

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

Daniel Lopes Casa

Manufatura aditiva – Uma análise comparativa da Modelagem por Fusão e
Deposição de materiais poliméricos PLA, ABS e PETG

Xanxerê

18 de fevereiro de 2025

Daniel Lopes Casa

Manufatura aditiva – Uma análise comparativa da Modelagem por Fusão e
Deposição de materiais poliméricos PLA, ABS e PETG

Monografia apresentada ao
Curso de Engenharia
Mecânica do Campus
Xanxerê do Instituto Federal
de Santa Catarina para a
obtenção do diploma de
Engenheiro Mecânico

Orientador: Prof. Me.
Rogerio Ferreira Rezende

Xanxerê

18 de fevereiro de 2025

C334a Casa, Daniel Lopes.
Manufatura aditiva – Uma análise comparativa da Modelagem por Fusão e Deposição de materiais poliméricos PLA, ABS e PETG / Daniel Lopes Casa.
– Xanxerê, 2025.
42 p. : il., color.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Câmpus Xanxerê. Curso de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientação: Rogério Ferreira Rezende.
Inclui referências.

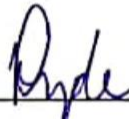
1. Impressão 3D. 2. Propriedades mecânicas. 3. Manufatura aditiva. 4. Modelagem por fusão e deposição (FDM). 5. Ensaio mecânicos. I. Rezende, Rogério Ferreira. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. III. Título.

Daniel Lopes Casa

**Manufatura aditiva – Uma análise comparativa da Modelagem por Fusão e
Deposição de materiais poliméricos PLA, ABS e PETG**

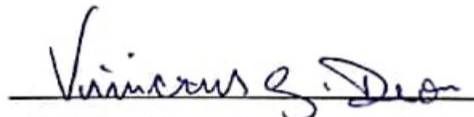
Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Engenharia Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Xanxerê, 18 de fevereiro de 2025



Prof. Me. Rogerio Ferreira Rezende, Orientador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina



Prof. Dr. Vinicius Gonçalves Deon, Co-orientador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina



Prof. Me. Samuel Scheleski

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo analisar as características mecânicas de peças produzidas pelo método de Modelagem por Fusão e Deposição (FDM) em diferentes materiais, PLA, ABS e PETG. Para isso, realizou-se ensaios de tração em corpos de prova seguindo as orientações da ASTM D638-22. Devido as características do método de produção, as peças apresentam anisotropia, o que significa que apresentam diferentes características dependendo da orientação da deposição do material a ser analisado e, devido a isso, as orientações da norma sugerem realizar ensaios analisando as peças em dois sentidos: horizontal (força aplicada paralela às linhas de camadas depositadas) e vertical (força aplicada perpendicular às linhas de camadas depositadas). Os resultados demonstraram que o material PLA é mais resistente à tração do que os outros materiais comparados, porém demonstra maior fragilidade, o que o torna inviável para muitas aplicações nas indústrias. Por outro lado, os materiais ABS e PETG, apesar da menor resistência à tração, demonstraram capacidade de deformação e absorção de impactos mais elevados, tornando-os mais adequados à aplicação industrial. Porém, todos os materiais demonstraram perda significativa de resistência mecânica quando analisados no sentido vertical (força aplicada perpendicular às linhas de camadas depositadas), uma consequência direta da anisotropia. Isso destaca a influência crítica da orientação da camada e da seleção do material no desempenho dos componentes impressos em 3D, enfatizando a necessidade de alinhar esses fatores com as demandas mecânicas da aplicação pretendida.

Palavras-Chave: Impressão 3D. Propriedades Mecânicas. Manufatura Aditiva. Modelagem Por Fusão E Deposição (FDM). Ensaios Mecânicos.

ABSTRACT

This study aims to analyze the mechanical characteristics of parts produced by Fused Deposition Modeling (FDM) using different materials: PLA, ABS, and PETG. For this purpose, tensile tests were conducted on specimens following the guidelines of ASTM D638-22. Due to the nature of the manufacturing method, the parts exhibit anisotropy, meaning their properties vary depending on the orientation of the material deposition during testing. Consequently, the standard recommends performing tests in two orientations: horizontal (force applied parallel to the deposited layer lines) and vertical (force applied perpendicular to the deposited layer lines).

The results demonstrated that PLA is more resistant to tension compared to the other materials tested; however, it exhibited greater brittleness, making it unsuitable for many industrial applications. On the other hand, ABS and PETG, despite their lower tensile strength, showed higher deformation capacity and impact absorption, rendering them more suitable for industrial use. Nevertheless, all materials exhibited a significant loss of mechanical strength when tested in the vertical orientation (force perpendicular to the deposited layer lines), a direct consequence of anisotropy. This highlights the critical influence of layer orientation and material selection on the performance of 3D-printed components, emphasizing the need to align these factors with the mechanical demands of the intended application.

Keywords: 3d Printing. Mechanical Properties. Additive Manufacturing. Fused Deposition Modeling (FDM). Mechanical Testing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Método de Impressão FDM.....	12
Figura 2- Resultados de Pelegrino ABS Horizontal.....	16
Figura 3 - Resultados de <i>Pelegrino</i> PLA Horizontal.	17
Figura 4 - Resultados de <i>Pelegrino</i> ABS Vertical.	17
Figura 5 - Corpo de prova Tipo IV	18
Figura 6 - Comparação Resistencia à Tração do Nylon 6 e ABS.....	18
Figura 7 - Máquina de Ensaio Universais	20
Figura 8 - Impressora 3D Ender 3 Max	20
Figura 9 - Materiais de Impressão 3D.	21
Figura 10 - Corpo de prova.	22
Figura 11 – Corpo de Prova Tipo 1	23
Figura 12 - Orientação Horizontal (A) e Orientação Vertical(B).....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Configurações por Material.	24
Tabela 2 - Resultados PLA Horizontal.	26
Tabela 3 - Resultados PLA vertical.	27
Tabela 4 - Resultados ABS Horizontal.	28
Tabela 5 - Resultados ABS Vertical.	29
Tabela 6 - Resultados PETG Horizontal.	30
Tabela 7 - Resultados PETG Vertical.....	31
Tabela 8 - Médias dos Resultados	32

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tensão deformação PLA horizontal.....	26
Gráfico 2 - Tensão deformação PLA Vertical.	27
Gráfico 3 - Tensão deformação ABS Horizontal.....	28
Gráfico 4 - Tensão deformação ABS Vertical.....	29
Gráfico 5 - Tensão deformação PETG Horizontal.	30
Gráfico 6 - Tensão deformação PETG Vertical.	31

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Configurações de Impressão	39
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABS – *Acrilonitrila butadieno estireno*

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

CAD – *Computer-Aided Design*

DIY – *Do it Yourself*

FDM – *Fused Deposition Modeling*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

PETG - *Polietileno Tereftalato Glicol*

PLA – *poliácido láctico*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos	10
1.1.1	Objetivo geral.....	10
1.1.2	Objetivo específico	10
2	REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1	Manufatura	11
2.2	Manufatura aditiva	11
2.3	Modelagem por Fusão e Deposição	12
2.4	Polímeros	13
2.4.1	Termoplásticos	13
2.4.2	Termofixos	14
2.4.3	PLA.....	14
2.4.4	ABS.....	14
2.4.5	PETG.....	15
2.5	Ensaio Mecânicos	15
2.5.1	Ensaio de tração.....	15
2.6	Trabalhos semelhantes	16
3	METODOLOGIA	19
3.1	Equipamentos	19
3.2	Materiais	21
3.3	Preparação dos corpos de prova	21
3.3.1	Norma de ensaios mecânicos.....	21
3.3.2	Impressão dos corpos de prova.....	24
3.4	Planejamento dos ensaios	25
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	26
4.1	PLA	26
4.2	ABS	28
4.3	PETG	30
4.4	Comparação dos resultados	32
5	CONCLUSÕES	34
	REFERÊNCIAS	36
	ANEXOS	39

1 INTRODUÇÃO

Conforme Groover (2017), a construção de objetos é uma atividade essencial à humanidade desde a pré-história, e atualmente é descrita pelo termo fabricação (ou manufatura). A manufatura é considerada crucial para a prosperidade de muitas nações desenvolvidas e em desenvolvimento, devido a questões tecnológicas e econômicas. Portanto, o processo de Manufatura desempenha um papel crítico na viabilidade de uma determinada tecnologia.

Uma das tecnologias de fabricação é a manufatura aditiva, que é definida como um processo de fabricação por meio da adição de material na forma de camadas, seguindo modelo geométrico tridimensional (3D) originado de um sistema CAD (*Computer Aided Design*). Esse processo aditivo possibilita a produção de componentes físicos a partir de uma diversidade de materiais, formatos e princípios. Essa técnica de construção é totalmente automática e oferece elevada velocidade de fabricação em relação aos métodos convencionais de fabricação. (Volpato, 2021, p.16).

Segundo Lima (2009), um dos processos de Manufatura Aditiva é a Deposição por Filamento Fundido - FDM (*Fused Deposition Modeling*). Durante esse processo um cabeçote realiza a deposição do material fundido, desenhando as camadas paralelas. Para cada camada, geram-se coordenadas sobre as quais o bico extrusor percorre para deposição dos filamentos extrudados.

De acordo com Nunes *et al.* (2014), a importância dos materiais poliméricos para a tecnologia deste século é tanta que existe a hipótese de historiadores virem a designar esse período como a era dos polímeros em comparação à denominação dada às épocas anteriores (pedra, bronze, cobre).

Besko *et al.* (2017), afirma que os filamentos mais utilizados como matéria prima nas impressoras 3D são Acido Polilático (PLA), Acrilonitrila Butadieno estireno (ABS), Polietileno Tereftalato Glicol (PETG), Polietileno Tereftalato (PET), e Nylon.

Devido à necessidade de se conhecer as propriedades e o comportamento mecânico dos diversos materiais trabalhados surgiram os ensaios mecânicos que buscam reproduzir os esforços solicitados em condições controladas a fim de identificar as características de cada material a ser utilizado (Mendes; Silveira, 2018).

Segundo Mendes e Silveira (2018), é fundamental escolher os materiais a serem utilizados durante o projeto levando-se em consideração as diversas condições

que serão exigidas e para isso é importante entender o comportamento e características dos mesmos através de ensaios mecânicos.

A manufatura aditiva está se tornando cada vez mais prevalente na indústria e os principais materiais utilizados nesse contexto são os poliméricos como PLA, ABS e PETG. No entanto, no IFSC Xanxerê há uma necessidade de melhor entendimento das propriedades mecânicas das peças impressas em 3D. A falta de compreensão abrangente das propriedades mecânicas desses materiais pode limitar sua aplicação eficaz em diversas áreas industriais. Portanto, o problema central deste estudo reside na definição de como investigar e compreender as propriedades mecânicas de peças fabricadas por Modelagem por Fusão e Deposição dos materiais poliméricos PLA, ABS E PETG, visando melhorar a aplicabilidade e desempenho em diversos setores industriais.

A compreensão das propriedades mecânicas dos materiais utilizados é fundamental para as aplicações da manufatura aditiva na fabricação de peças. Essa pesquisa contribuirá fornecendo conhecimentos para otimizar os processos de impressão 3D. Já em termos práticos, visa-se aprimorar a aplicabilidade desses materiais na indústria, com o intuito de reduzir os custos de produção e desenvolver produtos mais eficientes e personalizados.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Investigar e compreender a resistência mecânica de corpos de prova fabricadas por Modelagem por Fusão e Deposição dos materiais poliméricos PLA, ABS e PETG.

1.1.2 Objetivo específico

- Definir a geometria dos corpos de prova e parâmetros operacionais de fabricação para realizar a análise comparativa dos diferentes materiais.
- Definir parâmetros operacionais para fabricação dos corpos de prova.
- Realizar ensaios mecânicos para avaliar peças produzidas em PLA, ABS e PETG.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Manufatura

No contexto tecnológico a manufatura pode ser definida como a aplicação de processos físicos ou químicos para modificar geometria, propriedades ou aparência de um material a fim de atingir um objetivo ou produto também engloba a parte de montagem de varias peças para formar um produto final (Groover, 2017).

Ainda segundo Groover (2017), no contexto econômico a manufatura é definida como a transformação de matéria prima em itens de valor agregado através de uma ou mais etapas de processamento, dessa forma a manufatura agrega valor ao material que vem a se tornar um produto, como minério de ferro virando aço ou areia transformada em vidro.

2.2 Manufatura aditiva

As inovações nas tecnologias de Manufatura Aditiva, incluindo Impressão 3D e Prototipagem Rápida, têm progredido significativamente, facilitando o acesso à produção de peças. Já foram criados diferentes métodos de impressão, desde aqueles que empregam pó metálico e lasers até os que se baseiam na extrusão de plástico derretido, tendo máquinas que conseguem trabalhar até com materiais como vidro, aço e concreto (Porto, 2016).

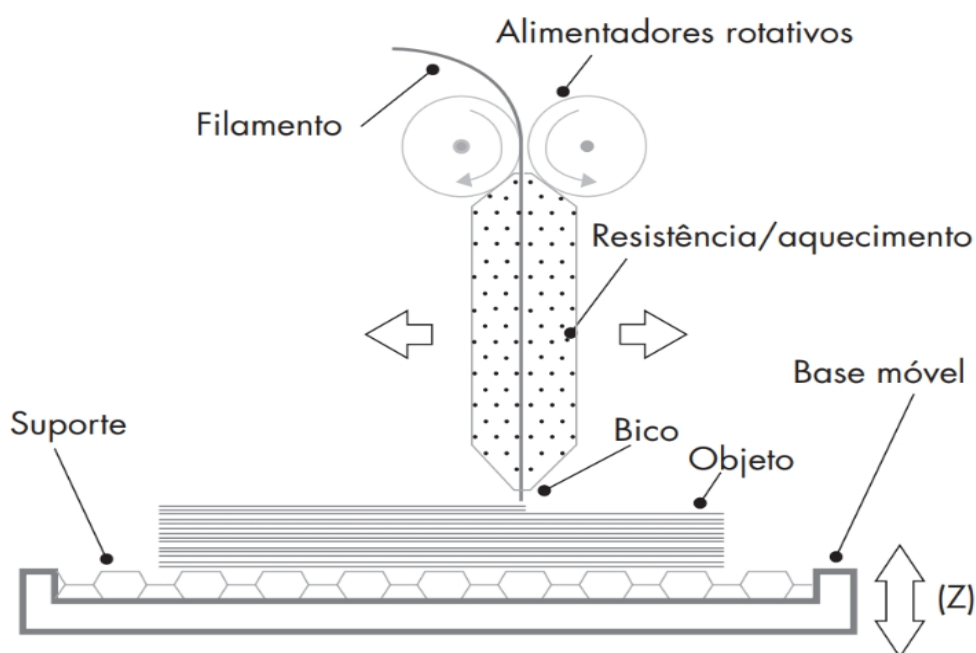
De acordo com Santana (2018), a Impressão 3D, também conhecida como Manufatura Aditiva, é um processo de fabricação de objetos tridimensionais por meio da deposição controlada de camadas de material. Essa tecnologia contrasta com a manufatura subtrativa, onde os componentes são produzidos pela remoção de material. A Impressão 3D oferece vantagens como eficiência, criatividade e acessibilidade, destacando-se pela produção rápida em comparação com métodos de fabricação tradicionais, baixo desperdício de material, capacidade de criar geometrias complexas e custo acessível de máquinas e materiais.

2.3 Modelagem por Fusão e Deposição

A tecnologia FDM foi desenvolvida em 1988 pelo inventor e fundador da Stratasys, S. Scott Crump (Fernandes, 2018).

Segundo Porto (2016), a técnica de modelagem por fusão e depósito de filamento fundido é baseada em extrusão de materiais fundidos geralmente termoplásticos. A máquina puxa um filamento de material que fica enrolado em uma bobina, o aquece até ponto de fusão e depois faz a extrusão do mesmo através de um bico que fica anexado a um cabeçote móvel para criar a camada de material desejada, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Método de Impressão FDM



Fonte: Lira (2017)

Santana (2018), destaca que, após o vencimento das patentes do FDM, uma comunidade dedicada à criação de sistemas de código aberto emergiu, resultando na produção de equipamentos comerciais e de DIY (*Do It Yourself*), baseados nessa tecnologia. Como consequência, os preços das máquinas diminuíram significativamente em poucos anos. Menciona-se também a popularização de impressoras 3D de baixo custo, como *RepRap*, *Makerbot* e *Cube*, tornando a tecnologia acessível para uso doméstico e em escritórios. Os materiais mais comuns nessas impressoras incluem ABS, PLA, PETG e Nylon.

O conceito básico da Fabricação por Deposição de Material Fundido (FDM) consiste em fundir o material bruto que é extrudado através de um bocal. O material pode ser fornecido de diversas maneiras, sendo uma delas através de um rolo de filamento, o qual é tracionado até o cabeçote por meio de uma roda motriz, onde então é fundido (Kristiawan *et al.*, 2021).

2.4 Polímeros

Os polímeros, como sugere o nome, são compostos por várias estruturas chamadas de meros, que se unem por ligações covalentes para formar moléculas longas. Esses compostos consistem principalmente em carbono, acompanhado por outros elementos como hidrogênio, nitrogênio, oxigênio e cloro. Podem ser categorizados em três classes distintas: termoplásticos, termorrígidos e elastômeros (Groover, 2017).

Apesar de sua significativa contribuição para o avanço tecnológico do século 20, o surgimento dos polímeros remonta à segunda metade do século 19. Em 1832, o químico alemão J. Berzelius criou o termo 'polímeros' para distinguir as moléculas organizadas compostas pelos mesmos elementos e, essencialmente, possuindo propriedades similares (Nunes *et al.*, 2014).

Ainda segundo Groover (2017), os termoplásticos têm a capacidade de passar por múltiplos ciclos de aquecimento e resfriamento. Já os termorrígidos experimentam uma mudança molecular irreversível após o resfriamento, tornando-se rígidos. Enquanto isso, os elastômeros exibem um alto comportamento elástico.

2.4.1 Termoplásticos

Termoplásticos compõem a maioria dos polímeros, sendo materiais fusíveis que podem ser moldados após o resfriamento e podem ser refundidos. Suas características variam conforme a estrutura, podendo ser maleáveis, rígidos ou frágeis à temperatura ambiente (CEFET-RS, 2004).

2.4.2 Termofixos

Segundo CEFET-RS (2004), Termofixos também podem ser chamados de termorrígidos, duroplásticos e termoestáveis. Devido à sua estrutura intermolecular são extremamente estáveis a variações de temperatura e não podendo ser fundidos.

As ligações intermoleculares dos termofixos são formadas a partir de um pré-polímero que quando aquecido amolece e pode ser moldado. Porém, com o aumento da temperatura, ocorrem reações de cura que tornam o polímero progressivamente mais rígido. A cura é um processo químico no qual as moléculas formam ligações irreversíveis que impedem o material de ser remoldado (CEFET-RS, 2004).

2.4.3 PLA

O PLA é um termoplástico biodegradável feito de substâncias orgânicas como amido de milho, cana-de-açúcar ou raízes de tapioca, suas propriedades mecânicas variam muito com as condições de impressão podendo ser até influenciado pelo pigmento presente, dado sua origem o PLA é mais fácil de trabalhar e ecologicamente correto (Fernandes, 2018).

Santana (2018) explica que o ácido Polilático (PLA) é um polímero termoplástico, semicristalino ou amorfo. O PLA possui características, como biocompatibilidade, biodegradabilidade, absorção biológica e boas propriedades mecânicas, além de estabilidade térmica e baixo impacto ambiental. No entanto, suas deficiências, como fragilidade inerente, alongamento limitado até a ruptura e baixa resistência ao impacto, representam desafios para sua aplicação generalizada.

2.4.4 ABS

O ABS apresenta elevada resistência à fratura e a impacto também apresenta outras características não mecânicas que são consideradas úteis como exemplo a facilidade em ser pintado, pois nem sempre é possível imprimir a peça na cor desejada, porém o ABS tende a se degradar sobre luz solar, e mesmo sendo estável a temperatura ambiente quando aquecido a elevadas temperaturas começa a se decompor e liberar substâncias cancerígenas (Fernandes, 2018)

2.4.5 PETG

O PETG tem se destacado como uma opção preferencial entre os usuários da comunidade de impressão 3D. Ele é descrito como um material que combina as qualidades do ABS, conhecido por sua resistência e ductilidade, com a facilidade de impressão do PLA. Ao ser uma versão modificada do PET, com a adição de glicol modificado durante a polimerização, o PETG apresenta características como maior transparência, menor rigidez e maior facilidade de utilização em comparação com o PET básico (Santana, 2018).

2.5 Ensaio Mecânicos

As propriedades mecânicas dos materiais são avaliadas por meio de experimentos laboratoriais que buscam reproduzir fielmente as condições de trabalho. Esses experimentos consideram diversos fatores, como o tipo e a duração da carga aplicada. A carga pode variar de tração, compressão a cisalhamento, e sua intensidade pode ser constante ou variável ao longo do tempo (Callister, 2020).

Segundo Callister (2020), as propriedades mecânicas são objetos de atenção de vários grupos como produtores, consumidores, e organizações de pesquisa, e por isso é importante a existência de uma padronização na aplicação dos ensaios mecânicos uma das organizações responsáveis por essa padronização e a Sociedade Americana para Ensaio e Materiais (*ASTM - American Society for Testing and Materials*).

2.5.1 Ensaio de tração

O ensaio de tração é amplamente utilizado para avaliar as propriedades mecânicas dos materiais, destacando-se como um dos métodos mais comuns.

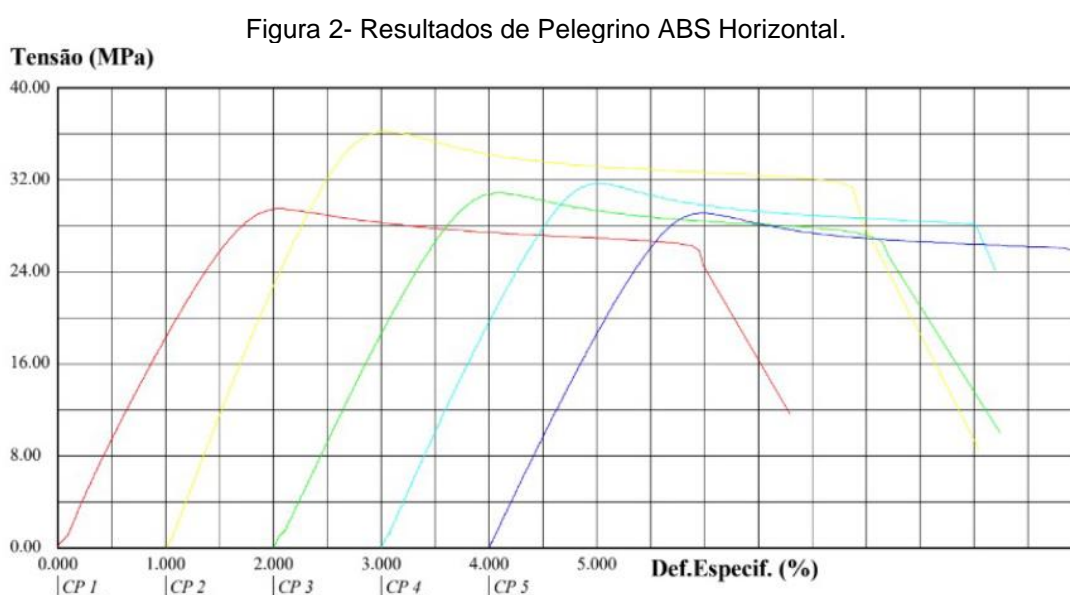
Durante o ensaio, uma amostra é submetida a uma carga uniaxial que é gradualmente aumentada até que ocorra a fratura do corpo de prova. O corpo de prova utilizado geralmente é padronizado, com uma forma que se assemelha a um "osso de cachorro", para induzir a deformação ocorrer na região central e reduzir a probabilidade de fratura nas extremidades. A máquina de ensaios de tração aplica

uma carga constante e simultaneamente os alongamentos resultantes. O ensaio é destrutivo, resultando na deformação permanente ou fratura da amostra (Callister, 2020).

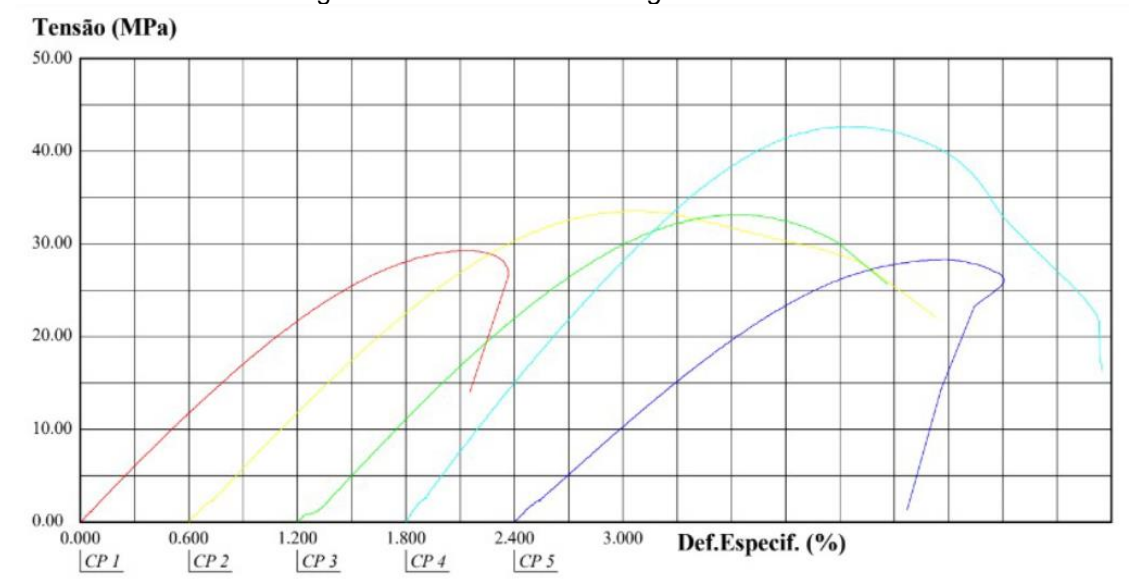
2.6 Trabalhos semelhantes

Pelegriño et al. (2019) realizaram uma pesquisa semelhante comparando as características mecânicas de peças PLA e ABS. Os autores aplicaram a norma ASTM D638-10 para definição dos parâmetros de ensaio. Foram fabricadas 15 amostras do tipo 2 conforme as recomendações da norma técnica, sendo 5 de PLA e 5 de ABS com orientação horizontal e 5 de ABS com orientação vertical.

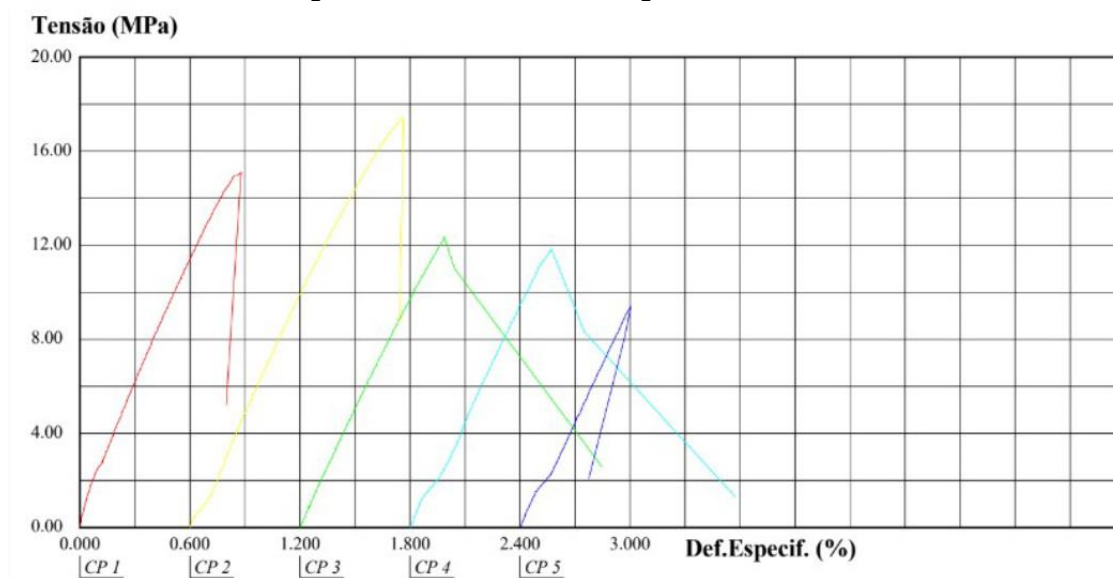
Pelegriño et al. (2019) constataram que ambos os materiais apresentaram tensões semelhantes quando testados no sentido horizontal como mostrado nas Figura 2 e Figura 3 com média aproximada de 28 MPa de resistência à tração. Porém a análise microscópica realizada indicou que o ABS apresentou mais resistência à ruptura. Por outro lado, as peças que foram testadas na vertical, apresentaram muito menos resistência com uma média de 11 MPa como mostrado na Figura 4, além disso a análise microscópica demonstrou que as fibras na vertical demonstraram pouca resistência antes de romper.



Fonte: adaptado de Pelegriño *et al.* (2019).

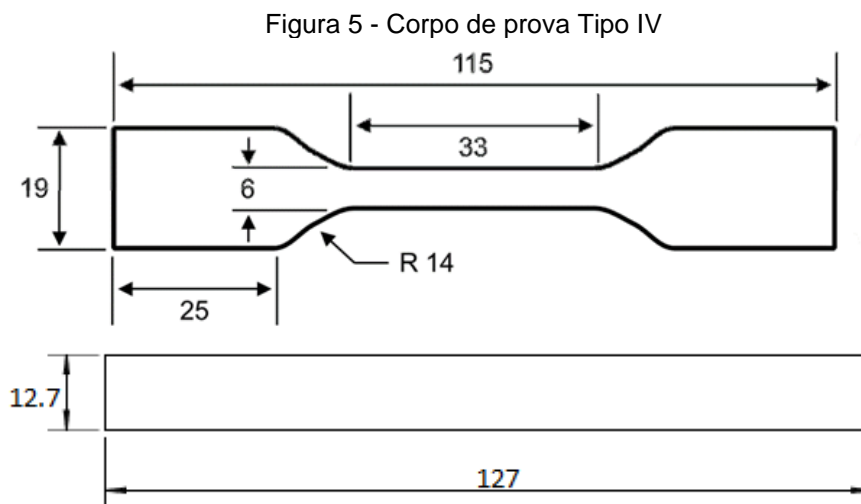
Figura 3 - Resultados de *Pelegri* PLA Horizontal.

Fonte: adaptado de Pelegri *et al.* (2019).

Figura 4 - Resultados de *Pelegri* ABS Vertical.

Fonte: adaptado de Pelegri *et al.* (2019).

Outro trabalho semelhante foi o de Martins e Lima (2018) no qual realizou-se ensaios de tração e flexão a fim de comparar as propriedades mecânicas de peças de Nylon 6 e ABS. Utilizando a norma técnica ASTM D638-22, definiu-se a geometria do corpo de prova sendo do tipo IV, com medidas de acordo com a Figura 5. Os ensaios de tração foram realizados em 5 corpos de prova, com uma velocidade de 5 mm/min.

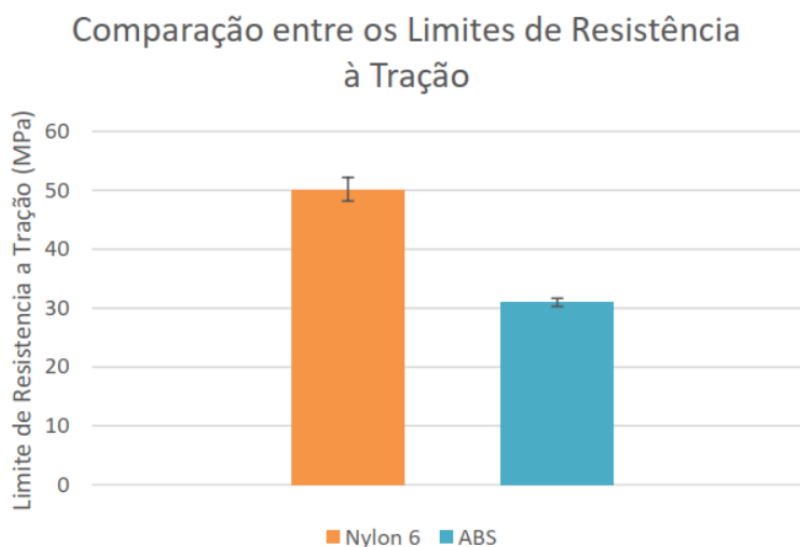


Fonte: Martins e Lima (2018)

Segundo Martins e Lima (2018) os ensaios mostraram que o regime plástico do Nylon 6 iniciou-se muito mais cedo do que esperado resultando em um Módulo de elasticidade bem maior do que comparado a outros estudos, porém o limite a resistência à tração se manteve semelhante. Segundo os autores, a diferença pode ser proveniente de diferentes métodos de produção e exposição das amostras a raios UV.

Ainda segundo Martins e Lima (2018) os resultados encontrados nos ensaios de ABS foram aproximados do que esperado em comparação com suas referências. Ao comparar as resistências à tração dos materiais, o Nylon 6 obteve um limite de resistência à tração e capacidade de deformação muito maior que o ABS, conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Comparação Resistência à Tração do Nylon 6 e ABS.



Fonte: Martins e Lima (2018).

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa é de natureza aplicada e apresenta uma abordagem quantitativa, com foco em adquirir informações sobre o comportamento mecânico de produtos de impressão 3D através de ensaios mecânicos. Do ponto de vista dos objetivos, a pesquisa é exploratória e explicativa, enquanto seus procedimentos técnicos incluem métodos bibliográficos, experimentais e documentais, visando compreender melhor as aplicações desses materiais (Gil, 2002).

3.1 Equipamentos

Os experimentos foram realizados no Laboratório Metrologia e Materiais do Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Xanxerê. O laboratório está equipado com uma máquina de ensaios universal, que permitiu a realização dos testes nos corpos de prova.

Os corpos de prova foram fabricados na impressora pessoal do autor já que o mesmo apresenta maior familiaridade com esta, podendo garantir que os corpos de prova teriam a melhor qualidade possível.

Os seguintes equipamentos foram utilizados:

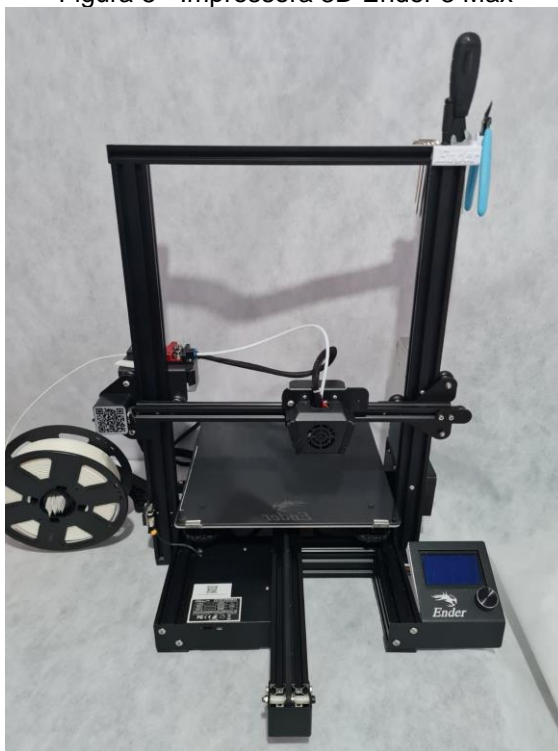
- Máquina de ensaios Universais: Modelo WDW – 100E, com capacidade de carga de 100 kN, conforme Figura 7.
- Impressora 3D: Ender 3 Max com área aberta de impressão de 300mm x 300mm e mesa aquecida, conforme Figura 8.

Figura 7 - Máquina de Ensaio Universais
Modelo WDW – 100E



Fonte: Autor (2024)

Figura 8 - Impressora 3D Ender 3 Max

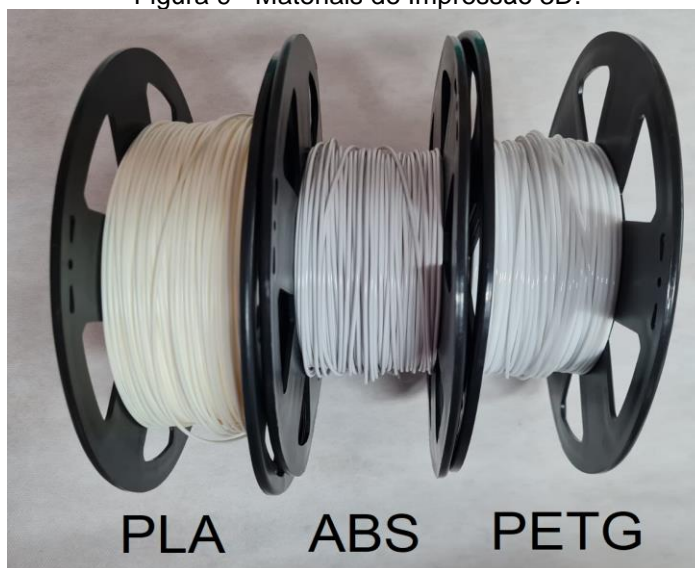


Fonte: Autor (2024)

3.2 Materiais

Para os ensaios, foram utilizados os seguintes materiais, PLA, ABS e PETG, que estão entre os mais amplamente empregados na área da impressão 3D. O PLA se destaca por ser biodegradável e de fácil impressão. Já o ABS oferece maior durabilidade e resistência ao impacto. Por sua vez, o PETG combina flexibilidade com resistência. A Figura 9 ilustra uma comparação visual de peças fabricadas com esses materiais.

Figura 9 - Materiais de Impressão 3D.



Fonte: Autor (2025).

3.3 Preparação dos corpos de prova

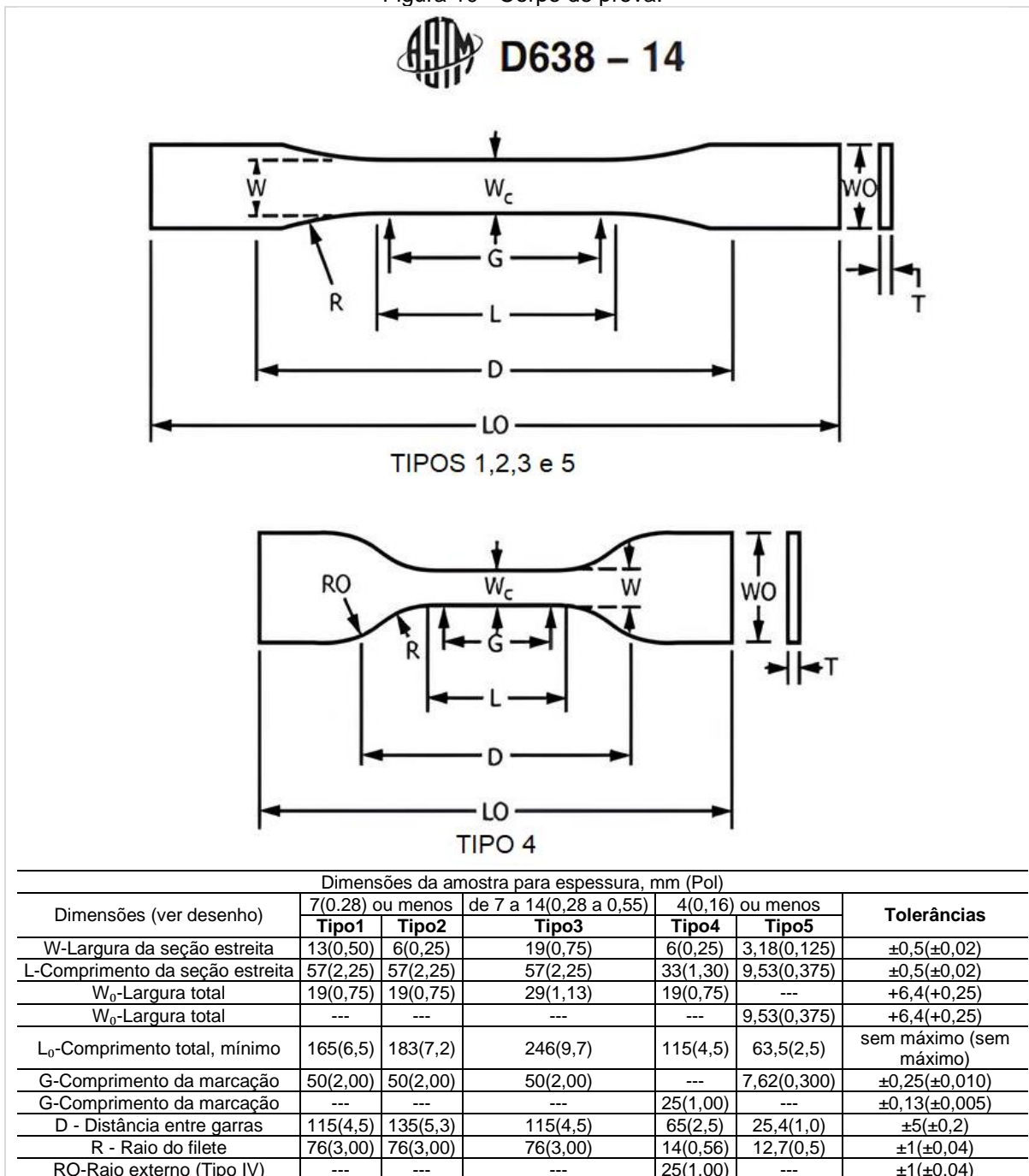
3.3.1 Norma de ensaios mecânicos

A norma ASTM D638-22 estabelece procedimentos para a realização de testes de tração mecânica, abordando formatos e dimensões do corpo de prova, bem como condições de temperatura, umidade e velocidade da máquina. Esses procedimentos têm como objetivo padronizar os testes, visando fornecer dados úteis para o controle de qualidade e a determinação das propriedades de tração em materiais poliméricos.

Dado que as propriedades mecânicas de tração dos materiais podem variar devido a fatores como o método de produção da amostra, temperatura, velocidade e ambiente de teste, é crucial garantir a uniformidade dos testes. Portanto, é necessário que todas as amostras sejam preparadas da mesma maneira, a fim de assegurar resultados confiáveis e comparáveis.

Seguindo as orientações da norma a ASTM D638-22, deve ser escolhido um dos seguintes tipos de corpos de provas mostrado na Figura 10.

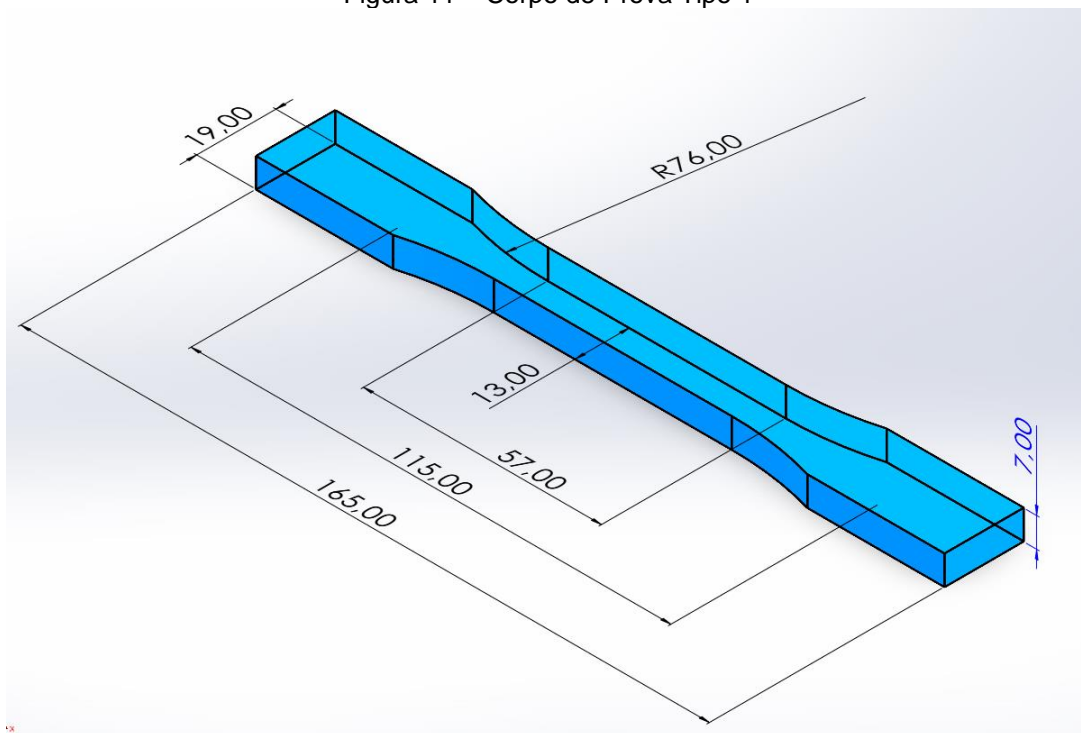
Figura 10 - Corpo de prova.



Fonte: adaptado da ASTM D638-22

Conforme as recomendações da norma ASTM D6385-15 o corpo de prova Tipo 1 é o mais indicado e deve ser usado sempre que seja possível. As dimensões do corpo de prova escolhido são apresentadas nas Figura 11. O modelo 3D foi criado no software SolidWorks, seguindo as dimensões estabelecidas pela norma.

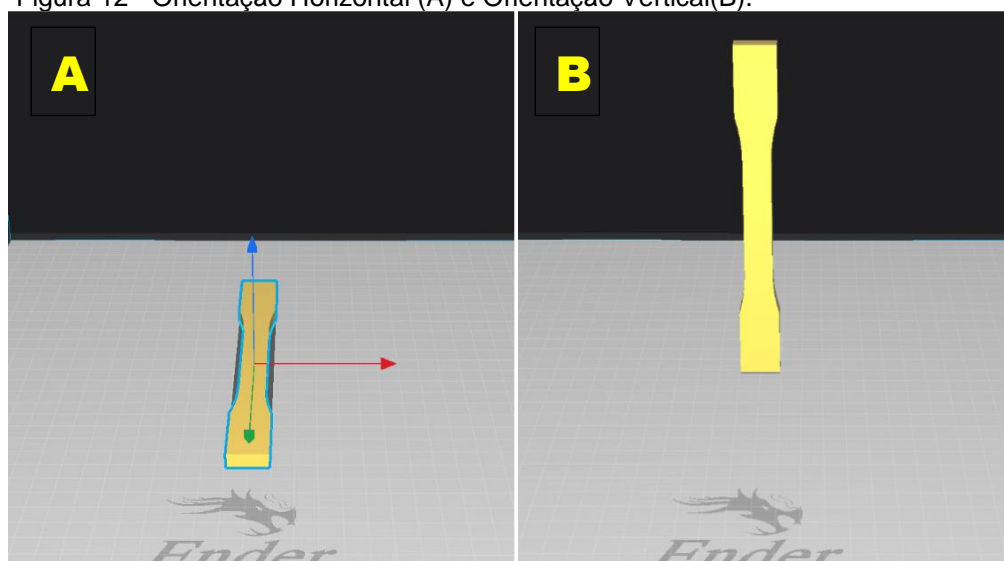
Figura 11 – Corpo de Prova Tipo 1



Fonte: o autor (2024).

Para a realização dos testes de tração, é importante considerar que, devido às características do processo de impressão 3D, as peças apresentam anisotropia. Essa propriedade faz com que as características físicas variem de acordo com orientação das linhas e camadas de impressão. Por isso, a norma ASTM D638-22 recomenda a utilização de 10 corpos de prova de cada material, sendo examinados 5 na orientação vertical e 5 na orientação horizontal de acordo com a Figura 12.

Figura 12 - Orientação Horizontal (A) e Orientação Vertical(B).



Fonte: Autor (2024).

3.3.2 Impressão dos corpos de prova

A impressão de cada corpo de prova utilizou aproximadamente 23 g de material e por volta de 1h e 50 minutos totalizando 230 g e 20 h por material.

A simulação de impressão e a preparação do G-code foram realizados no programa Ultimaker Cura 5.5.0 com os seguintes parâmetros:

Velocidade de impressão: 100 mm/s

Quantidade de paredes: 5

Densidade de preenchimento: 100%

Altura de camada: 0,2 mm

Parâmetros como temperatura do bico, temperatura da mesa foram e velocidade do Fan foram calibrados de acordo com o recomendado pelo fabricante para cada material, conforme indicado na Tabela 1. Demais configurações no anexo 01.

Tabela 1 - Configurações por Material.

	PLA	ABS	PETG
Temperatura Bico	220 °C	240 °C	240 °C
Temperatura Mesa	60 °C	110 °C	80 - 90 °C
Velocidade do Fan	100%	20%	40%

Fonte: adaptado de 3D Fila (2024)

3.4 Planejamento dos ensaios

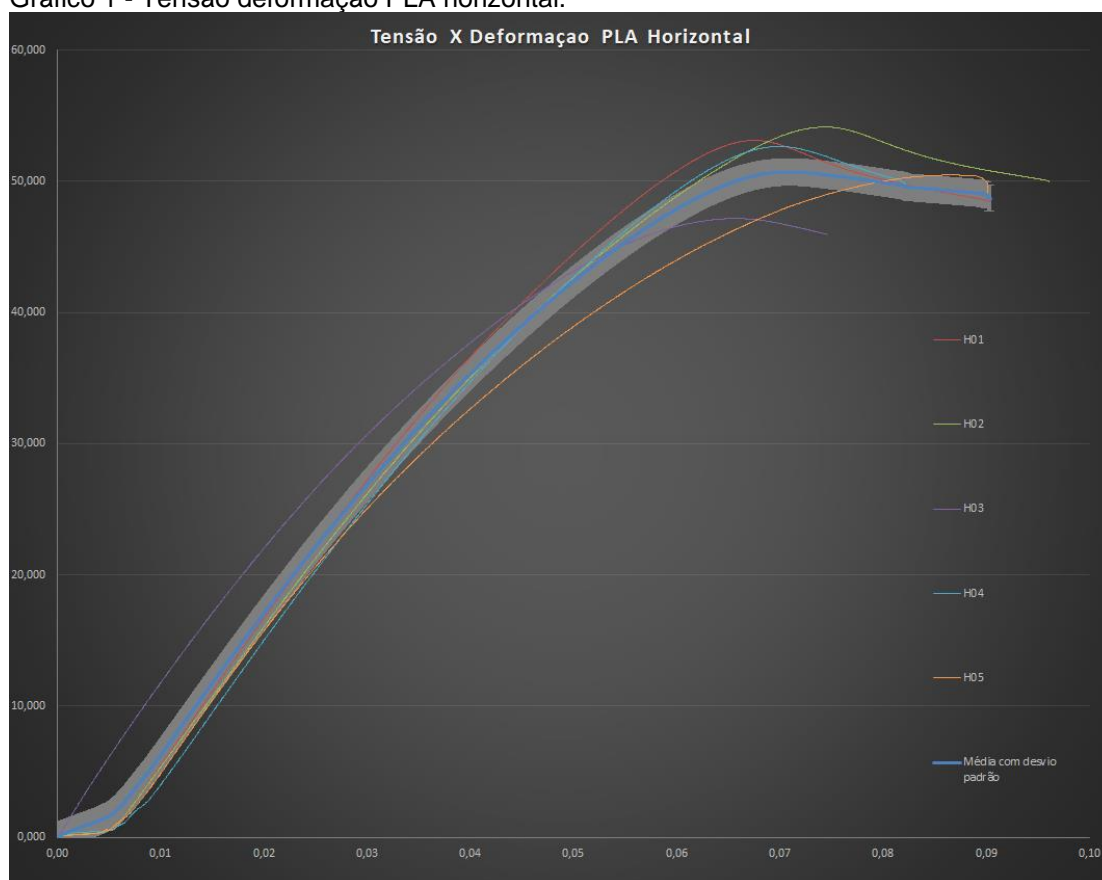
Visando parâmetros adequados para obtenção dos resultados, seguindo as orientações da ASTM- D638-22, a velocidade de ensaio deve ser definida com base no tipo do corpo de prova e na taxa de deformação do material. Para corpos de provas tipo 1 é recomendado $5 \text{ mm/min} \pm 25\%$.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1 PLA

Os resultados dos ensaios realizados com o material PLA, considerando as orientações horizontal e vertical, são apresentados no Gráfico 1 e Gráfico 2, complementados pela Tabela 2 e Tabela 3. Esses dados permitem uma análise comparativa do comportamento mecânico do material em ambas as direções:

Gráfico 1 - Tensão deformação PLA horizontal.



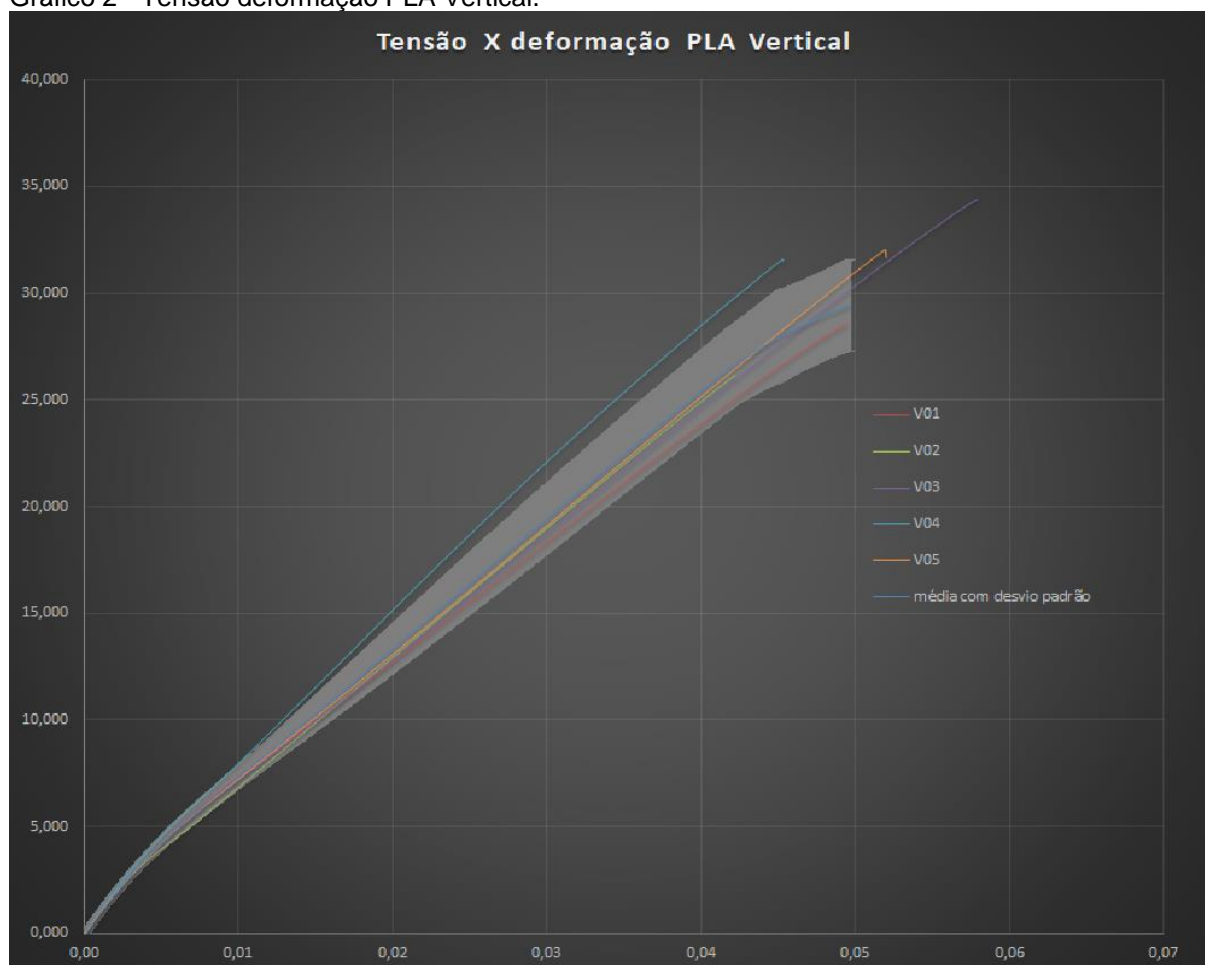
Fonte: autor (2025).

Tabela 2 - Resultados PLA Horizontal.

	Tensão máxima (MPa)	Deformação(mm/mm)	Modulo elasticidade (GPa)
H01	53,12	0,0905	1,113
H02	54,14	0,0961	1,067
H03	55,35	0,0901	1,169
H04	52,66	0,0910	1,093
H05	50,48	0,0902	1,041
Média	51,51	0,0867	1,057
s	2,77	0,0084	54,86

Fonte: Autor (2025).

Gráfico 2 - Tensão deformação PLA Vertical.



Fonte: Autor (2025).

Tabela 3 - Resultados PLA vertical.

	Tensão máxima (MPa)	Deformação(mm/mm)	Modulo elasticidade (GPa)
V01	28,55	0,0496	0,545
V02	26,17	0,0423	0,610
V03	34,39	0,0580	0,576
V04	31,59	0,0454	0,721
V05	32,03	0,0521	0,592
Média	30,54	0,0494	0,609
s	3,21	0,0061	67,03

Fonte: Autor (2025).

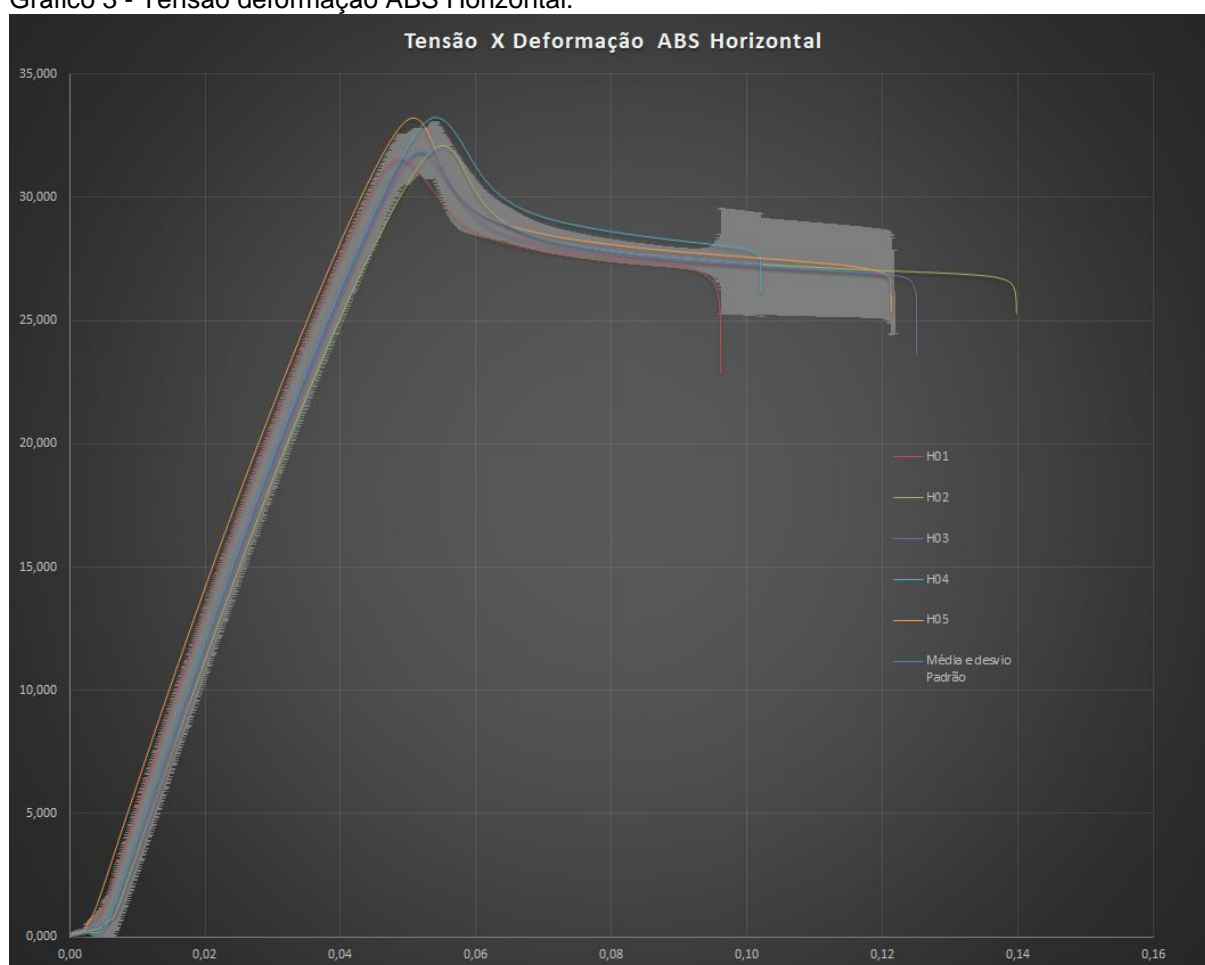
PLA Orientação Horizontal: A curva no ponto máximo da tensão ficou em uma média de 52,83 MPa, com deformação média de 0,0904 mm/mm ou 9,04% média do módulo de elasticidade 1,107 GPa

PLA Orientação Vertical: os corpos de prova na vertical apresentaram uma resistência à tração reduzida, com uma média de 30,54 MPa com deformação média de 0,0495 mm/mm ou 4,95% media de modulo de elasticidade 0,507 GPa.

4.2 ABS

A seguir, são apresentados os resultados dos ensaios realizados para avaliar o comportamento mecânico do material ABS, considerando as orientações horizontal e vertical. Esses dados estão ilustrados no Gráfico 3 e Gráfico 4, complementados pelas informações numéricas da Tabela 4 e Tabela 5, respectivamente.

Gráfico 3 - Tensão deformação ABS Horizontal.



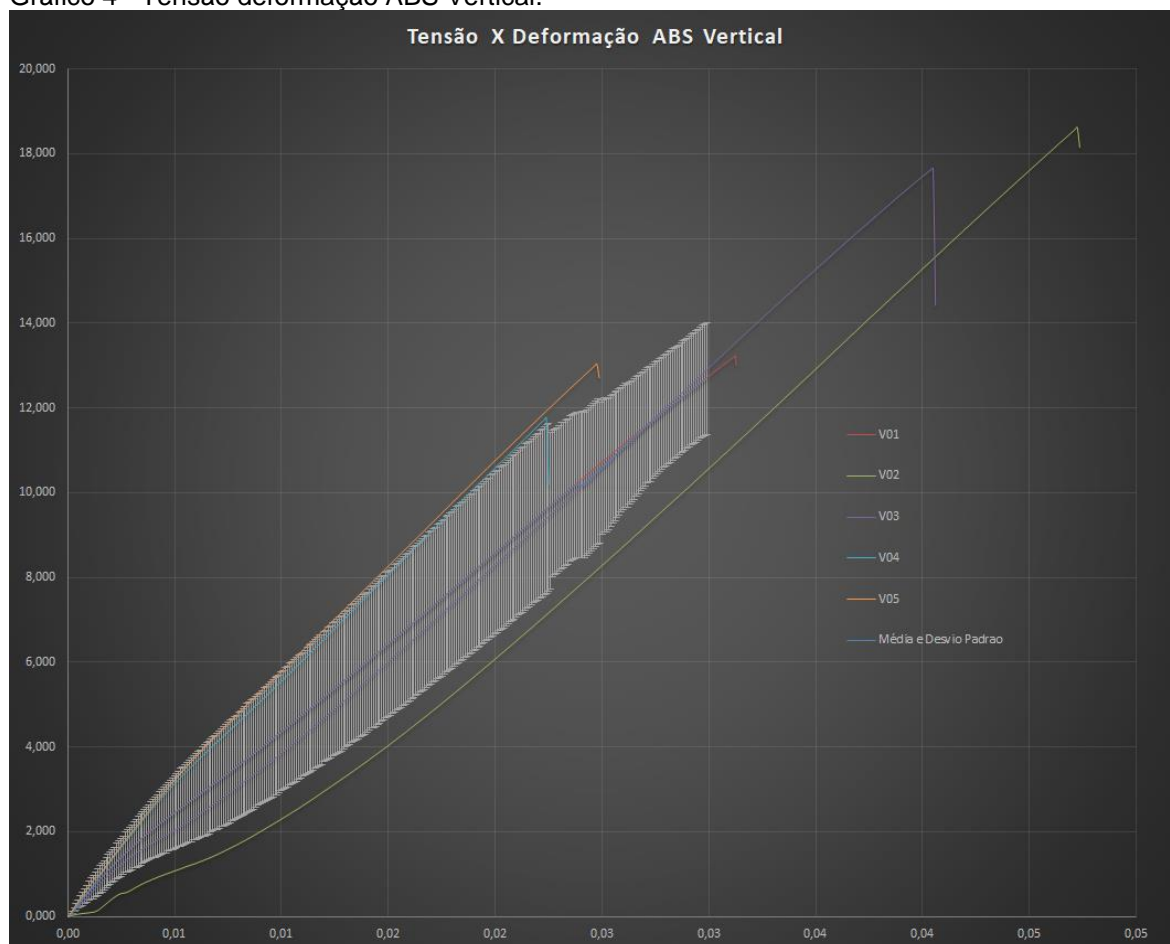
Fonte: Autor (2025).

Tabela 4 - Resultados ABS Horizontal.

	Tensão máxima (MPa)	Deformação(mm/mm)	Modulo elasticidade (GPa)
H01	31,59	0,0962	0,822
H02	32,11	0,1398	0,795
H03	31,88	0,1251	0,824
H04	33,25	0,1021	0,806
H05	33,23	0,1213	0,799
Média	32,41	0,1169	0,809
s	0,78	0,0178	13,06

Fonte: Autor (2025).

Gráfico 4 - Tensão deformação ABS Vertical.



Fonte: Autor (2025).

Tabela 5 - Resultados ABS Vertical.

	Tensão máxima (MPa)	Deformação(mm/mm)	Modulo elasticidade (GPa)
V01	13,23	0,0313	0,429
V02	18,62	0,0474	0,471
V03	17,66	0,0406	0,467
V04	11,77	0,0225	0,494
V05	13,04	0,0249	0,500
Média	14,86	0,0333	0,472
s	3,06	0,0105	27,73

Fonte: Autor (2025).

ABS Orientação Horizontal: A curva no ponto máximo da tensão ficou em uma média de 32,61 MPa com deformação média 0,1168 mm/mm ou 11,69% media do modulo de elasticidade 0,809 GPa

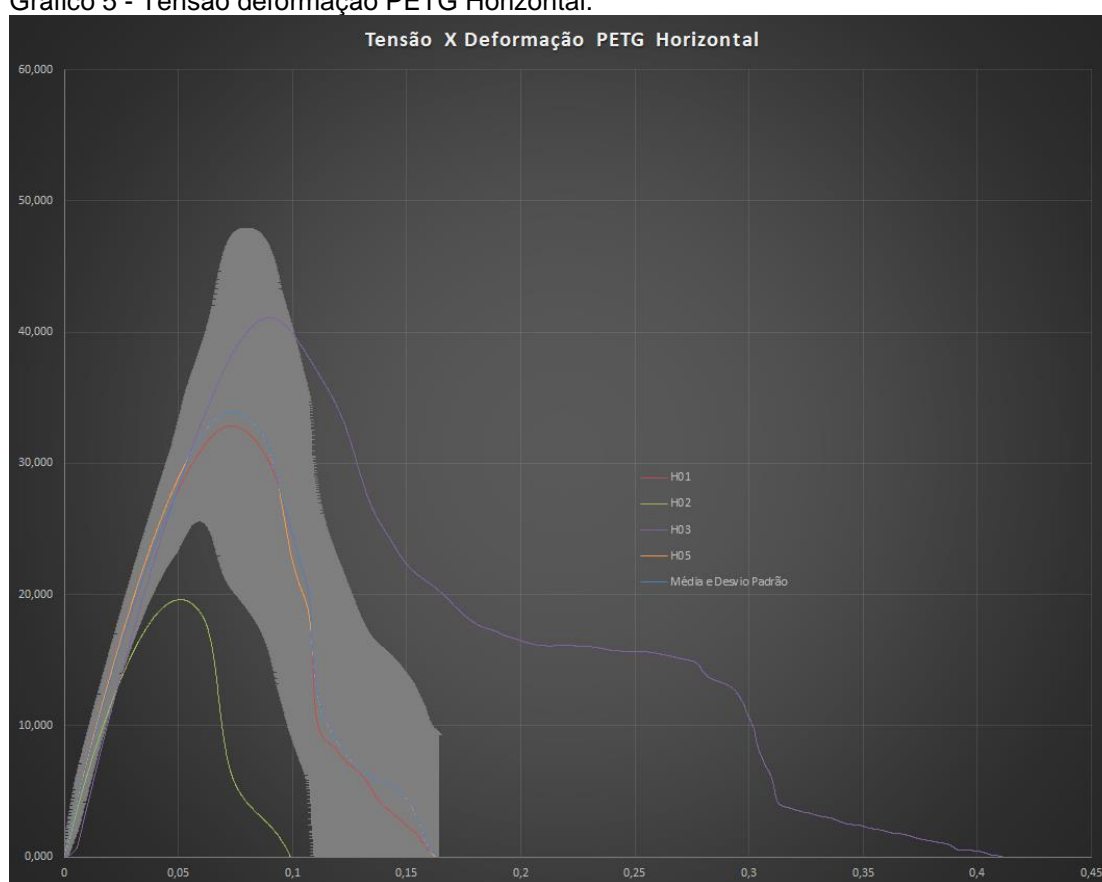
ABS Orientação Vertical: como observado os corpos de prova na vertical

apresentaram menor resistência com uma média de 15,27 MPa com deformação média de 0,0333 mm/mm ou 3,33% média de módulo de elasticidade 0,472 GPa.

4.3 PETG

Os ensaios realizados no material PETG nas orientações horizontal e vertical são apresentados no Gráfico 4 e Gráfico 6. Complementando esses dados, a Tabela 6 e Tabela 7 detalham os resultados obtidos em cada configuração.

Gráfico 5 - Tensão deformação PETG Horizontal.



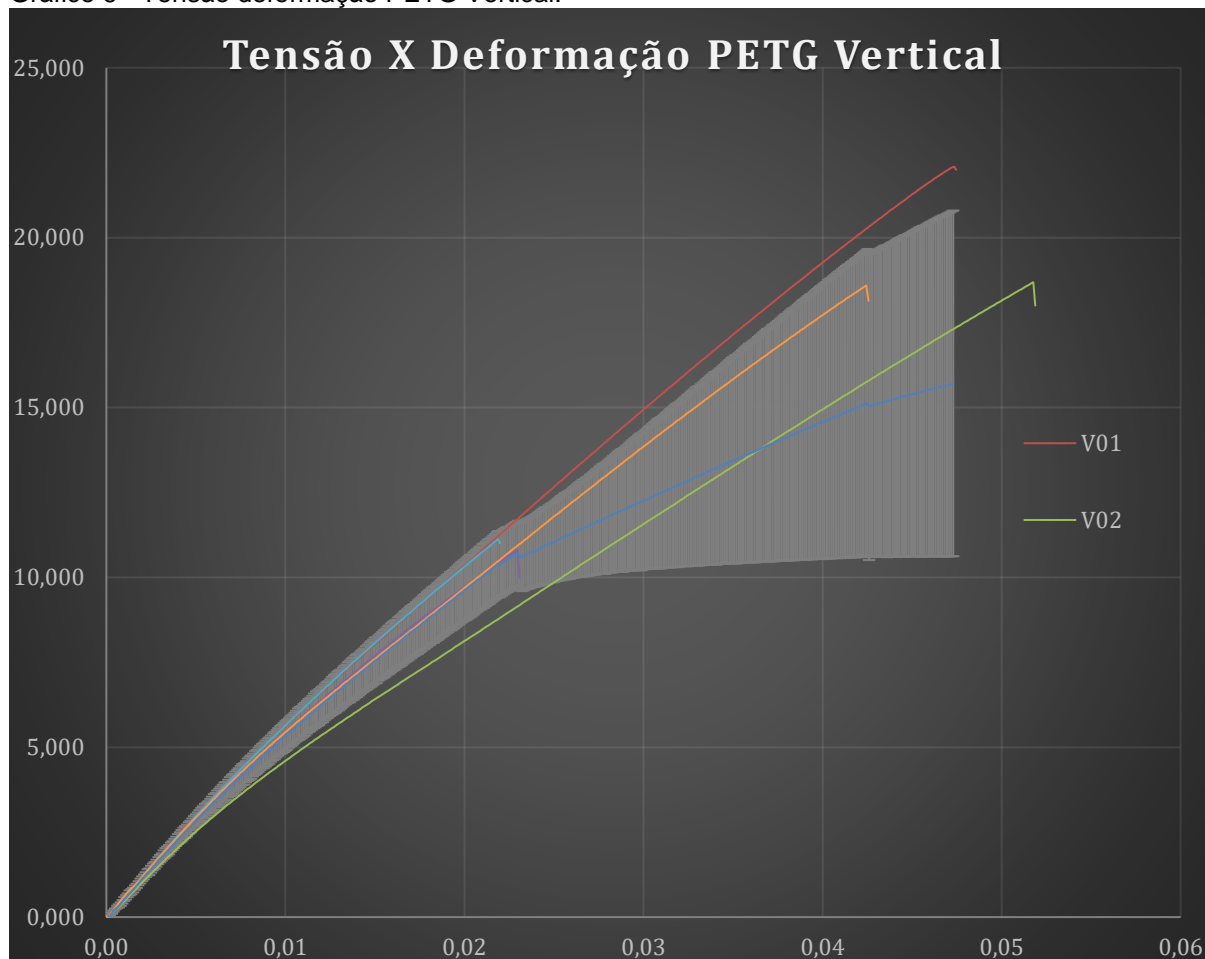
Fonte: autor (2025).

Tabela 6 - Resultados PETG Horizontal.

	Tensão máxima (MPa)	Deformação(mm/mm)	Módulo elasticidade (GPa)
H01	32,84	0,1640	0,587
H02	19,61	0,0992	0,456
H03	41,08	0,4113	0,630
H04	36,24	0,2210	0,650
H05	33,89	0,1624	0,652
Média	32,73	0,2116	0,553
s	7,99	0,1197	152,0224

Fonte: Autor (2025).

Gráfico 6 - Tensão deformação PETG Vertical.



Fonte: autor (2025).

Tabela 7 - Resultados PETG Vertical.

	Tensão máxima (MPa)	Deformação(mm/mm)	Modulo elasticidade (GPa)
V01	22,09	0,0475	0,458
V02	18,69	0,0519	0,344
V03	10,81	0,0231	0,432
V04	11,13	0,0220	0,472
V05	18,60	0,0426	0,431
Média	16,26	0,0373	0,427
s	5,03	0,0140	56,7144

Fonte: Autor (2025).

PETG Orientação Horizontal: o ponto máximo da tensão ficou com média de 32,70 MPa e deformação média 0,2115mm/mm ou 21,16% média do modulo de elasticidade 0,595 GPa.

PETG Orientação Vertical: como observado os corpos de prova na vertical apresentaram uma resistência reduzida com uma média de 16,26 MPa com deformação média de 0,0373mm/mm ou 3,74% media de modulo de elasticidade 0,427,84 GPa.

4.4 Comparação dos resultados

As médias dos resultados dos ensaios são apresentados na Tabela 8 a seguir

Tabela 8 - Médias dos Resultados

Material	Orientação	Resistência Media (MPa)	s	Deformação (%)	s
PLA	Horizontal	52,83	2,77	9,04	0,0084
PLA	Vertical	30,54	3,21	4,95	0,0061
ABS	Horizontal	32,61	0,78	11,69	0,0178
ABS	Vertical	15,27	3,06	3,33	0,0105
PETG	Horizontal	32,70	7,99	21,16	0,1197
PETG	Vertical	14,80	5,03	3,74	0,0140

Fonte: Autor (2025)

O PLA demonstrou uma boa resistência a tração 52,83 MPa quando analisado na Horizontal, porém pouca deformação seguida de uma ruptura abrupta que são características de um material frágil isso pode estar relacionado a estrutura semicristalina do PLA.

Em comparação com as referências obteve-se uma resistência a tração maior que Pelegrino *et al.* (2019) que relatou uma média de tenção aproximada de 28 MPa nas suas amostras horizontais, os resultados obtidos ficaram mais semelhantes ao encontrado por Santana (2018) nos testes realizados em peças de PLA feitas por injeção.

O ABS na horizontal demonstrou resistência à tração de 32,54 Mpa, inferior ao PLA, porém uma maior deformação de 11,69% o que demonstra a maior ductilidade do material, característica útil para aplicações que requerem absorção de impactos.

No seu trabalho Martins e Lima (2018) encontram o valor de resistência à tração médio 30,96 MPa e de deformação média de 4,33% para o material ABS, resultados que se mostraram semelhantes aos obtidos no presente trabalho.

Em relação ao PETG, nos ensaios realizados na horizontal um dos corpos de

prova (H02) demonstrou uma dispersão no resultado 19,60 MPa, um resultado abaixo da média dos outros corpos de prova. Esse desvio demonstra uma possível inconsistência na impressão ou algum problema no corpo de prova, provavelmente uma falha na aderência das camadas durante a impressão.

Diferentemente dos resultados obtidos para o PLA, em que a média de resistência à tração foi consistente com os valores de peças fabricadas por injeção reportados por Santana (2018), os resultados do PETG apresentaram comportamento distinto. Os valores de resistência à tração corroboram com os resultados encontrados nas peças impressas com o mesmo padrão de preenchimento ($32,15 \pm 0,67$ MPa). Esses resultados demonstram que as camadas de impressão do PETG não apresentam a mesma adesão quanto as do PLA. Esse fator reforça a hipótese de que a falha do corpo de prova H02 dos testes de PETG ocorreu devido à baixa adesão entre as camadas.

Os ensaios na vertical revelaram uma queda significativa da resistência de tração: PLA ($52,83 \rightarrow 30,54$ MPa), ABS ($32,61 \rightarrow 15,27$ MPa) e PETG ($32,70 \rightarrow 14,80$ MPa). Essa perda de resistência demonstra que a carga aplicada rompeu as ligações entre camadas do material, evidenciando as características anisotrópicas das peças produzidas por processo de impressão 3D. Esse comportamento reforça a importância de projetar a peça considerando tanto a orientação em que as forças serão aplicadas quanto a direção em que a peça será impressa.

5 CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo comparar as propriedades mecânicas de peças fabricadas através do método de impressão 3D Modelagem por fusão e deposição (FDM) com os principais materiais de impressão 3D, PLA, ABS e PETG, afim de entender melhor considerando diferentes orientações (horizontal e vertical).

A fim de padronizar os ensaios, foram seguidas as orientações da norma ASTM D638-22, que definiu tanto a geometria dos corpos de prova quanto a quantidade a ser ensaiada e os parâmetros para o ensaio.

A fabricação dos corpos de prova foi realizada seguindo as temperaturas recomendadas pelo fabricante dos materiais. Os resultados obtidos são apresentados a seguir:

PLA: apresenta maior resistência a tração que os outros materiais testados (54,83 MPa na orientação horizontal), similar ao que foi encontrado por Santana (2018) nas peças produzidas por injeção, porém com uma baixa deformação (9,04%) que são características de um material frágil tornando o mais apropriado para componentes que não sejam sujeitos a cargas dinâmicas ou impactos tipo protótipos estáticos, peças para maquetes ou componentes que sejam sujeitos a cargas estáticas.

ABS: Demonstra resistências moderadas (32,61 MPa) similar ao resultado de Martins e Lima (2018), com boa ductilidade (11,69% de deformação) o que o torna mais apropriado a peças mecânicas que exigem absorção de impacto e tenacidade como componentes automotivos, engrenagens, conectores.

PETG: Demonstrou uma resistência similar ao que Santana (2018) encontrou no mesmo padrão de preenchimento, (32,70 Mpa) similar ao ABS, porém com alta capacidade de deformação (21,16%). Mais apropriado a componentes que requerem equilíbrio entre resistência e flexibilidade como braçadeiras, juntas ou peças que estão sujeitas a cargas cíclicas variáveis.

Em uma comparação direta apenas entre a resistência a tração, o PLA seria o material com mais vantajoso em termos de resistência mecânica, porém suas características de material frágil são uma grande desvantagem tornando o impróprio para algumas aplicações. Por outro lado, o ABS e PETG, não apresentam essa desvantagem mesmo tendo demonstrando uma capacidade de resistência a tração menor que o PLA, sendo mais recomendados para aplicações industriais que

demandam flexibilidade e resistência mecânica devido à sua ductilidade elevada.

Além disso, todos os materiais apresentaram quedas de resistência significativas quando analisados no sentido paralelo as camadas de impressão (vertical). Esse efeito é causado pela anisotropia resultante do processo de fabricação FDM, o que evidencia mais ainda a necessidade de considerar a orientação na qual as peças serão impressas.

Para estudos futuros sugere-se utilização de uma impressão 3D com ambiente fechado que seja mais adequada a trabalhar com temperaturas elevadas, também é recomendado utilizar uma quantidade de maior de corpos de prova, também é recomendado realizar ensaios para avaliação de diferentes propriedades mecânicas como resistência térmica, dureza, resistência a impacto e resistência a flexão. Essas sugestões garantiriam uma caracterização mais abrangente dos materiais.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for tensile properties of plastics**. Designations D638 – 22. Disponível em: <<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/112891/45ff314ab18a4e749e85625b73a27f02/ASTM-D638-22.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2024.

KRISTIAWAN, R. B. et al. **A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: Filament processing, materials, and printing parameters**. Open Engineering, v. 11, n. 1, p. 639-649, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1515/eng-2021-0063>>. Acesso em: 1 abr. 2024.

CALLISTER, William D C. **Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução**. São Paulo: Grupo GEN, 2020. *E-book*. ISBN 9788521637325. Disponível em: <<https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521637325/>>. Acesso em: 26 mar. 2024.

VOLPATO, Neri. **Manufatura aditiva; Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D**. São Paulo: Editora Blucher, 2017. *E-book*. ISBN 9788521211518. Disponível em: <<https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521211518/>>. Acesso em: 01 mar. 2024.

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

LIRA, Valdemir M. **Princípios dos processos de fabricação utilizando metais e polímeros**. São Paulo: Editora Blucher, 2017. *E-book*. ISBN 9788521210849. Disponível em: <<https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521210849/>>. Acesso em: 27 mar. 2024.

LIMA, M. V. A. **Modelo de fatiamento adaptativo para prototipagem rápida: Implementação no processo de modelagem por fusão e deposição (FDM)**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em: <<https://livros01.livrosgratis.com.br/cp155487.pdf>>. Acesso em: 1 mar. 2024.

NUNES, Edilene de Cássia D.; LOPES, Fábio Renato S. **Polímeros - Conceitos, Estrutura Molecular, Classificação e Propriedades**. São Paulo: Editora Saraiva, 2014. *E-book*. ISBN 9788536520506. Disponível em: <<https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520506/>>. Acesso em: 05 mar. 2024.

GROOVER, Mikell P. **Fundamentos da Moderna Manufatura Versão SI**. 5 ed. São Paulo: Grupo GEN, 2017. E-book. ISBN 9788521634126. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521634126/>. Acesso em: 05 mar. 2024.

MENDES, Cláudia L.; SILVEIRA, Aline M. **Ensaaios mecânicos**. Porto Alegre: Grupo A, 2018. E-book. ISBN 9788595025028. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595025028/>. Acesso em: 06 mar. 2024.

FERNANDES, J. F. M. **Estudo da influência de parâmetros de impressão 3d nas propriedades mecânicas do PLA**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2016.

PORTO, Thomás Monteiro Sobrino. **Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil**. Trabalho Final de Graduação. UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.

SAVINI, A.; SAVINI, G. G. **A short history of 3D printing, a technological revolution just started**. In: 2015 *ICOHTEC/IEEE international history of high-technologies and their socio-cultural contexts conference* (HISTELCON). IEEE, 2015. p. 1-8.

SANTANA, Leonardo et al. **Estudo comparativo entre PETG e PLA para Impressão 3D através de caracterização térmica, química e mecânica**. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 23, p. e12267, 2018.

PELEGRINO, A.; MONTEIRO, C.; MIKOLAYCZYK, K.; SANTOS, A. **COMPARAÇÃO DE DIREÇÃO DE IMPRESSÃO 3D EM ABS E PLA PRODUZIDOS PELO MÉTODO FDM**. [s.l.]: [s.n.], 2019.

MARTINS, Samuel de Oliveira; LIMA, Ramsés Otto Cunha. **Estudo comparativo das propriedades mecânicas de polímeros de impressão 3D e de plásticos de engenharia utilizados em indústrias**. Mossoró: UFERSA, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

3D Fila. **Filamento PLA**. Disponível em: <https://3dfila.com.br/categoria-produto/filamento-pla/>. Acesso em: 18 out. 2024.

CEFET-RS. **Curso Técnico em Transformação de Plásticos**: Introdução à transformação – versão 2004. Sapucaia do Sul: CEFET-RS, 2004.

ANEXOS

Anexo 1 – Configurações de Impressão

Qualidade		Superior/Inferior	
Altura de Camada	0.2 mm	Camadas da Superfície Superior	0
Altura da Primeira Camada	0.2 mm	Espessura Superior/Inferior	1.0 mm
Largura de Extrusão	0.4 mm	Espessura Superior	1.0 mm
Largura de Extrusão da Parede	0.4 mm	Camadas Superiores	5
Largura de Extrusão da Parede Externa	0.4 mm	Espessura Inferior	1.0 mm
Largura de Extrusão das Paredes Internas	0.4 mm	Camadas Inferiores	5
Largura de Extrusão Superior/Inferior	0.4 mm	Padrão Superior/Inferior	Linhas
Largura de Extrusão do Preenchimento	0.6 mm	Camada Inicial do Padrão da Base	Linhas
Largura de Extrusão do Brim e Skirt	0.4 mm	Ordem Monotônica Superior/Inferior	<input type="checkbox"/>
Largura de Extrusão do Suporte	0.4 mm	Direções de Linha Superior/Inferior	[]
Largura de Extrusão da Interface do Suporte	0.4 mm	Largura do Teto/Base Pequenos	0.8 mm
Largura de Extrusão do Teto do Suporte	0.4 mm	Pequena Base/Teto Na Superfície	<input type="checkbox"/>
Largura de Extrusão da Base do Suporte	0.4 mm	Sem Contorno nas Lacunas Z	<input type="checkbox"/>
Largura de Extrusão da Camada Inicial	100.0 %	Contagem de Paredes Extras de Contorno	1
Paredes		Habilitar Passar a Ferro	<input checked="" type="checkbox"/>
Espessura de Parede	1.2 mm	Passar a Ferro Somente Camada Mais Alta	<input type="checkbox"/>
Número de Filetes da Parede	5	Padrão de Passagem a Ferro	Ziguezague
Distância de Varredura da Parede Externa	0.0 mm	Ordem de Passagem a Ferro Monotônica	<input type="checkbox"/>
Penetração da Parede Externa	0.0 mm	Espaçamento de Passagem a Ferro	0.1 mm
Otimizar Ordem de Impressão de Paredes	<input checked="" type="checkbox"/>	Fluxo de Passagem a Ferro	10.0 %
Ordem de Parede	De Dentro Pra Fora	Penetração da Passagem a Ferro	0.38 mm
Alternar Parede Adicional	<input checked="" type="checkbox"/>	Velocidade de Passar o Ferro	33.3333 mm/s
Imprimir Paredes Finas	<input checked="" type="checkbox"/>	Porcentagem de Sobreposição do Contorno	10.0 %
Expansão Horizontal	0.0 mm	Sobreposição do Contorno	0.04 mm
Expansão Horizontal da Camada Inicial	0.0 mm	Largura de Remoção de Contorno	2.0 mm
Expansão Horizontal do Furo	0.0 mm	Largura de Remoção do Contorno Superior	2.0 mm
Alinhamento da Costura em Z	Especificado pelo U...	Largura de Remoção do Contorno Inferior	2.0 mm
Posição da Costura Z	Atrás	Distância de Expansão do Contorno	2.0 mm
Coordenada X da Costura Z	150.0 mm	Distância de Expansão do Contorno Superior	2.0 mm
Coordenada Y da Costura Z	300.0 mm	Distância de Expansão do Contorno Inferior	2.0 mm
Preferência do Canto da Costura	Ocultar Costura	Ângulo Máximo do Contorno para Expansão	90.0 °
Costura Z Relativa	<input type="checkbox"/>	Largura Mínima de Contorno para Expansão	0.0 mm

Preenchimento		Material	
Densidade do Preenchimento	100.0 %	Temperatura de Impressão	f_x
Distância da Linha de Preenchimento	0.6 mm	Temperatura de Impressão da Camada Inicial	f_x
Padrão de Preenchimento	Linhas	Temperatura Inicial de Impressão	
Conectar Linhas de Preenchimento	<input type="checkbox"/>	Temperatura de Impressão Final	
Direções de Filetes de Preenchimento	[]	Temperatura da Mesa de Impressão	
Deslocamento X do Preenchimento	0.0 mm	Temperatura da Mesa de Impressão da Camada Inicial	
Deslocamento do Preenchimento Y	0.0 mm	Compensação de Fator de Encolhimento	100.0 %
Aleatorizar o Começo do Preenchimento	<input type="checkbox"/>	Compensação de Fator de Encolhimento Horizontal	100.0 %
Multiplicador de Filete de Preenchimento	1	Compensação de Fator de Encolhimento Vertical	100.0 %
Porcentagem de Sobreposição do Preenchimento	30.0 %	Fluxo	100.0 %
Sobreposição de Preenchimento	0.0 mm	Fluxo de Parede	100.0 %
Distância de Varredura do Preenchimento	0.0 mm	Fluxo da Parede Externa	100.0 %
Espessura da Camada de Preenchimento	0.2 mm	Fluxo da(s) Parede(s) Interna(s)	100.0 %
Passos Graduais de Preenchimento	0	Top Surface Outer Wall Flow	100.0 %
Preenchimento Antes das Paredes	<input type="checkbox"/>	Top Surface Inner Wall(s) Flow	100.0 %
Área Mínima para Preenchimento	0.0 mm ²	Fluxo de Topo/Base	100.0 %
Suporte do Preenchimento	<input type="checkbox"/>	Fluxo de Preenchimento	100.0 %
Espessura do Suporte da Aresta de Contorno	0.0 mm	Fluxo de Skirt/Brim	100.0 %
Camadas do Suporte da Aresta de Contorno	0	Fluxo de Suporte	100.0 %
Suporte		Fluxo de Interface de Suporte	100.0 %
Gerar Suporte	<input type="checkbox"/>	Fluxo do Teto de Suporte	100.0 %
Aderência à Mesa		Fluxo da Base de Suporte	100.0 %
Tipo de Aderência da Mesa de Impressão	Skirt	Fluxo da Torre de Purga	100.0 %
Contagem de linhas de Skirt	3	Fluxo Inicial de Camada	100.0 %
Altura do Skirt	1	Fluxo de Parede Interna da Camada Inicial	100.0 %
Distância do Skirt	10.0 mm	Fluxo de Parede Externa da Camada Inicial	100.0 %
Mínimo Comprimento do Skirt e Brim	250.0 mm	Fluxo da Base da Camada Inicial	100.0 %
		Fluxo gradual habilitado	<input type="checkbox"/>

Velocidade		Percurso	
Velocidade de Impressão	100.0 mm/s	Habilitar Retração	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocidade de Preenchimento	100.0 mm/s	Retrai em Mudança de Camada	<input type="checkbox"/>
Velocidade da Parede	50.0 mm/s	Distância da Retração	6.7 mm
Velocidade da Parede Exterior	50.0 mm/s	Velocidade de Retração	50.0 mm/s
Velocidade da Parede Interior	50.0 mm/s	Velocidade de Recolhimento de Retração	50.0 mm/s
Top Surface Outer Wall Speed	50.0 mm/s	Velocidade de Avanço da Retração	50.0 mm/s
Top Surface Inner Wall Speed	50.0 mm/s	Quantidade Adicional de Avanço da Retração	0.0 mm ³
Velocidade Superior/Inferior	50.0 mm/s	Percurso Mínimo para Retração	1.0 mm
Velocidade do Suporte	50.0 mm/s	Contagem de Retrações Máxima	100
Velocidade do Preenchimento do Suporte	50.0 mm/s	Janela de Distância de Extrusão Mínima	10.0 mm
Velocidade da Interface de Suporte	50.0 mm/s	Modo de Combing	Não no Contorno
Velocidade de Percurso	250.0 mm/s	Retrair Antes da Parede Externa	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocidade da Camada Inicial	20.0 mm/s	Evitar Partes Impressas nas Viagens	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocidade de Impressão da Camada Inicial	20.0 mm/s	Evitar Suportes No Percurso	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocidade de Percurso da Camada Inicial	100.0 mm/s	Distância de Desvio de Percurso	0.625 mm
Velocidade do Skirt e Brim	20.0 mm/s	X Inicial da Camada	0.0 mm
Número de Camadas Mais Lentas	2	Y Inicial da Camada	0.0 mm
Raio de Equalização de Fluxo	100.0 %	Salto Z Ao Retrair	<input type="checkbox"/>
Habilitar Controle de Aceleração	<input type="checkbox"/>		
Habilitar Controle de Jerk	<input type="checkbox"/>		

Habilitar Refrigeração de Impressão	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocidade da Ventoinha	f_x
Velocidade Regular da Ventoinha	100.0 %
Velocidade Máxima da Ventoinha	100.0 %
Limite de Tempo para Mudança de Velocidade da Ventoinha	10.0 s
Velocidade Inicial da Ventoinha	0.0 %
Velocidade Regular da Ventoinha na Altura	0.48 mm/s
Velocidade Regular da Ventoinha na Camada	4 mm/s
Tempo Mínimo de Camada	5.0 s
Velocidade Mínima	10.0 mm/s
Levantar Cabeça	<input checked="" type="checkbox"/>
Experimental	
Tolerância de Fatiamento	Meio
Otimização de Percurso de Preenchimento	<input checked="" type="checkbox"/>
Habilitar Cobertura de Trabalho	<input type="checkbox"/>
Torna Seções Pendentes Imprimíveis	<input type="checkbox"/>
Habilitar Desengrenagem	<input type="checkbox"/>
Contorno Felpudo	<input type="checkbox"/>
Máximo Deslocamento de Extrusão de Compensação de Taxa de Fluxo	<input type="checkbox"/> 0.0 mm
Fator de Compensação da Taxa de Fluxo	<input type="checkbox"/> 100.0 %
Usar Camadas Adaptativas	<input checked="" type="checkbox"/>
Máximo Variação das Camadas Adaptativas	<input type="checkbox"/> 0.06 mm
Tamanho de Passo da Variação das Camadas Adaptativas	<input type="checkbox"/> 0.08 mm
Tamanho da Topografia de Camadas Adaptativas	<input type="checkbox"/> 0.2 mm
Limpar o Bico Entre Camadas	<input type="checkbox"/>
Tamanho Máximo de Furos Pequenos	0.0 mm
Alternar Direções de Parede	<input type="checkbox"/>
Group Outer Walls	<input checked="" type="checkbox"/>