram baixa dispersão, confirmando a confiabilidade dos resultados.

As Figuras 7a e 7b apresentam, respectivamente, os dados obtidos por meio do ensaio de tração uniaxial dos corpos de prova confeccionados em PETG nas posições vertical e horizontal.

**Figura 7:** Caracterização de propriedades dos corpos de prova impressos em PETG na posição vertical e horizontal

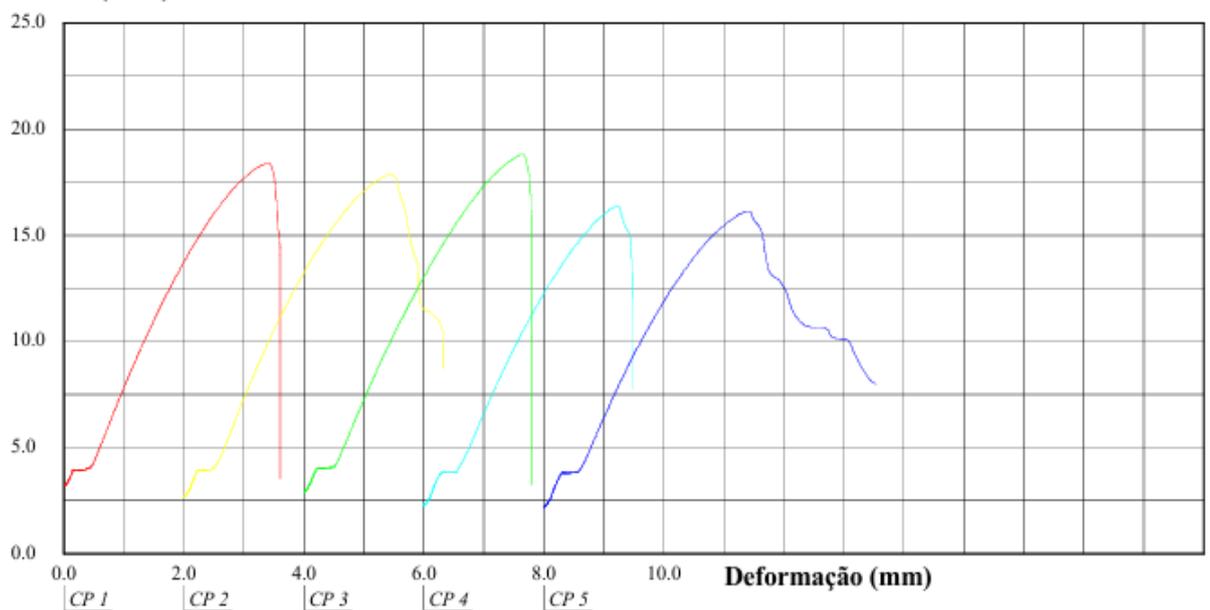
Corpo de Prova	Compr. Base (mm)	Tensão @Força Max. (MPa)	Tensão @Escoam. ES1 (MPa)	Mod.Elástico. (MPa)	Deformação @Força Max. (mm)	Deform @Ru
CP 1	50.00	33.89	22.61	573.78	3.82	
CP 2	50.00	33.91	23.96	578.25	3.82	
CP 3	50.00	34.21	23.58	577.68	3.86	
CP 4	50.00	33.79	22.43	578.16	3.75	
CP 5	50.00	33.19	22.07	569.74	3.85	
Número CPs	5	5	5	5	5	
Média	50.00	33.80	22.93	575.5	3.819	4
Desv.Padrão	0.0000	0.3738	0.8026	3.726	0.04494	0.0



(a)

Corpo de Prova	Compr. Base (mm)	Tensão @Força Max. (MPa)	Tensão @Escoam. ES1 (MPa)	Mod.Elástico (MPa)	Deformação @Força Max. (mm)	Deformação @Ruptura (mm)
CP 1	50.00	18.43	12.54	351.49	3.38	3.61
CP 2	50.00	17.86	11.89	357.23	3.42	*
CP 3	50.00	18.82	12.73	327.91	3.64	3.79
CP 4	50.00	16.38	11.88	320.96	3.21	*
CP 5	50.00	16.15	11.08	320.68	3.41	*
Número CPs	5	5	5	5	5	2
Média	50.00	17.53	12.02	335.7	3.414	3.701
Desv.Padrão	0.0000	1.203	0.6517	17.44	0.1531	0.1329

**Tensão (MPa)**



(b)

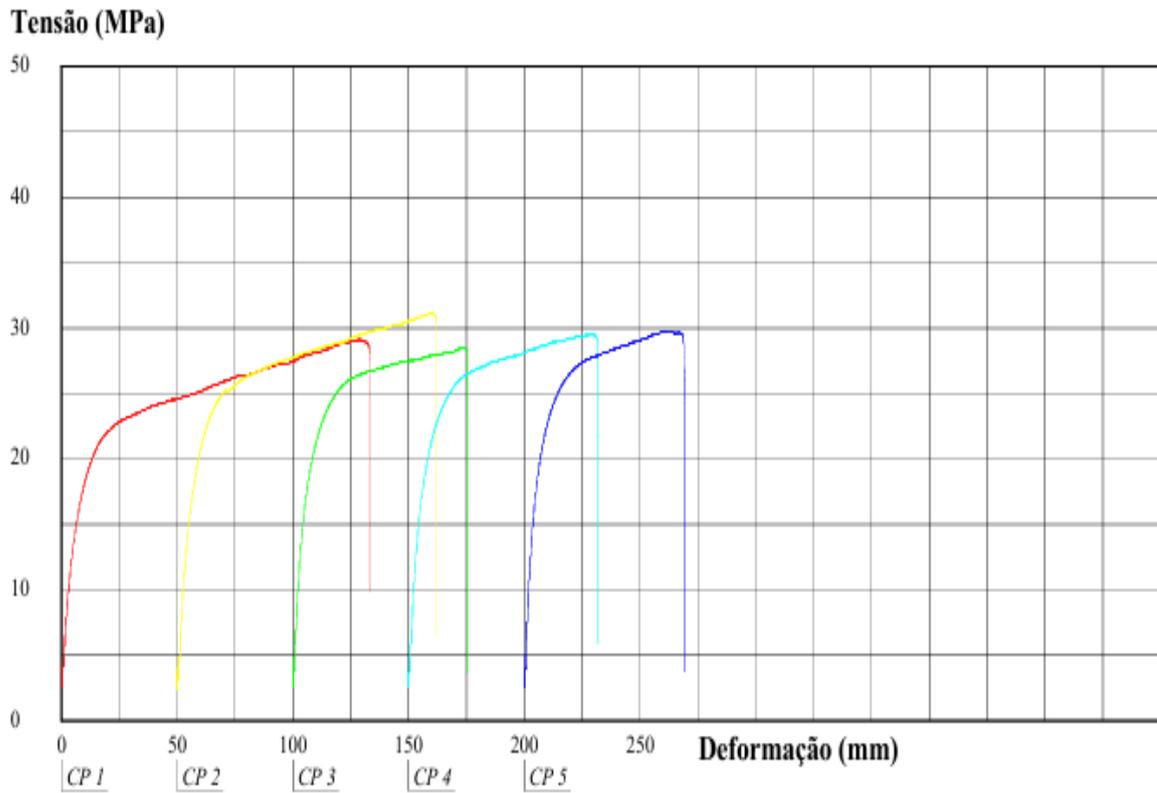
Fonte: Autores

É possível observar que as curvas características de cada grupo analisado apresentaram comportamentos idênticos, com baixa dispersão, similar ao observado no caso anterior.

Da mesma forma, as Figuras 8a e 8b apresentam os dados obtidos com a análise dos corpos de prova produzidos em PA (Nylon) nas posições vertical e horizontal respectivamente.

**Figura 8:** Caracterização de propriedades dos corpos de prova impressos em PA na posição vertical e horizontal

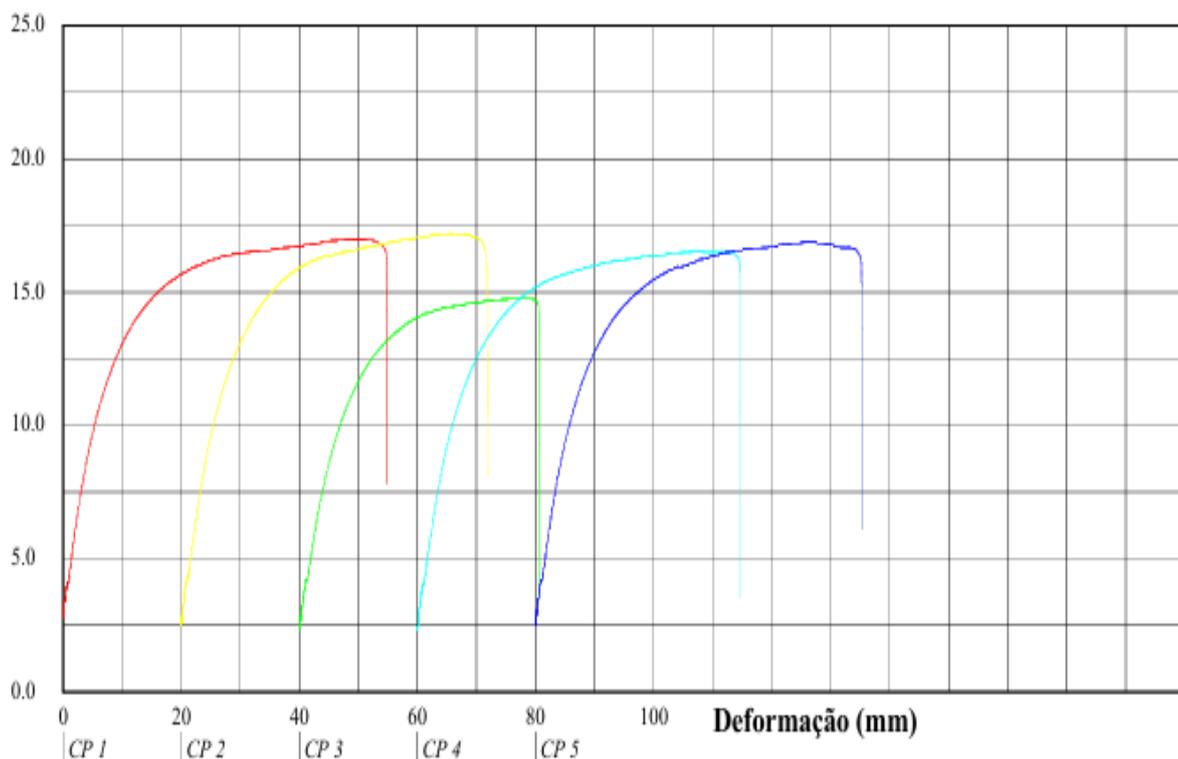
Corpo de Prova	Compr. Base (mm)	Tensão @Força Max. (MPa)	Tensão @Escoam. ES1 (MPa)	Mod.Elástico. (MPa)	Deformação @Força Max. (mm)	Deformação @Ruptura (mm)
CP 1	50.00	29.14	3.98	121.61	128.20	133.61
CP 2	50.00	31.13	2.36	120.49	109.55	111.96
CP 3	50.00	28.54	9.93	189.26	73.34	75.74
CP 4	50.00	29.55	3.79	128.62	78.46	81.71
CP 5	50.00	29.82	4.04	174.52	63.16	69.39
Número CPs	5	5	5	5	5	5
Média	50.00	29.64	4.819	146.9	90.54	94.48
Desv.Padrão	0.0000	0.9664	2.941	32.51	27.25	27.30



(a)

Corpo de Prova	Compr. Base (mm)	Tensão @Força Max. (MPa)	Tensão @Escoam. ES1 (MPa)	Mod.Elástico. (MPa)	Deformação @Força Max. (mm)	Deformação @Ruptura (mm)
CP 1	50.00	17.01	7.23	85.01	47.74	54.97
CP 2	50.00	17.21	4.29	81.50	45.34	51.92
CP 3	50.00	14.80	4.24	76.94	35.94	40.71
CP 4	50.00	16.54	4.06	79.53	46.19	54.66
CP 5	50.00	16.90	4.26	78.78	46.46	55.34
Número CPs	5	5	5	5	5	5
Média	50.00	16.49	4.815	80.35	44.33	51.52
Desv.Padrão	0.0000	0.9780	1.353	3.072	4.771	6.194

**Tensão (MPa)**



(b)

Fonte: Autores

Da mesma forma, que nos casos anteriores, nota-se uma elevada similaridade nas curvas tensão x deformação em ambos os grupos analisados.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos resultados obtidos nos ensaios com as médias e respectivos desvios padrões dos dados coletados para as propriedades analisadas.

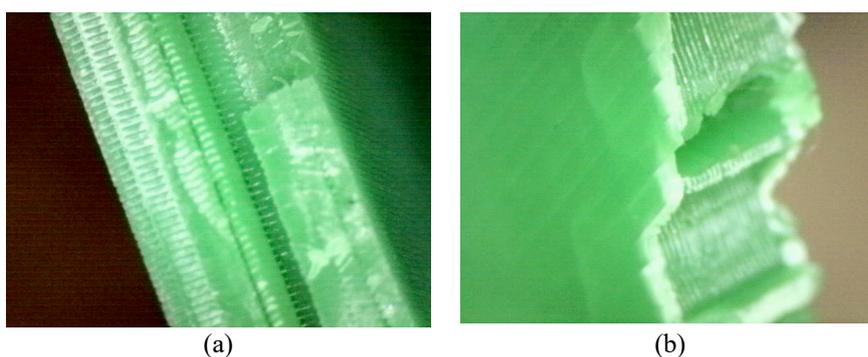
**Tabela 1:** *Resumo propriedades mecânicas dos corpos de prova impressos em PLA, PETG e PA em diferentes posições de impressão*

Material	Posição	Propriedades mecânicas							
		Limite de escoamento [MPa]		Limite de resistência [MPa]		Módulo de elasticidade [MPa]		Deformação [%]	
		Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
PLA	Vertical	26,95	4,50	35,91	3,27	966,9	26,18	4,76	0,6
	Horizontal	15,98	0,37	21,2	0,40	664,9	13,11	4,46	0,21
PETG	Vertical	22,93	0,80	33,80	0,37	575,5	3,72	7,72	0,08
	Horizontal	12,02	0,65	17,53	1,20	335,7	17,44	6,74	0,37
PA	Vertical	4,82	2,94	29,64	0,97	146,9	32,51	179,8	55,2
	Horizontal	4,81	1,35	16,49	0,98	80,35	3,07	88,68	9,54

Fonte: Autores

Dentre os materiais analisados, os corpos de prova confeccionados em PLA apresentaram maiores limites de resistência, tendo resultados ainda mais destacados quando impressos na posição vertical. Por outro lado, também foi o material que apresentou maiores valores de módulo de elasticidade, destacando-se, desta forma, sua maior rigidez sob quaisquer condições de impressão. Cabe salientar que todas as peças produzidas em PLA sofreram ruptura durante os ensaios, caracterizadas como fraturas frágeis, conforme indicado nas Figura 9a e 9b para os corpos de prova impressos nas posições vertical e horizontal, respectivamente.

**Figura 9:** *Fratura em corpo prova confeccionado em PLA na posição vertical e horizontal*



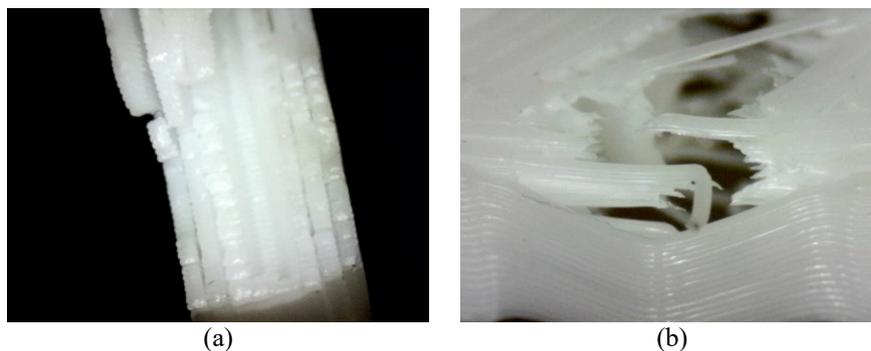
Fonte: Autores

Nota-se, na Figura 9a, que o alinhamento das camadas impressas na posição vertical contribuiu para uma redução nos vazios no interior dos corpos de prova, o que implica um aumento da sua resistência mecânica, quando comparado com aqueles impressos na posição horizontal (Figura 9b). Da mesma forma, este alinhamento fez com que as fibras estivessem

alinhadas à direção longitudinal do CP, submetida às forças axiais atuantes no ensaio de tração, o que justifica a maior resistência mecânica dos corpos de prova confeccionados nessa posição de impressão.

Os corpos de prova impressos em PETG apresentaram limites de resistência inferiores àqueles observados nos corpos de prova produzidos em PLA, tendo sido notada, da mesma forma, a significativa influência da posição de impressão nos resultados. Foi percebida uma significativa redução nos valores do módulo de elasticidade, caracterizando-se como um material que apresenta menos rigidez que o PLA. Por outro lado, foi possível observar que, independente da condição de impressão, os níveis de deformação foram ligeiramente superiores quando comparados aos CP's impressos em PLA. As Figuras 10a e 10b ilustram os tipos de fraturas observados nos corpos de prova confeccionados na posição vertical e horizontal, respectivamente.

**Figura 10:** *Fratura em corpo prova confeccionado em PETG na posição vertical e horizontal*



Fonte: Autores

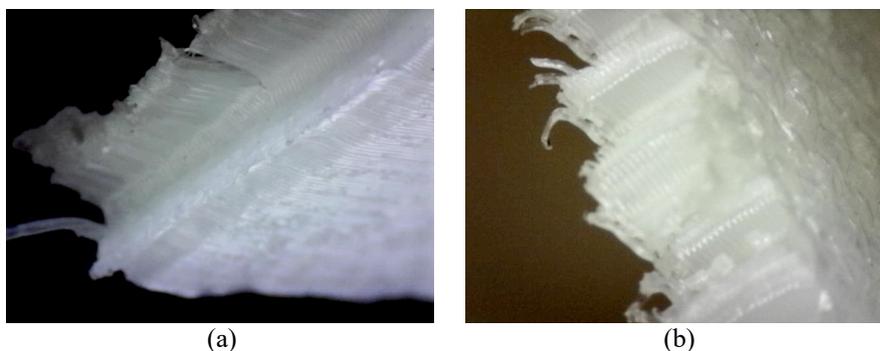
Nota-se, na Figura 10<sup>a</sup>, ligeira delaminação na linhas de deposição do material, que pode exercer influência sobre os resultados, sugerindo que a largura de impressão em peças confeccionadas na posição vertical, deve ser um parâmetro de controle para garantir melhor performance.

Os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados com os corpos de prova produzidos em PA mostram que, dos materiais analisados, é aquele que apresenta menor limite de resistência, além de uma significativa diferença nos valores observados no limite de escoamento quando comparado com o PLA e PETG. Por outro lado, foi o material cuja influência da posição de impressão foi mais controversa e destacada. Nota-se que os valores observados para

o limite de escoamento permaneceram inalterados para as duas posições de impressão, assim como foi constatada uma destacada diferença nos índices de deformação entre os corpos de prova impressos na posição vertical e horizontal, muito díspares quando comparado com os outros materiais estudados. Com base nos resultados, foi possível constatar que o PA apresentasse como um material de baixíssima rigidez e elevada ductilidade, conforme os resultados apresentados na Tabela 1, assim como nas curvas tensão x deformação observadas nas Figuras 8a e 8b.

Cabe destacar que nem todos os corpos de prova impressos em PA sofreram ruptura, tendo sido paralisado o ensaio quando a máquina atingiu nível máximo de deformação pré-definido. As Figuras 11a e 11b apresentam os perfis de ruptura dos corpos de prova impressos em PA na posição vertical e horizontal, respectivamente. Nota-se claramente que o material sofreu significativa deformação antes de romper, absorvendo energia durante o processo, o que caracteriza fratura dúctil.

**Figura 11:** *Fratura em corpo prova confeccionado em PETG na posição vertical e horizontal*



Fonte: Autores

Os resultados apresentados mostraram-se coerentes com a literatura. Os estudos de Ambrós (2019) e de Oliveira (2021) concluíram que a orientação de impressão desempenha um papel fundamental na obtenção das propriedades mecânicas. Esses estudos propuseram testes entre diferentes ângulos de impressão, porém a face do corpo de prova estava paralela à mesa de impressão, o que diferencia deste estudo.

Todavia, nota-se que, nos estudos de Ambrós (2019) e de Oliveira (2021), os corpos de prova que obtiveram melhor resultado foram aqueles cuja posição das linhas de impressão foi paralela ao sentido de tração realizado nos ensaios, o que é similar a este estudo, uma vez que

os corpos de prova impressos na posição vertical ( $90^\circ$  em relação a mesa) obtiveram os melhores resultados e, coincidentemente, eram os mesmos que tinham mais camadas de impressão nesse sentido.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que a escolha dos materiais e da posição de impressão impactam significativamente o módulo de elasticidade, o limite de escoamento, limite de resistência e o índice de deformação aos quais os corpos de prova foram submetidos, assim como o tipo de fratura observado.

Em particular todos os corpos de prova impressos na posição vertical apresentaram melhores comportamentos mecânicos.

Com base nos resultados obtidos, é possível sugerir aplicações práticas específicas para cada um dos materiais avaliados. O PLA, que apresentou o maior limite de resistência, limite de escoamento e módulo de elasticidade, é indicado para peças que requerem alta rigidez e resistência a esforços mecânicos, como componentes estruturais e protótipos que precisam manter estabilidade dimensional. O PETG, com propriedades próximas ao PLA, mas com deformação ligeiramente superior, é uma opção interessante para aplicações que demandam boa resistência, mas com maior flexibilidade e tenacidade, como peças de uso geral que podem estar sujeitas a pequenos impactos ou flexões, sem sacrificar muito a rigidez. Já o PA, com sua elevada capacidade de deformação, é mais adequado para componentes que exigem alta resistência ao impacto e flexibilidade, sendo ideal para peças funcionais em ambientes que requerem durabilidade e resistência à fadiga, como dobradiças, engrenagens e outras peças sujeitas a movimentos repetitivos.

Dessa forma, conclui-se que o objetivo estabelecido para este estudo foi alcançado, uma vez que, com os resultados obtidos foi possível determinar aplicações práticas para cada um dos materiais analisados.

Conclui-se que o controle dos parâmetros de impressão pode ser um procedimento para adequar as propriedades mecânicas das peças poliméricas, permitindo sua aplicação em diferentes contextos. Esses resultados são especialmente relevantes para a indústria de manufatura aditiva, que pode se beneficiar da flexibilidade oferecida pela impressão 3D na

customização de produtos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBRÓS, G. S. *Influência dos parâmetros de impressão 3D na resistência à tração de corpos de prova impressos em PLA utilizando modelagem por fusão e depósito*. 2019. 64f. Projeto de Graduação (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS, 2019.

ASTM D638-14. *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. West Conshohocken: ASTM International, 2014.

BESKO, Marcos A.; BILYK, Claudio; SIEBEN, Priscila Gritten. Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D. *Gestão, Tecnologia e Inovação*, v. 1, n. 3, set.-dez. 2017.

CALLISTER., William D. *Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução*. 10th ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020. E-book. ISBN 9788521637325. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521637325/>. Acesso em: 20 ago. 2024.

OLIVEIRA, Dhonata Sebastião Caldas. *Efeito do ângulo de impressão nas propriedades elétricas e mecânicas de peças poliméricas impressas em 3D*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura Plena em Física) – Universidade Federal do Pará, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia, Campus Universitário de Abaetetuba, Abaetetuba-PA, 2019.

SANTANA, L.; ALVES, J. L.; SABINO NETTO, A. C.; MERLINI, C. *Estudo comparativo entre PETG e PLA para Impressão 3D através de caracterização térmica, química e mecânica*. Revista Matéria, v. 23, n. 4, 2018.

SANTOS, Givanildo Alves dos. *Tecnologias mecânicas*. Rio de Janeiro: Érica, 2020. E-book. ISBN 9788536533636. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536533636/>. Acesso em: 20 out. 2024.

SILVA, M. C.; OLIVEIRA, S. V. de; ARAÚJO, E. M. *Propriedades mecânicas e térmicas de sistemas de PLA e PBAT/PLA*. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/430/316>. Acesso em: 18 ago. 2024.

VOLPATO, Neri. *Manufatura aditiva; Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D*. São Paulo: Editora Blucher, 2017. E-book. ISBN 9788521211518. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521211518/>. Acesso em: 20 ago. 2024.