



**IVAN SILVA GONÇALVES
PABLO HENRIQUE MACHADO DE SOUZA**

**USO DE TERMOPLÁSTICO COMO SUBSTITUTO DO AÇO EM
DOBRADIÇAS DE ABAS CONVENCIONAIS**

**LAVRAS - MG
2022**

**IVAN SILVA GONÇALVES
PABLO HENRIQUE MACHADO DE SOUZA**

**USO DE TERMOPLÁSTICO COMO SUBSTITUTO DO AÇO EM DOBRADIÇAS DE
ABAS CONVENCIONAIS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof °. Victor Buono da Silva Baptista.
Orientador

**LAVRAS - MG
2022**

**IVAN SILVA GONÇALVES
PABLO HENRIQUE MACHADO DE SOUZA**

**USO DE TERMOPLÁSTICO COMO SUBSTITUTO DO AÇO EM DOBRADIÇAS DE
ABAS CONVENCIONAIS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 28 de abril de 2022.

Prof. Victor Buono da Silva Baptista - UFLA

Prof^a. Priscilla Abreu Pereira Ribeiro - UFLA

Prof. Alan Pereira Vilela - UNILAVRAS



Prof^o. Victor Buono da Silva Baptista.
Orientador

**LAVRAS - MG
2022**

AGRADECIMENTOS

As principais conquistas vão muito além de aprovações e notas. Durante a confecção do presente trabalho, cujo o privilégio de realizar em dupla nos foi concedido, tivemos oportunidade de trabalharmos juntos e fortalecer uma amizade que já ultrapassa os 10 anos. Foram muitos momentos de companheirismo e amizade. Agradecemos a Deus por nos guiar com luz e sabedoria durante toda nossa trajetória. Somos gratos também pelos desafios que apareceram no caminho, e nos tornaram mais perseverantes e auxiliaram para que conseguíssemos aprimorar nossas habilidades e competências.

Agradecemos aos nossos pais João Marcio de Souza e Mara Lúcia Resende de Souza, Rogério Amaro Gonçalves e Ana Maria da Silva Gonçalves, por todo o sacrifício realizado para que esse sonho pudesse estar sendo realizado. Agradecemos por todos os conselhos nos momentos em que tudo parecia sem solução, vocês foram nosso porto seguro. Estendemos nossa gratidão aos nossos irmãos Patrick Gustavo Machado de Souza e Igor Silva Gonçalves, e em especial, a Lohayne Cristina de Abreu, nossa amiga e companheira durante essa jornada tão importante em nossas vidas. A vocês, família, todo nosso amor e eterna gratidão.

Gratidão a todos os professores, que participaram da nossa formação desde a infância, todos foram de fundamental importância para a formação de quem estamos nos tornando hoje. Agradecemos em especial a nosso orientador e amigo Victor Buono da Silva Baptista, pela confiança em nós depositada e por toda a ajuda.

Agradecemos a Universidade Federal de Lavras, na qual nos proporcionou momentos inesquecíveis com pessoas excepcionais que levaremos para toda a vida. Agradecemos também a UNILAVRAS pelo apoio e disponibilidade dos equipamentos da instituição.

Por fim, obrigado a todos que de alguma forma contribuíram com nossa trajetória.

GRATIDÃO!

“O homem não teria alcançado o possível se, repetidas vezes, não tivesse tentado o impossível.” (Max Weber)

RESUMO

A impressora 3D vem impactando de forma positiva na construção civil, seja pela otimização estrutural, previsão de falhas, planejamento da execução a fim de reduzir custos, evitar acidentes durante as obras e até na substituição de peças. Este experimento visa a confecção de dobradiças em impressão 3D e os estudos necessários para comparar sua eficácia em relação às dobradiças convencionais, através de ensaios de compressão, tração e basculamento. Utilizando o *software* SolidWorks, realizou-se a modelagem das peças, seguindo o padrão das dimensões comercializadas estabelecidas pela norma NBR 7178 (ABNT, 1997), onde os furos e folgas foram alocados conforme recomendação da NBR 6158 (ABNT, 1995). Com o intuito de se determinar o melhor material a ser aplicado no modelo, foram testados três filamentos termoplásticos: ABS (Acrilonitrila Butadieno estireno), PETG (Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol) e PLA (Ácido Polilático), sendo que o último mostrou ser mais adequado para a função do protótipo. Após impressão e instalação dos modelos, mediu-se o desgaste ocorrido pela abrasão entre os componentes, através de ciclos de basculamento. Os resultados obtidos foram satisfatórios visto que as peças suportaram a carga solicitada sem que houvesse prejuízo na rotação do conjunto após os ensaios realizados, apesar do custo de fabricação das dobradiças impressas se mostrarem mais onerosos em relação as dobradiças convencionais.

Palavras-chave: Dobradiças, modelagem, impressão 3D, filamentos, termoplásticos.

ABSTRACT

The 3D printer has been a positive impact in civil construction, applied in structural optimization, failure prediction, execution plan in order to reduce costs, avoid accidents during the construction and even as piece replacement. This experiment proposes the fabrication of a 3D printed hinge and the required studies to compare its efficiency in relation to conventional hinges, through compression, traction, and tilting tests. The pieces were modeled using the SolidWorks *software*, following the standard commercial dimensions established by the NBR 7178 standard (ABNT, 1997), where the drill holes and gaps were allocated according to the NBR 6158 recommendation (ABNT, 1995). Three thermoplastic filaments were tested in order to determine the best material to be applied in the model: ABS, PETG, and PLA, in which the last one proved to be the most appropriate for the prototype's function. The wear occurred by abrasion between the components was measured, through tilting cycles, after the printing and the installation of the models. The results obtained affirmed the functionality of the parts, despite being more expensive than the conventional hinges available in the market.

Keywords: Hinges, modeling, 3D printing, filaments, thermoplastic.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Aumento do preço dos insumos nas obras em 2021 | 12 |
| Figura 2: Propriedades dos termoplásticos | 14 |
| Figura 3: Rearranjo molecular dos termoplásticos submetidos ao calor | 15 |
| Figura 4: Carretéis de filamentos termoplásticos | 15 |
| Figura 5: Gráfico – Comportamento dos filamentos submetidos a tração | 16 |
| Figura 6: Dobradiça de aço convencional (a) e impressa em termoplástico (b) | 17 |
| Figura 7: Impressora GTMax3D cedida pela UNILAVRAS | 19 |
| Figura 8: Corpos de prova sendo impressos em PETG | 20 |
| Figura 9: Interface do software integrado da máquina de ensaios universal | 21 |
| Figura 10: Máquina de ensaios universal cedida pela Universidade Federal de Lavras | 22 |
| Figura 11: Modelo representativo de um ensaio de compressão | 22 |
| Figura 12: Dimensões dos corpos de prova submetidos à compressão | 23 |
| Figura 13: Modelo representativo de um ensaio de tração | 24 |
| Figura 14: Dimensões dos corpos de prova submetidos à tração | 24 |
| Figura 15: Dimensões do par de dobradiças fechadas | 26 |
| Figura 16: Diâmetro do fuste e pino de basculamento | 26 |
| Figura 17: Dimensões do par de dobradiças separadas | 27 |
| Figura 18: Detalhe da modelagem das peças no software SolidWorks | 27 |
| Figura 19: Detalhe da montagem no software SolidWorks | 28 |
| Figura 20: Disposição superior dos objetos para impressão no software CURA 3D Ultimaker | 28 |
| Figura 21: Disposição lateral dos objetos para impressão no software CURA 3D Ultimaker | 28 |
| Figura 22: Interface do programa CURA 3D Ultimaker demonstrando as configurações e disposições para a impressão | 29 |
| Figura 23: Esquema representativo da instalação das dobradiças | 30 |
| Figura 24: Desprendimento de algumas camadas na impressão em PETG | 30 |
| Figura 25: Corpos de prova identificados a serem submetidos a compressão | 31 |
| Figura 26: Dimensões mensuradas dos corpos de prova submetidos à compressão | 32 |
| Figura 27: Curva Tensão x Deformação para os corpos de prova de ABS submetidos à compressão | 33 |
| Figura 28: Curva Tensão x Deformação para os corpos de prova de PETG submetidos à compressão | 34 |

| | |
|---|----|
| Figura 29: Curva Tensão x Deformação para os corpos de prova de PLA submetidos à compressão | 35 |
| Figura 30: Corpos de prova identificados a serem submetidos à tração e impressos em ABS | 36 |
| Figura 31: Dimensões mensuradas dos corpos de prova submetidos à tração | 36 |
| Figura 32: Curva TensãoxDeformação para os corpos de prova de ABS submetidos à tração | 38 |
| Figura 33: Curva TensãoxDeformação para os corpos de prova de PETG submetidos à tração | 39 |
| Figura 34: Curva TensãoxDeformação para os corpos de prova de PLA submetidos à tração | 40 |
| Figura 35: Dobradiças recém tiradas da impressora 3D | 42 |
| Figura 36: Visão posterior de uma dobradiça impressa instalada | 42 |
| Figura 37: Identificação dos apoios das dobradiças | 43 |
| Figura 38: Dobradiças instaladas na porta | 45 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | Introdução | 12 |
| 2 | Objetivos | 13 |
| 2.1 | Objetivo geral | 13 |
| 2.2 | Objetivo específico | 13 |
| 3 | Referencial teórico | 13 |
| 3.1 | Impressão 3D | 13 |
| 3.2 | Termoplásticos | 14 |
| 3.3 | Filamentos | 15 |
| 3.4 | Dobradiças | 17 |
| 4. | Materiais e métodos | 18 |
| 4.1 | Softwares | 18 |
| 4.1.1 | SolidWorks | 18 |
| 4.1.2 | CURA 3D Ultimaker | 18 |
| 4.2 | Modelagem e impressão dos corpos de prova | 19 |
| 4.3 | Ensaio mecânicos | 20 |
| 4.3.1 | Ensaio de compressão | 22 |
| 4.3.2 | Ensaio de tração | 24 |
| 4.4 | Modelagem e impressão das dobradiças | 25 |
| 4.5 | Controle de qualidade das dobradiças | 29 |
| 5. | Resultados e discussão | 30 |
| 5.1 | Impressão dos corpos de prova | 30 |
| 5.1.1 | Identificação dos corpos de prova | 31 |
| 5.2 | Ensaio de compressão | 31 |
| 5.3 | Ensaio de tração | 36 |
| 5.4 | Análise dos resultados obtidos e determinação do material mais adequado | 41 |

| | | |
|-------|----------------------------|----|
| 5.5 | Desempenho das dobradiças | 41 |
| 5.5.1 | Impressão | 41 |
| 5.5.2 | Viabilidade Econômica | 43 |
| 5.5.3 | Desgaste a abrasão | 43 |
| 6. | Conclusão | 46 |
| 7. | Referências bibliográficas | 47 |

1. Introdução

O aço é uma das principais matérias-primas utilizadas na construção civil, com tal material é possível fabricar vergalhões, treliças, espaçadores, além de muitos outros aparatos e acessórios comumente aplicados em obras. Assim também é o caso das dobradiças, que são produzidas a partir do próprio aço, e de outros metais como o latão, por exemplo. Segundo um artigo publicado pela CNN (Cable News Network) em maio de 2021 (Fig. 1), houve o maior aumento do preço de insumos na construção civil dos últimos 28 anos, o aço em si teve uma elevação de 72,6% em 12 meses, superando o valor de R\$5000,00 por tonelada do material (“Inflação na construção civil é a maior em 28 anos, aponta levantamento da FGV”, [s.d.]). A possível causa deste aumento é a necessidade da aplicação do aço em outros campos da indústria, como a produção automobilística, que retomaram suas atividades após o surto da COVID-19.

Figura 1: Aumento do preço dos insumos nas obras em 2021



Fonte: Valor Econômico (2021)

Devido ao aumento súbito de tais valores, se torna viável a busca por novas opções de mercado, dessa forma, levando ao estudo das propriedades mecânicas de outros materiais, como alternativa para substituir o aço e que tenham um custo competitivo. Sendo assim, surgem os termoplásticos moldados em impressora 3D como opção, uma vez que se tratam de materiais versáteis e que não são prejudiciais ao meio ambiente.

A impressora 3D pode ser utilizada para diversas finalidades, e para cada uma delas é recomendado um tipo de filamento termoplástico, dentre os mais comuns, é possível citar PLA,

ABS e PETG. O PLA consiste em um material de fácil impressão e é recomendado para peças amplas e técnicas e que irão sofrer esforços de abrasão, uma vez que esse material possui uma dureza superficial elevada. O filamento ABS é um dos materiais mais aptos para impressoras 3D devido à sua resistência à temperatura e absorção de impactos, além de possuir uma dureza superficial baixa, o que o torna de fácil acabamento pós impressão (3DLAB,2020). Já o PETG tem como principais características, uma alta capacidade de resistir a esforços, é quimicamente inerte e possui alto módulo de elasticidade, se mostrando flexível e com alta capacidade de resistir à degradação térmica.

2 Objetivos

2.1 Objetivo geral

O propósito do presente trabalho é avaliar a resistência e viabilidade da substituição de dobradiças convencionais por dobradiças confeccionadas em impressora 3D.

2.2 Objetivo específico

O projeto tem como objetivos específicos:

- a. Comparar as resistências mecânicas dos termoplásticos e escolher o mais apto;
- b. Verificar a trabalhabilidade dos filamentos utilizados;
- c. Testar a funcionalidade das dobradiças fabricadas;
- d. Comparar o custo de produção com o preço de dobradiças convencionais.

3. Referencial teórico

3.1 Impressão 3D

O progresso da impressão 3D vem evoluindo rapidamente, os custos caem e novos materiais de impressão são adicionados. A técnica mostrou o seu potencial desde o ramo da medicina até o setor automotivo, da engenharia aeroespacial até usos domésticos. E, seguindo essa tendência, o ramo da construção civil vem cada vez mais se adequando a essa tecnologia, tornando cada vez mais viável o seu uso, a fim de melhorar a análise da estrutura. (PORTO, 2016).

Segundo Cunico (2015), as impressoras 3D apresentam um conceito de fabricação diferenciado permitindo a obtenção de geometrias mais complexas que processos convencionais, impulsionando suas utilizações em áreas diversas, como saúde, design e engenharia.

Devido à quantidade de variáveis envolvidas em uma prototipagem e levando em consideração que nem sempre o comportamento delas é linear, é difícil encontrar configurações que atendam a todos os projetos, logo cada protótipo feito na impressora 3D necessita de uma estratégia de fabricação e uma configuração de processo única (CUNICO, 2015).

3.2 Termoplásticos

Os termoplásticos se tratam de polímeros artificiais, que na sua forma fria se encontram enrijecidos e quando são submetidos a uma certa temperatura entram no estado líquido. Se trata de um material que pode ser remoldado repetidas vezes, sem que exista perda nas suas características, sendo um ótimo substituto a outros materiais como metais e vidros, uma vez que possuem um fácil processo de fabricação. (“Veja o que é termoplástico e suas características | Polyexcel”, 2021)

Estes, possuem algumas propriedades interessantes como apresentado na Figura 2:

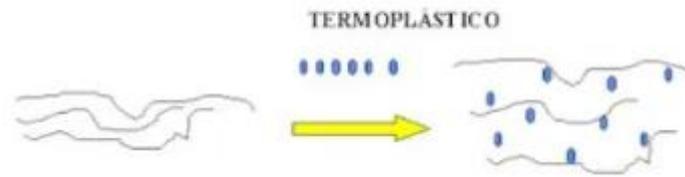
Figura 2: Propriedades dos termoplásticos

| Propriedades - Termoplásticos | |
|-------------------------------|--|
| Estrutura Molecular | Linear com ligações fracas entre as cadeias |
| Mecânica | Flexível, elástico e resistente ao impacto |
| Reciclabilidade | Reciclável através de uso de calor |
| Temperatura de trabalho | Baixas temperaturas quando comparadas aos termorrígidos (Entre 70° e 200°) |

Fonte: Mundo Educação (2022)

A característica de linearidade entre as ligações que os termoplásticos possuem são os responsáveis por proporcionarem a eles alta reciclabilidade, uma vez que quando são submetidos a altas temperaturas suas cadeias deslizam umas sobre as outras de maneira fácil, fazendo com que possam retornar a sua forma líquida, conforme mostrado na Figura 3. (“Polímero termoplástico e termorrígido”, [s.d.]

Figura 3: Rearranjo molecular dos termoplásticos submetidos ao calor



Fonte: Mundo Educação (2022)

3.3 Filamentos

Os filamentos se tratam de polímeros termoplásticos e são produzidos em forma de fios e enrolados em carretéis para serem utilizados como insumo em impressoras 3D. Eles são para uma impressora 3D o equivalente ao que um cartucho de tinta é para uma impressora convencional.

Os filamentos podem ser de diversas cores e tipos, onde cada tipo de filamento possui uma característica e uma usabilidade diferente dos demais. Dentre os filamentos mais comuns, destacam-se o PETG, o PLA e o ABS. Abaixo segue imagem dos 3 tipos de filamentos, sendo: Azul é o filamento PLA, vermelho o PETG e preto o ABS (Figura 4).

Figura 4: Carretéis de filamentos termoplásticos



Fonte: O autor (2022)

O ABS é um filamento feito a partir do petróleo, e foi um dos primeiros filamentos a serem utilizados e possuem algumas características como: Resistência a elevadas temperaturas,

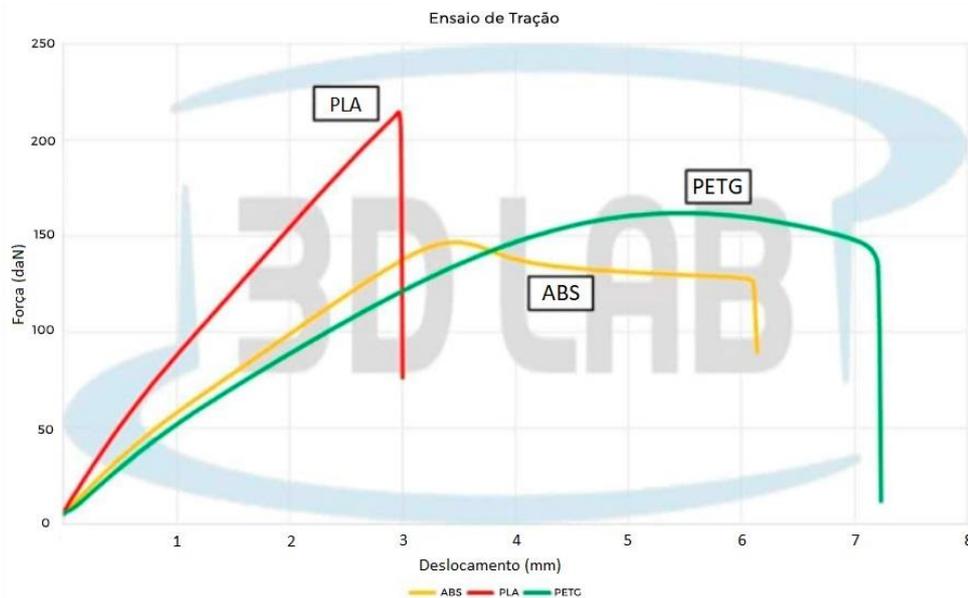
resistência a impactos, resistência a umidade, possui boa flexibilidade, e também se trata de um material muito durável.

O PLA se trata de um material produzido através de fontes renováveis, portanto se trata de um produto ecologicamente correto, pode ser produzido a partir do amido de milho, das raízes da mandioca e da cana. Possui uma degradação rápida quando lançado na natureza, sendo em torno de 48 meses quando em contato com a água, e 24 meses quando enterrado. Ainda, uma vantagem interessante do PLA é que é inofensivo a saúde humana, ou seja, pode ser usado em recipientes de alimentos e em caso de ingestão de alguma parte acidentalmente, não trará riscos à saúde, uma vez que o organismo o converte em ácido lático, que se trata de uma substância segura a saúde humana. (SILVEIRA, 2018)

O PETG possui uma funcionalidade muito similar ao filamento ABS, apresentando boa resistência à temperatura, durabilidade e ótima capacidade de resistência, e possui a facilidade de ser impresso como o filamento PLA. Outra vantagem do PETG é que ele apresenta pouca deformação durante a impressão (3DLAB,2020).

É possível perceber na Figura 5 como se comporta cada um dos principais filamentos recebendo esforços de tração:

Figura 5: Gráfico – Comportamentos dos filamentos submetidos a tração



Fonte: 3Dlab (2020)

Concluiu-se que o PLA é o filamento que suporta maior carga, porém mostra-se menos dúctil entre todos, uma vez que não apresenta grande deformação antes do rompimento. O ABS

é o que apresenta maior percentual de deformação, entretanto é o que menos suporta carga entre os 3 filamentos (3DLAB,2020).

Fazendo uma comparação entre todos, é possível perceber que o PETG é capaz de suportar uma carga maior que o ABS e ser mais dúctil. Em seguida, comparando o PLA com o PETG, é notório que ele suportou maior carga, entretanto teve uma deformação menor antes da ruptura.

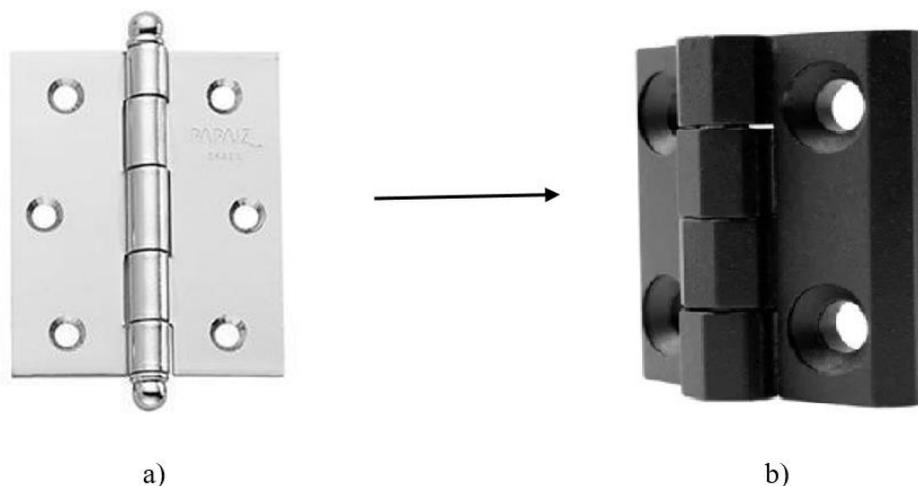
3.4 Dobradiças

Por ficarem escondidas atrás das portas, muitas vezes as dobradiças passam despercebidas, entretanto possuem uma função de extrema importância e são responsáveis por facilitar a vida de todas as pessoas, através da articulação entre duas partes planas. (VENANCE,2022)

As dobradiças são tão antigas que é difícil estimar a data exata em que surgiram, entretanto foram encontradas peças de dobradiças em 1600 aC. A princípio, eram feitas de pedras e madeira, depois passaram a serem feitas de ferro forjado, depois passaram a ser confeccionadas com alumínio e latão (VENACE,2022).

Na Figura 6 é possível ver uma dobradiça convencional e uma dobradiça fabricada em impressão 3D.

Figura 6: Dobradiça de aço convencional (a) e impressa em termoplástico (b)



Fonte: CCP (2020)

4. Materiais e métodos

4.1 Softwares

Para a modelagem e impressão dos corpos de prova e do protótipo foram utilizados alguns dos *softwares* mais populares disponíveis no mercado, cujo acesso é livre para pesquisas acadêmicas, sejam em versões abertas ou limitadas para uso estudantil.

4.1.1 SolidWorks

O SolidWorks é um programa que trabalha com projetos em formato CAD (*Computer-Aided Design*), destinado a modelagem de peças em um ambiente 3D. O sistema de trabalho é baseado em planos de representação nos quais o usuário insere uma geometria bidimensional e sobre ela aplica a coordenada “Z”, obtendo um modelo tridimensional. Nessa plataforma o usuário pode inserir elementos individuais de peças e através de relações geométricas realizar a montagem dos componentes, e assim avaliar a funcionalidade do conjunto. O design do SolidWorks é orientado para o desenvolvimento de protótipos, já que possui ferramentas que permitem emular a dinâmica de funcionamento de sistemas complexos de peças e criar ambientes para a apresentação final do produto (SOUZA *et al.*, 2003).

4.1.2 CURA 3D Ultimaker

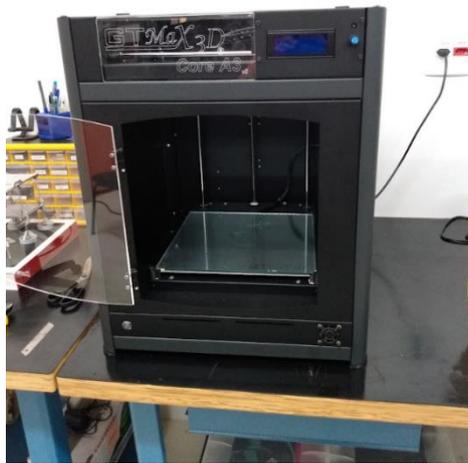
O CURA 3D Ultimaker é um dos principais softwares utilizados na impressão 3D e sua interface é conhecida por ser bastante amigável e intuitiva. A principal função deste programa é ser um “fatiador”, que importa modelos tridimensionais, os divide em camadas sobrepostas e os dispõe de maneira apropriada para a impressão. (“Ultimaker Cura: Primeiros passos para a impressão 3D”, 2021)

Através deste *software* é possível a interação com as configurações do hardware das impressoras 3D, podendo definir parâmetros como a temperatura de extrusão, espessura das camadas, velocidade de impressão, orientação e disposição das fibras, e até a criação de apoios destacáveis para seções “flutuantes” do modelo.

4.2 Modelagem e impressão dos corpos de prova

Para a realização da impressão do molde, foi utilizado uma impressora do modelo GTMax 3D core a3v2 (Figura 7), na qual possui uma mesa aquecida com capacidade de imprimir um objeto cuja área seja de até 30 cm x 30 cm e altura máxima de 30 cm, totalizando 27 litros. A impressão foi desenvolvida em cooperação com o Centro Universitário de Lavras (UNILAVRAS), onde com o auxílio dos técnicos foi utilizado o laboratório de criações e impressões, intitulado “Espaço *Maker*”.

Figura 7: Impressora GTMax3D cedida pela UNILAVRAS



Fonte: Do Autor (2022)

As impressões dos corpos de prova utilizado nos ensaios foram realizadas com alguns parâmetros pré-estabelecidos e a temperatura de extrusão foi determinada de acordo com o termoplástico específico, conforme recomendado pelo fabricante e mostrados na Tabela 1:

Tabela 1: Parâmetros para a impressão dos corpos de prova

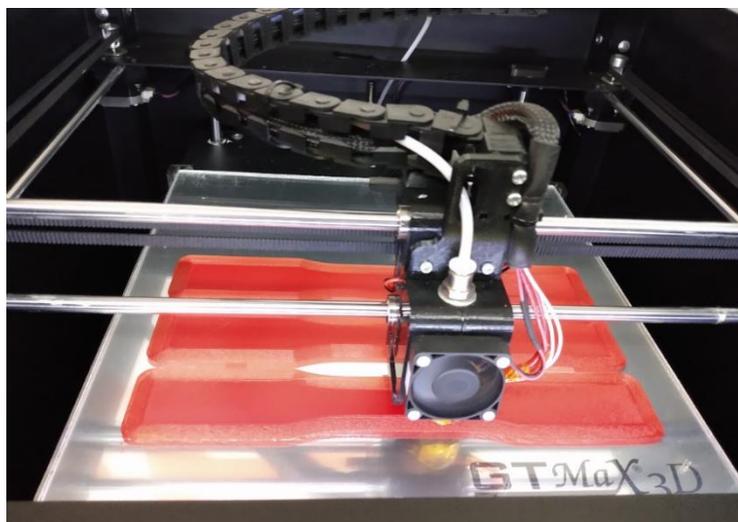
| | |
|--|-----------------------|
| Formato do preenchimento interno | Triangular |
| Velocidade de impressão | 60 mm/s |
| Largura da extrusão | 0,4 mm |
| Densidade de preenchimento | 100% |
| Quantidade de camadas sólidas nas paredes laterais | 100% de preenchimento |
| Quantidade de camadas sólidas superiores | 100% de preenchimento |
| Quantidade de camadas sólidas inferiores | 100% de preenchimento |
| Espessura de cada camada | 0,2 mm |

| | |
|--|--|
| Orientação da deposição dos filamentos | 45 ° |
| Diâmetro dos filamentos | 1,75 mm |
| Temperatura de extrusão | ABS - 225 ° / PLA - 195 ° / PETG - 235 ° |

Fonte: Do Autor (2022)

O formato do preenchimento interno é pré-estabelecido pelo *software* após a modelagem e exportação para impressão 3D. Já a velocidade de impressão foi estabelecida por ser uma velocidade média, e que não prejudicaria a qualidade e a precisão da impressão. A largura de extrusão é proveniente de fábrica do equipamento. O preenchimento inicial arbitrado para os corpos de prova foi de 100% visando testar a máxima resistência suportada por cada material. A determinação da espessura das camadas foi embasada no tempo de impressão e na precisão do acabamento final da peça, sendo um valor mediano diante da capacidade da impressora (0,005 mm a 0,4 mm). Os filamentos possuem um diâmetro padrão de fabricação de 1,75 mm, e foram dispostos a 45° devido a direção dos esforços que a peça estará submetida durante sua vida útil. Na Figura 8 é possível ver a impressão realizada em loco:

Figura 8: Corpos de prova sendo impressos em PETG



Fonte: Do Autor (2022)

Após a impressão, os corpos de prova tiveram suas medidas aferidas por um paquímetro digital com precisão de duas casas decimais em milímetros.

4.3 Ensaios mecânicos

A realização de ensaios mecânicos é de suma importância quando se deseja conhecer as propriedades de um material e como ele se comporta mediante a realização de esforços. Existem

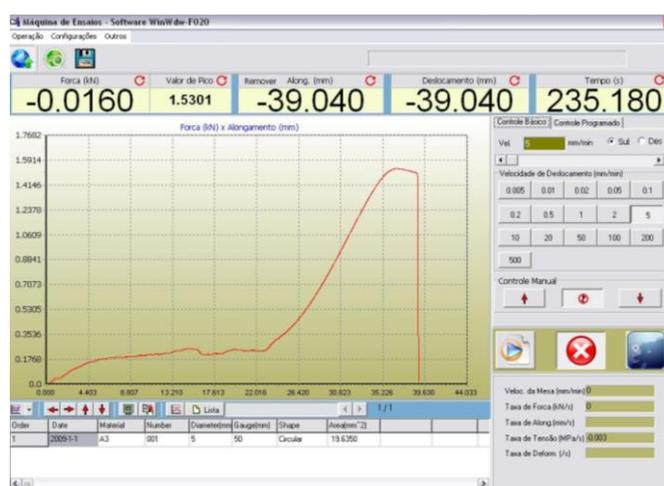
vários tipos de ensaios mecânicos, como ensaio de tração, ensaio de abrasão, ensaio de flexão, ensaio de impacto, ensaio de dobramento (onde são analisadas as propriedades do material referente a ductilidade), ensaio de compressão, dentre outros.

Para o presente trabalho, o foco será dado nos ensaios de tração, compressão e também em um ensaio prático que se trata de um teste de abrasão para verificar a capacidade do material de resistir mediante o atrito, conforme será mostrado adiante. O intuito deste estudo é determinar qual material possui maior limite de resistência máximo e utilizá-lo para impressão dos protótipos das dobradiças.

As normas vigentes de tais ensaios para plásticos recomendam o uso de cinco corpos de prova, para que possa se caracterizar as propriedades dos materiais com precisão, entretanto o intuito da verificação neste estudo é determinar o material mais adequado para os esforços submetidos em dobradiças, desta forma visando uma maior economia e viabilidade do uso dos filamentos, serão utilizados três corpos de prova para cada material.

Para a realização dos ensaios foi utilizado a máquina de ensaios universal (Figura 10) do laboratório de ensaios da UEPAM (Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira) da Universidade Federal de Lavras, na qual contava com um *software* próprio para monitoramento do ensaio durante sua realização, conforme a interface apresentada na Figura 9.

Figura 9: Interface do software integrado da máquina de ensaios universal



Fonte: Do Autor (2022)

Através deste *software* integrado foi possível ajustar a velocidade de ensaio para 5 mm/min, conforme recomendado nas normas vigentes, e obteve-se os dados com a precisão de 0,06 segundos. Ao fim do ensaio, o programa exportou uma matriz de dados no formato .txt com as informações de número de identificação, carga em kN, deformação em milímetros, e

tempo em segundos. Esses dados foram tratados no *software* Excel para obtenção dos valores de tensão e deformação, e em seguida plotados em gráficos referentes a cada corpo de prova específico.

Figura 10: Máquina de ensaios universal cedida pela Universidade Federal de Lavras

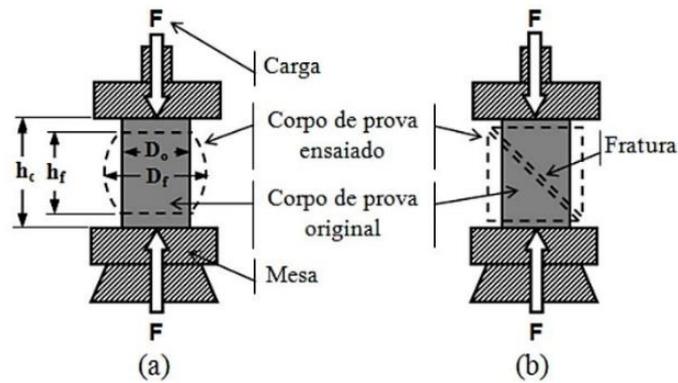


Fonte: Do Autor (2022)

4.3.1 Ensaio de compressão

O ensaio de compressão se trata de uma aplicação de carga em um corpo de prova que tende a encurtar esse corpo, e através disso é possível mensurar a força necessária para deformar esse corpo de prova, com isso obtemos dados como: módulo de elasticidade, tensão à compressão, tensão de escoamento, resistência à compressão, deformação sob compressão. Esses corpos de prova estarão submetidos a uma deformação plástica, que é quando o corpo ainda continua com certa deformidade após a retirada da carga, e uma deformação elástica, onde o corpo retorna ao estado original após a retirada da carga. A Figura 11 mostra um esquema representativo de um ensaio de compressão.

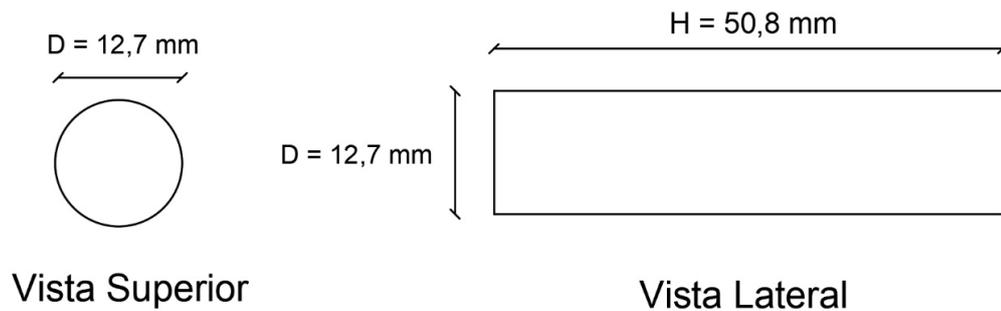
Figura 11: Modelo representativo de um ensaio de compressão



Fonte: Biopdi (2022)

Os corpos de prova foram modelados de acordo com a norma ASTM D695 (2002), que trata do ensaio de compressão para plásticos rígidos.

Figura 12: Dimensões dos corpos de prova submetidos à compressão



Fonte: Do Autor (2022)

O valor da tensão de compressão pode ser mensurado pela equação 1:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Sendo:

σ = Tensão de Compressão (MPa);

P = Carga de Compressão (kN);

A = Área de seção inicial do corpo de prova (m²);

A deformação específica é dada pela equação 2:

$$\epsilon_c = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_i - L_0}{L_0} \quad (2)$$

Onde:

ΔL = Variação de comprimento (m);

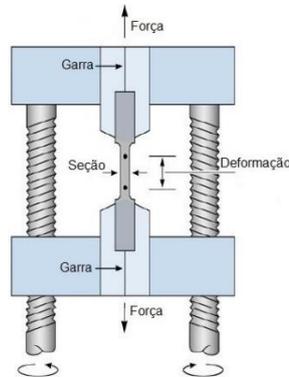
L_0 = Comprimento inicial (m);

L_i = Comprimento instantâneo (m);

4.3.2 Ensaio de tração

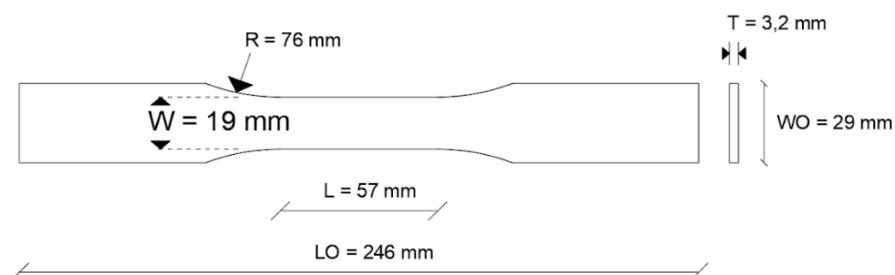
O intuito deste ensaio é determinar a resistência mecânica do material quando submetido à taxa constante de esforços de tração. Como feito no ensaio de compressão, mede-se o deslocamento da placa superior em relação à posição inicial estabelecida, bem como a força aplicada em cada instante de tempo. Os corpos de prova foram modelados segundo a ASTM D638 (2014), cujo a categoria se enquadra no tipo III, pois a espessura da chapa adotada no protótipo possui entre 7 e 14 mm. A Figura 13 apresenta um modelo representativo de um ensaio de tração.

Figura 13: Modelo representativo de um ensaio de tração



Fonte: Biopdi (2022)

Figura 14: Dimensões dos corpos de prova submetidos à tração



Fonte: Do Autor (2022)

O valor do esforço de tração pode ser mensurado pela expressão similar (equação 3) ao do ensaio de compressão:

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (3)$$

Sendo:

τ = Tensão de Tração (MPa)

P = Carga de Tração (kN);

A = Área de seção inicial do corpo de prova (m²);

A deformação específica é dada pela equação 4:

$$\epsilon_t = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_i - L_0}{L_0} \quad (4)$$

Onde:

ΔL = Variação de comprimento (m);

L_0 = Comprimento inicial (m);

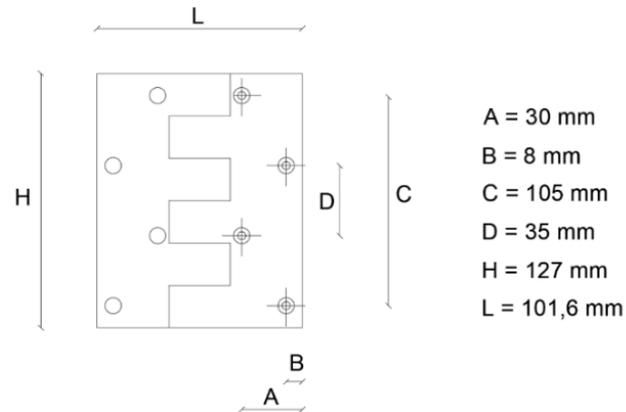
L_i = Comprimento instantâneo (m);

4.4 Modelagem e impressão das dobradiças

Para a concepção das dimensões a serem utilizadas na dobradiça, foi utilizada a tabela fornecida pela NBR 7178 (ABNT, 1997), que trata sobre a fabricação e o controle de qualidade de dobradiças de abas convencionais, onde é possível encontrar informações como: altura, largura, número de furos, espaçamento entre furos, grau de abertura, entre outras.

Como o material a ser utilizado possui uma resistência mecânica inferior ao aço e o latão, utilizados em dobradiças convencionais, foram arbitradas as maiores dimensões fornecidas pela tabela de norma, visando a segurança do protótipo. Assim, o modelo escolhido foi o de 127,0 x 101,6 (5:4), cuja as dimensões e espaçamentos são mostrados na Figura 15 abaixo:

Figura 15: Dimensões do par de dobradiças fechadas

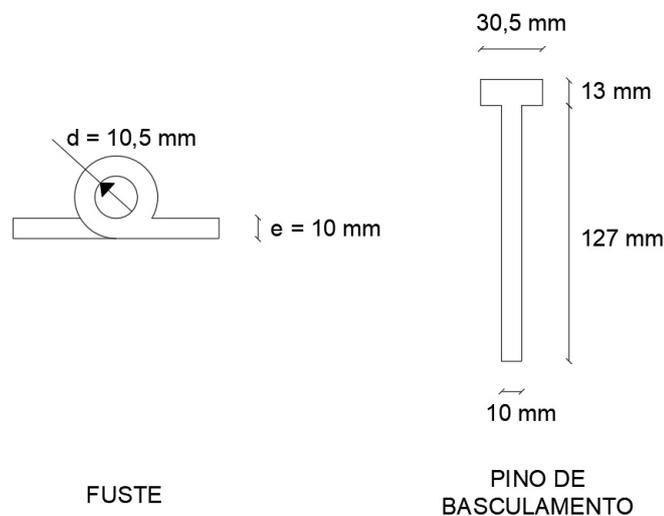


Fonte: Do autor (2022)

Foi estabelecida uma espessura de 10 mm, tendo em vista que a espessura da chapa de aço convencional de dobradiças é de aproximadamente 1 mm, por medida de segurança e trabalhabilidade do material optou-se por uma dimensão 10 vezes maior que a usual, e muito adotada em objetos impressos com filamentos termoplásticos.

O diâmetro do fuste foi dimensionado com 10,5 mm, deixando uma folga de 0,5 mm (Figura 16) em relação a espessura do pino de basculamento que possui 10 mm de diâmetro (superior ao adotado em pinos convencionais de aço, que equivale a 6 mm) para que o encolhimento do material, devido ao resfriamento da peça, não interfira no encaixe do pino durante a montagem.

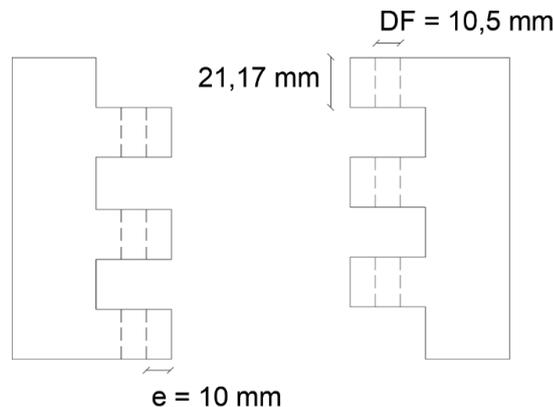
Figura 16: Diâmetro do fuste e pino de basculamento



Fonte: Do autor (2022)

Arbitrou-se por uma dobradiça de seis trechos, compostos por três apoios de cada lado, visando um equilíbrio para o conjunto da peça. Cada trecho possui 21,17 mm de altura (Figura 17), resultado da divisão da altura total de 127 mm em seis eixos de rotação.

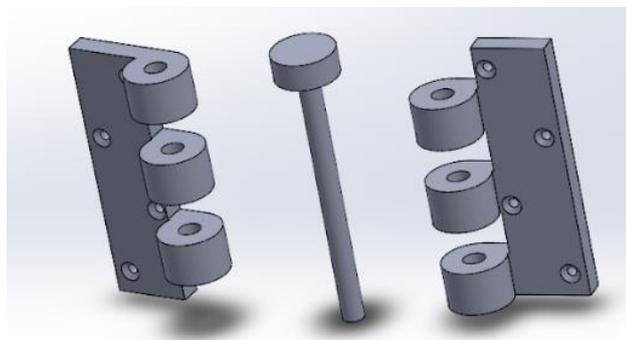
Figura 17: Dimensões do par de dobradiças separadas



Fonte: Do autor (2022)

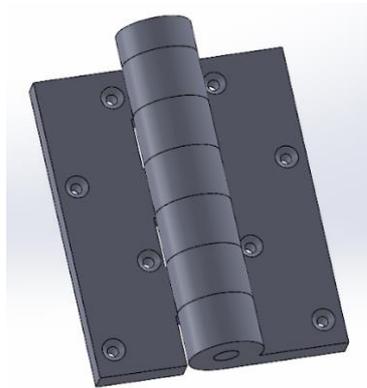
Para a modelagem do protótipo, foi utilizado o *software* SolidWorks, onde foi possível analisar a montagem e a movimentação da peça através da visualização computacional, além de exportar o molde do modelo para o *software* CURA 3D Ultimaker, cuja função é dispor o objeto modelado em uma plataforma que representa o volume de impressão disponível. Nas Figuras 18 e 19 mostram a montagem da dobradiça no SolidWorks, já as Figuras 20 e 21 mostram a disposição dos objetos modelados no *software* CURA 3D.

Figura 18: Detalhe da modelagem das peças no software SolidWorks



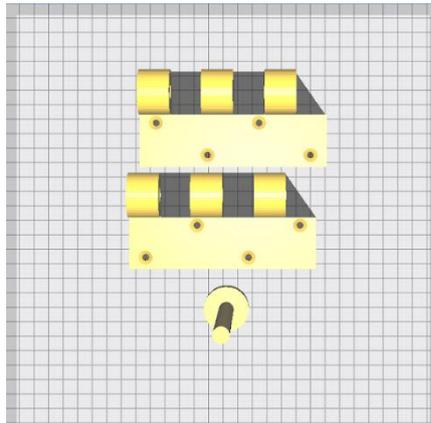
Fonte: Do autor (2022)

Figura 19: Detalhe da montagem no software SolidWorks



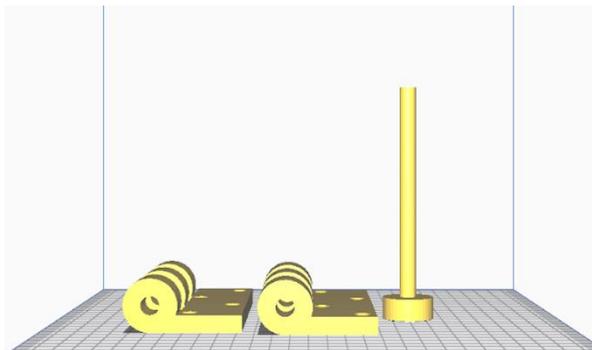
Fonte: Do autor (2022)

Figura 20: Disposição superior dos objetos para impressão no software CURA 3D Ultimaker



Fonte: Do autor (2022)

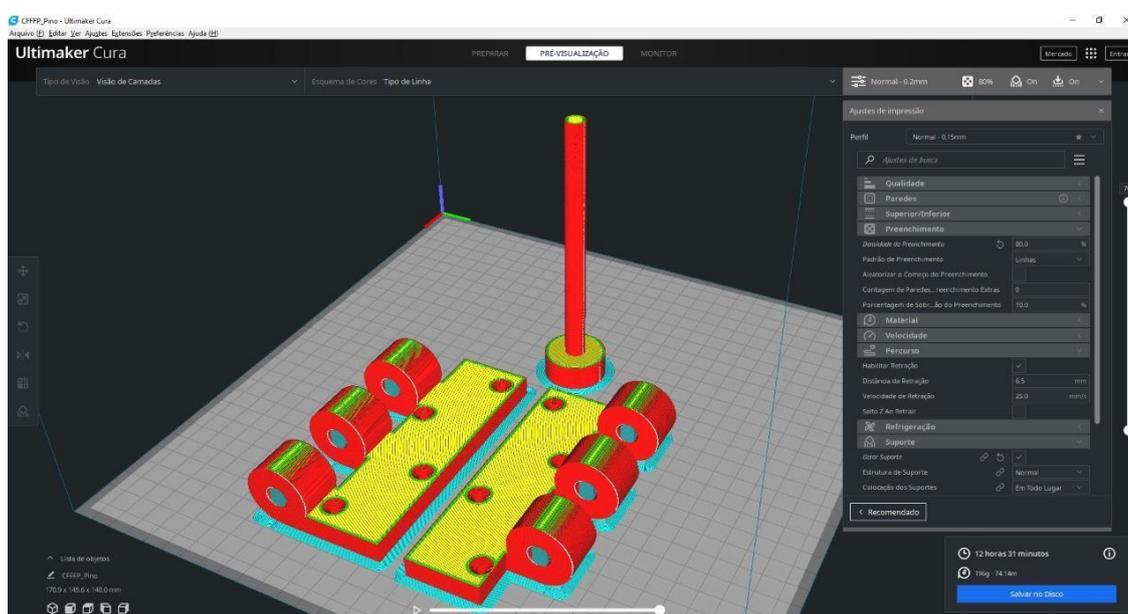
Figura 21: Disposição Lateral dos objetos para impressão no software CURA 3D Ultimaker



Fonte: Do autor (2022)

As dobradiças foram impressas com 80% de preenchimento, visto que, utilizando 100%, o tempo de impressão seria superior a 24h, o que tornaria a mesma inviável, já que é necessário um acompanhamento contínuo para solucionar qualquer possível empecilho que possa vir a ocorrer durante o processo de extrusão do material. A temperatura de extrusão adotada foi a mesma dos corpos de prova (195° para o PLA) e os outros parâmetros seguidos conforme indicados na tabela 1.

Figura 22: Interface do programa CURA 3D Ultimaker demonstrando as configurações e disposições para a impressão



Fonte: Do autor (2022)

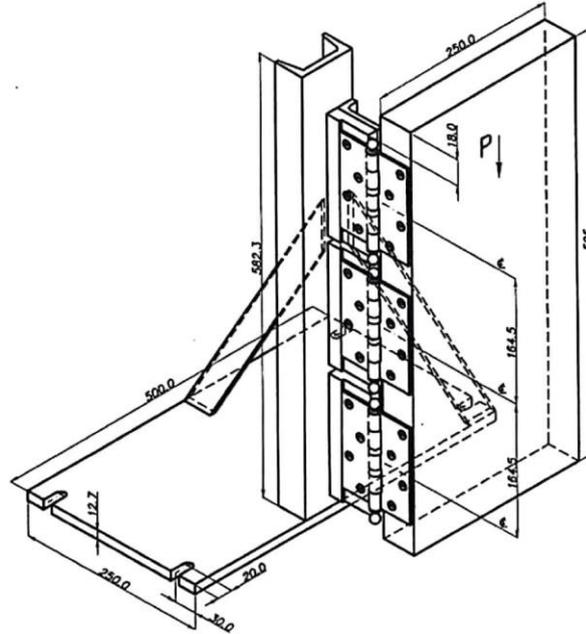
4.5 Controle de qualidade das dobradiças

Foram realizados alguns ensaios de durabilidade na dobradiça, utilizando como referência a norma NBR7178 (ABNT, 1997) após as mesmas já estarem instaladas na porta. Primeiro, foram feitos movimentos de basculamento da porta a fim de verificar o desgaste do material e posteriormente foi realizado um ensaio prático de impacto na porta, onde a mesma foi fechada com expressiva força, simulando uma situação em que a porta passe por impactos, sendo essa uma condição que pode ocorrer no dia a dia, devido ao vento ou até mesmo durante o uso.

Para o ensaio de durabilidade do basculamento, foi utilizado um paquímetro eletrônico para medir as dimensões da dobradiça e do pino antes e após o ensaio. Após, foram feitos 1000

ciclos de basculamento, e posteriormente realizou-se uma nova aferição das medidas para atestar qual foi o desgaste do material. A porta utilizada pesava 15 Kg.

Figura 23: Esquema representativo da instalação das dobradiças



Fonte: NBR 7178 (ABNT, 1997)

5. Resultados e discussão

5.1 Impressão dos corpos de prova

Os corpos de prova para os ensaios mecânicos foram impressos com sucesso na primeira tentativa, com exceção dos destinados ao ensaio de tração fabricados a partir do PETG, que mostraram algumas falhas de acabamento, como pode ser observado na Figura 24, consideradas importantes para os resultados finais dos ensaios, levando a necessidade de uma segunda impressão.

Figura 24: Desprendimento de algumas camadas na impressão em PETG



Fonte: Do autor (2022)

Os corpos de prova de tração e compressão de cada material foram impressos de maneira conjunta e o tempo requerido foi de 8 horas para os seis objetos. Após a impressão os objetos foram limpos, os excessos retirados com auxílio de lixas e os apoios destacados.

5.1.1 Identificação dos corpos de prova

Para os corpos de prova utilizados nos ensaios mecânicos foi adotada a metodologia de identificação mostrada no esquema abaixo:



Onde:

CP = Corpo de prova submetido à compressão

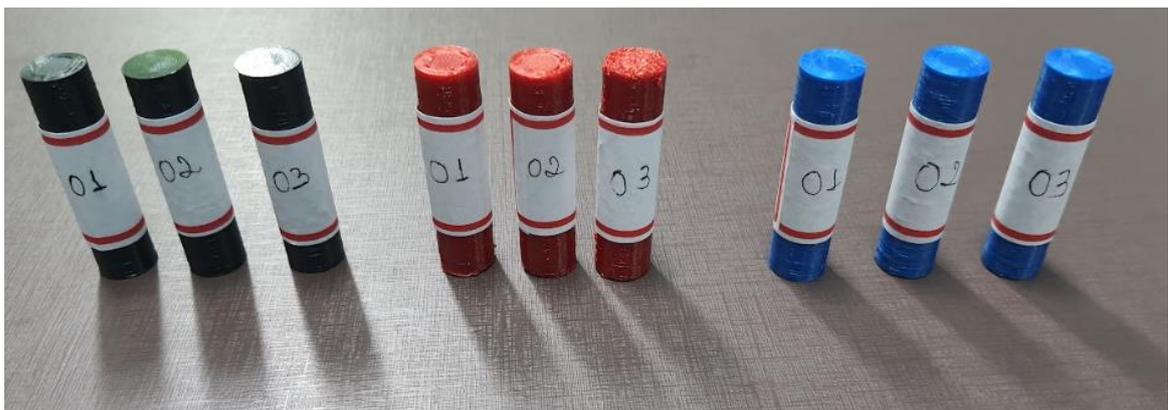
CT = Corpo de prova submetido à tração

ABS/ PETG/ PLA = Materiais utilizados na fabricação dos corpos de prova

01, 02 e 03 = N° de identificação do corpo de prova

5.2 Ensaio de compressão

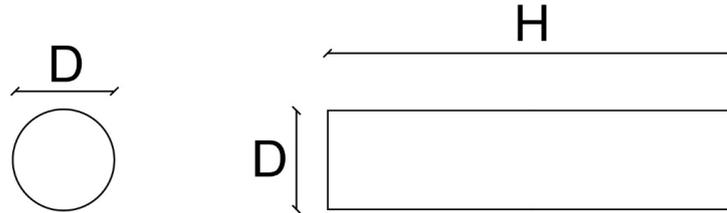
Figura 25: Corpos de prova identificados a serem submetidos a compressão



Fonte: Do autor (2022)

As dimensões dos corpos de prova foram mensuradas com auxílio de um paquímetro digital, utilizando como referência as variáveis mostradas na ilustração abaixo:

Figura 26: Dimensões mensuradas dos corpos de prova submetidos à compressão



Fonte: Do autor (2022)

Onde:

D = Diâmetro do cilindro em mm

H = Altura do cilindro em mm

Os corpos de prova obtidos possuem as dimensões conforme disposto na Tabela 2:

Tabela 2: Dimensões dos corpos de prova para ensaio de compressão

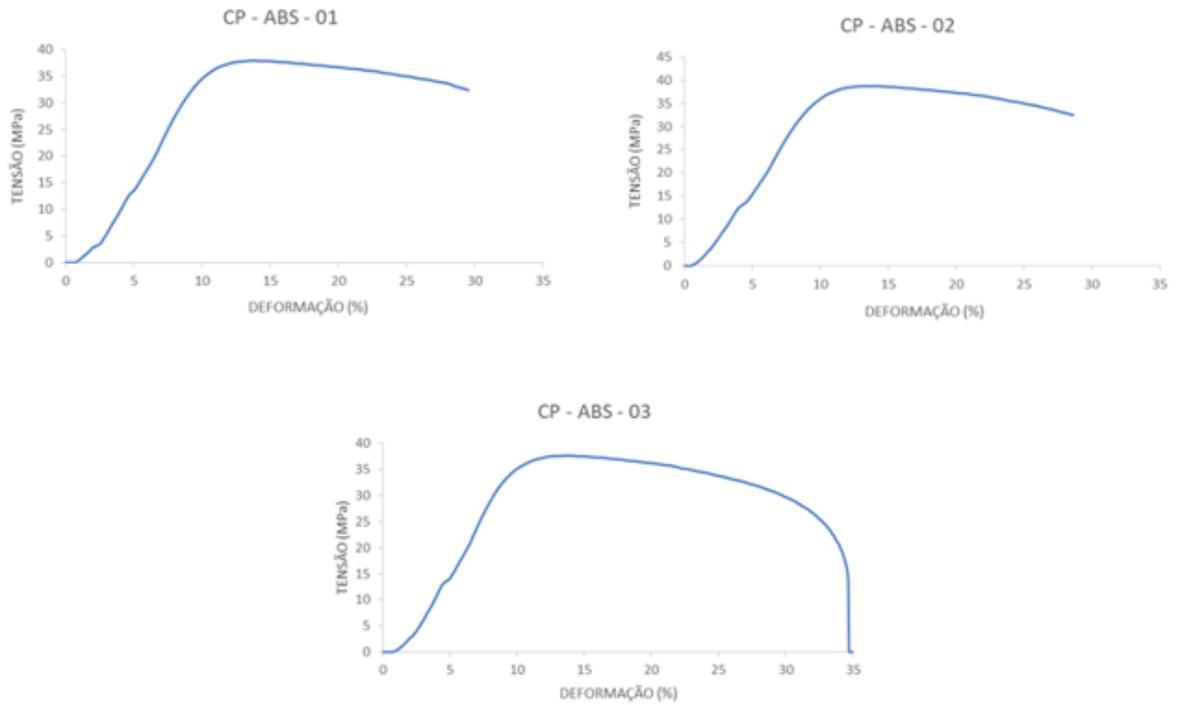
| Identificação | D (mm) | H (mm) | Área da seção transversal (mm ²) |
|----------------|--------|--------|--|
| CP - ABS - 01 | 12,55 | 50,47 | 123,7022 |
| CP - ABS - 02 | 12,38 | 50,43 | 120,3736 |
| CP - ABS - 03 | 12,50 | 50,46 | 122,7185 |
| CP - PETG - 01 | 12,74 | 51,06 | 127,4761 |
| CP - PETG - 02 | 12,51 | 51,02 | 122,9149 |
| CP - PETG - 03 | 12,58 | 50,96 | 124,2943 |
| CP - PLA - 01 | 12,52 | 50,83 | 123,1115 |
| CP - PLA - 02 | 12,53 | 51,00 | 123,3082 |
| CP - PLA - 03 | 12,43 | 50,98 | 121,3479 |

Fonte: Do autor (2022)

Após o ensaio obteve-se as informações de carga e deslocamento a cada instante de tempo, e com a área de seção calculada e o comprimento previamente medido, obteve-se a curva Tensão x Deformação para cada corpo de prova.

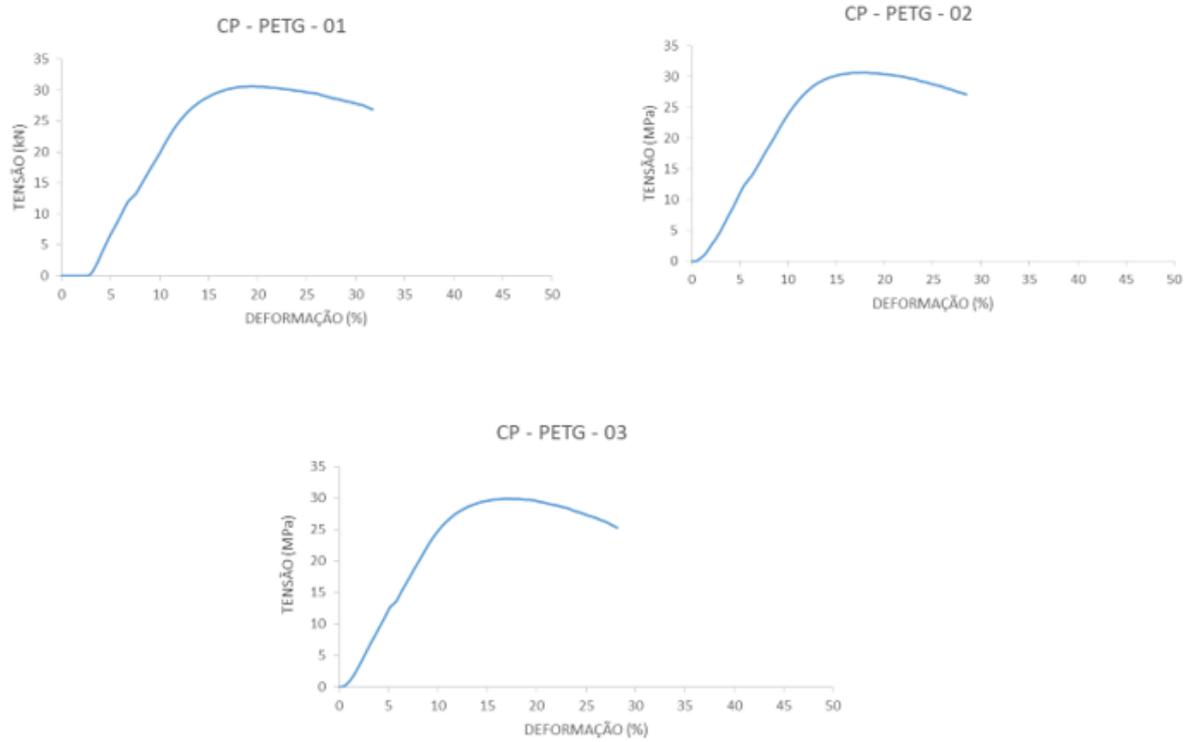
Os dados obtidos são mostrados nos gráficos abaixo:

Figura 27: Curva Tensão x Deformação para os corpos de prova de ABS submetidos à compressão



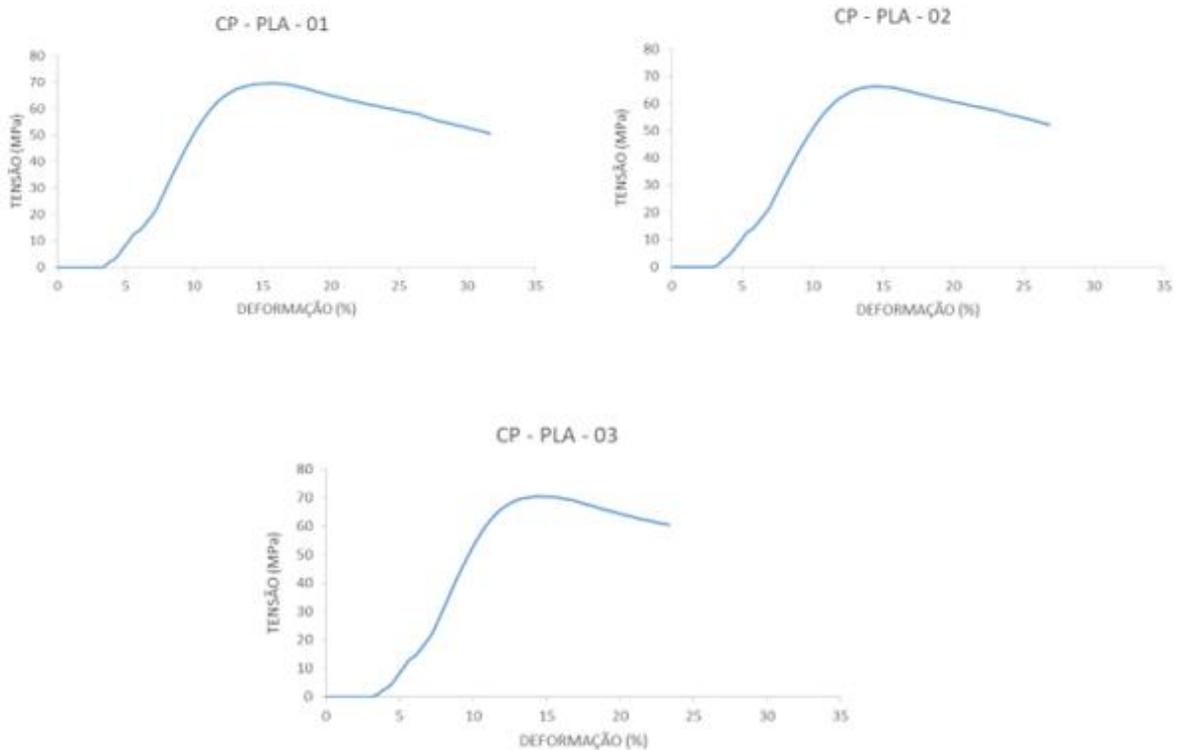
Fonte: Do autor (2022)

Figura 28: Curva Tensão x Deformação para os corpos de prova de PETG submetidos à compressão



Fonte: Do autor (2022)

Figura 29: Curva Tensão x Deformação para os corpos de prova de PLA submetidos à compressão



Fonte: Do autor (2022)

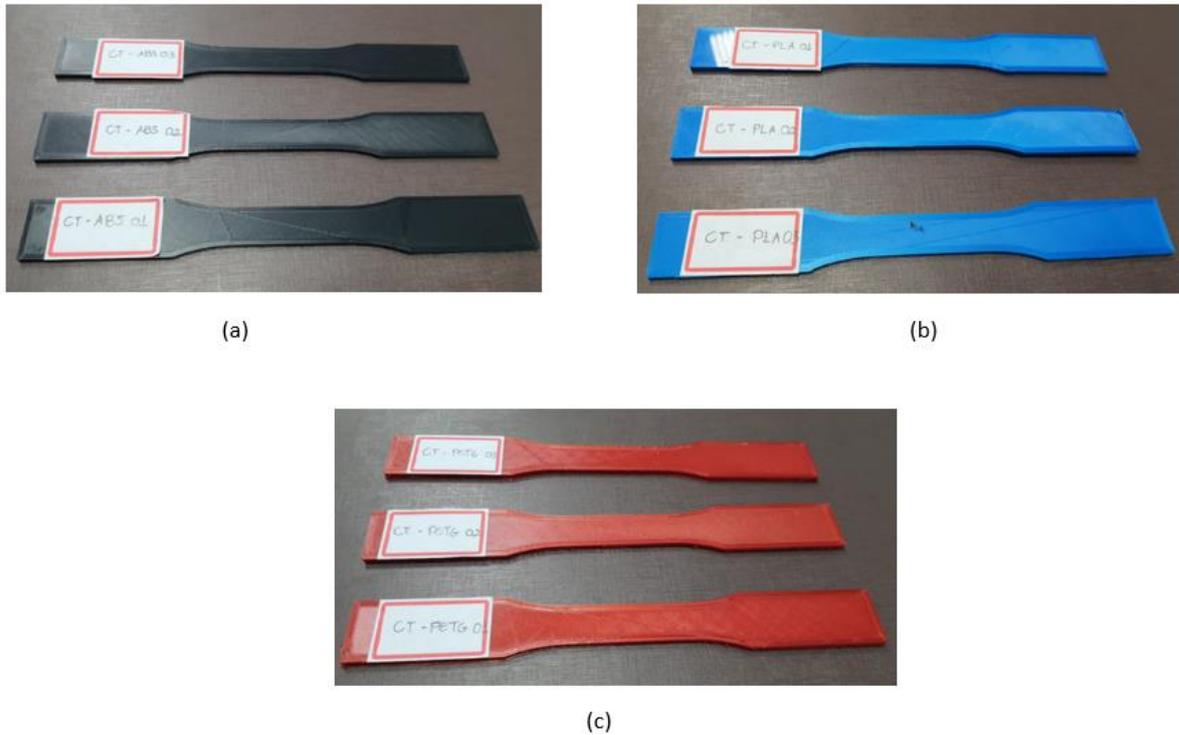
Tabela 3: Limites de Resistência Máximo para os corpos de prova submetidos a tração

| Identificação | Limite de Resistência Máximo (MPa) |
|----------------|------------------------------------|
| CP - ABS - 01 | 37,95 |
| CP - ABS - 02 | 38,79 |
| CP - ABS - 03 | 37,76 |
| CP - PETG - 01 | 30,67 |
| CP - PETG - 02 | 30,67 |
| CP - PETG - 03 | 29,87 |
| CP - PLA - 01 | 69,79 |
| CP - PLA - 02 | 66,33 |
| CP - PLA - 03 | 70,48 |

Fonte: Do autor (2022)

5.3 Ensaio de tração

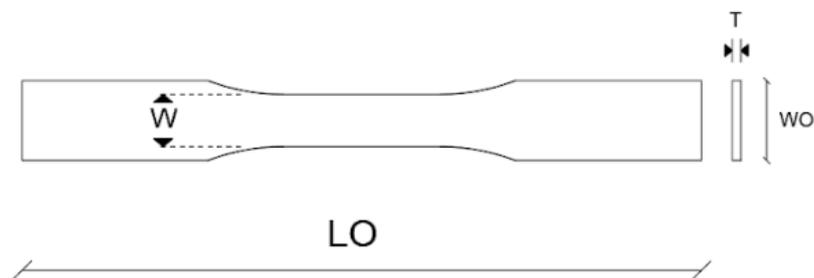
Figura 30: Corpos de prova identificados a serem submetidos à tração e impressos em ABS (a), PLA (b) e PETG (c)



Fonte: Do autor (2022)

As dimensões dos corpos de prova foram mensuradas com auxílio de um paquímetro digital, utilizando como referência as variáveis mostradas na ilustração abaixo:

Figura 31: Dimensões mensuradas dos corpos de prova submetidos à tração



Fonte: Do autor (2022)

Onde:

W = Largura da seção estreita em mm

WO = Largura total em mm

LO = Comprimento total em mm

T = Espessura em mm

Os valores entre parênteses representam a margem de erro aceitável em relação às dimensões estabelecidas pela norma ASTM D638. As dimensões obtidas através das medições dos corpos de prova são mostradas na Tabela 4.

Tabela 4: Dimensões dos corpos de prova para ensaio de tração

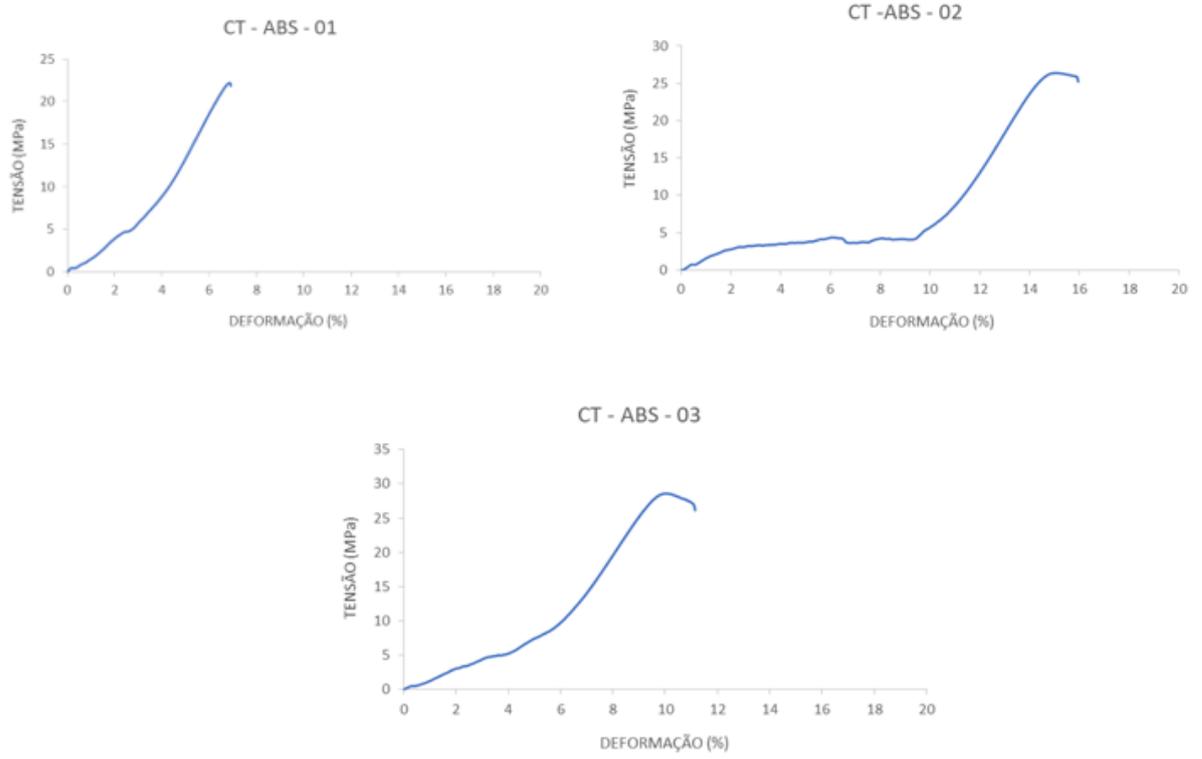
| Identificação | W ($\pm 0,5$) (mm) | WO (mm) | LO (mm) | T ($\pm 0,4$) (mm) | Área da Seção Transversal (mm ²) |
|----------------|-------------------------|------------|------------|-------------------------|---|
| CT - ABS - 01 | 19,00 | 29,1 | 244 | 3,17 | 60,2300 |
| CT - ABS - 02 | 18,94 | 28,76 | 244 | 3,06 | 57,9564 |
| CT - ABS - 03 | 18,96 | 28,77 | 244 | 3,04 | 57,6384 |
| CT - PETG - 01 | 19,14 | 28,87 | 244 | 3,31 | 63,3534 |
| CT - PETG - 02 | 19,06 | 28,76 | 245 | 3,31 | 63,0886 |
| CT - PETG - 03 | 18,84 | 28,92 | 244 | 3,24 | 61,0416 |
| CT - PLA - 01 | 19,20 | 29,06 | 245 | 3,11 | 59,7120 |
| CT - PLA - 02 | 19,19 | 29,02 | 244 | 3,2 | 61,4080 |
| CT - PLA - 03 | 19,07 | 29,07 | 245 | 3,34 | 63,6938 |

Fonte: Do autor (2022)

Após o ensaio obteve-se as informações de carga e deslocamento a cada instante de tempo, e com a área de seção calculada e o comprimento previamente medido, obteve-se a curva tensão x deformação para cada corpo de prova.

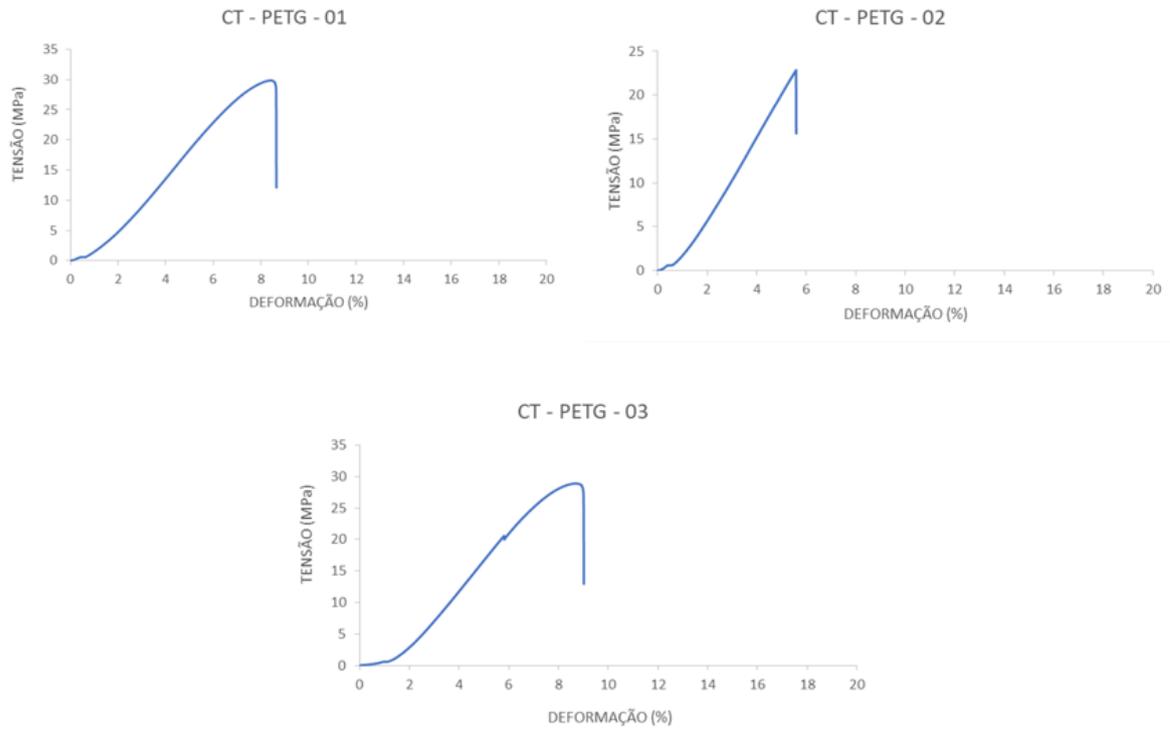
Os dados obtidos são mostrados nos gráficos abaixo:

Figura 32: Curva Tensão x Deformação para os corpos de prova de ABS submetidos à tração



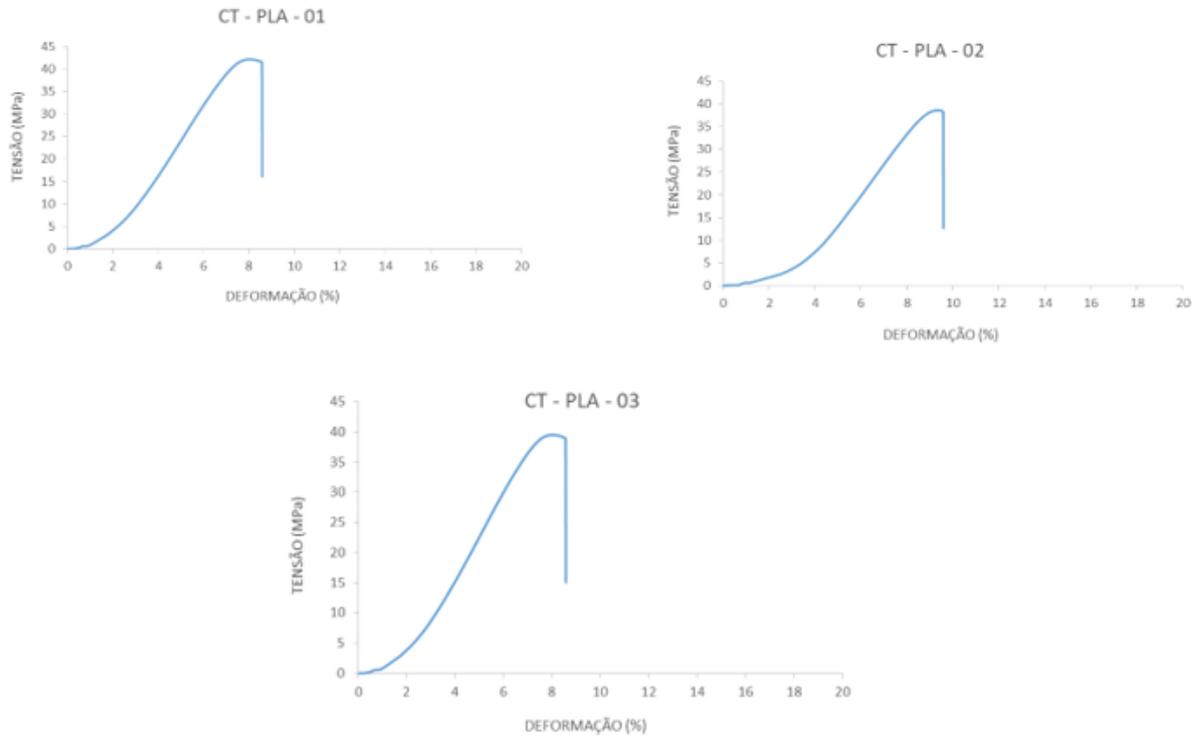
Fonte: Do autor (2022)

Figura 33: Curva Tensão x Deformação para os corpos de prova de PETG submetidos à tração



Fonte: Do autor (2022)

Figura 34: Curva Tensão x Deformação para o corpos de prova de PLA submetidos à tração



Fonte: Do autor (2022)

Tabela 5: Limites de Resistência Máximo para os corpos de prova submetidos a tração

| Identificação | Limite de Resistência Máximo (MPa) |
|----------------|------------------------------------|
| CT - ABS - 01 | 22,20 |
| CT - ABS - 02 | 26,40 |
| CT - ABS - 03 | 28,61 |
| CT - PETG - 01 | 29,85 |
| CT - PETG - 02 | 22,84 |
| CT - PETG - 03 | 28,90 |
| CT - PLA - 01 | 42,16 |
| CT - PLA - 02 | 38,62 |
| CT - PLA - 03 | 39,53 |

Fonte: Do autor (2022)

5.4 Análise dos resultados obtidos e determinação do material mais adequado

Após realizados os ensaios mecânicos, é possível observar que todos os materiais analisados possuem um baixo limite elástico, ou seja, necessitam de uma baixa solicitação de esforços para sofrerem deformações permanentes, justificando sua alcunha de materiais plásticos.

Para os ensaios de compressão notou-se uma proximidade nos resultados dos corpos de prova de cada um dos materiais, sendo que o PLA mostrou um maior limite de resistência em relação ao ABS e o PETG, assim como mostrado previamente na fig.5. Uma característica peculiar também apresentada por esse material foi a rápida deformação inicial com baixas tensões aplicadas, e em seguida um aumento súbito da resistência, podendo ter havido um rearranjo estrutural das fibras que compõem os corpos de prova.

Em relação aos ensaios de tração, averiguou-se alguma oscilação entre os resultados dos testes feitos para o ABS, principalmente para o corpo de prova "CT - ABS - 02" que sofreu uma deformação muito maior se comparado aos demais impressos do mesmo termoplástico antes de chegar à ruptura. Dentre as respostas obtidas pelos materiais, as que se demonstraram mais positivas foram as do PLA, pois apresentaram uma maior uniformidade entre os resultados dos corpos de prova e mais elevado limite de resistência final.

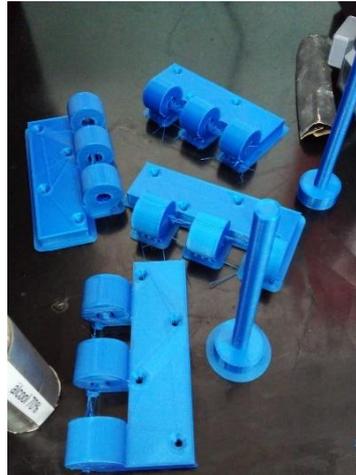
Por fim, o filamento arbitrado para a impressão das dobradiças foi o PLA, que apesar de ter demonstrado uma razoável deformação inicial quando submetido à compressão, obteve um maior limite de resistência nos dois ensaios, além de possuir uma boa trabalhabilidade durante a modelagem na impressão.

5.5 Desempenho das dobradiças

5.5.1 Impressão

O conjunto de peças que compõem as dobradiças levaram cerca de 11 horas para serem impressas. Após a retirada da impressão, os apoios criados foram destacados e foi dado um acabamento usando lixas convencionais.

Figura 35: Dobradiças recém tiradas da impressora 3D



Fonte: Do autor (2022)

Não foi necessária uma segunda impressão das peças, porém foram encontradas pequenas falhas na parte posterior, onde algumas fibras mostraram pontas soltas, o que pode ser justificado pela dificuldade da inserção de apoios para aquela região durante a impressão.

Figura 36: Visão posterior de uma dobradiça impressa e instalada



Fonte: Do autor (2022)

As dobradiças demonstraram um excelente desempenho, na qual foi possível perceber através do ensaio de basculamento, onde apresentaram um desgaste mínimo, praticamente insignificante considerando a quantidade de ciclos de rotação na qual foram submetidas. A mesma apresentou alto nível de ruído nos primeiros basculamentos, porém após alguns movimentos o ruído ficou mínimo.

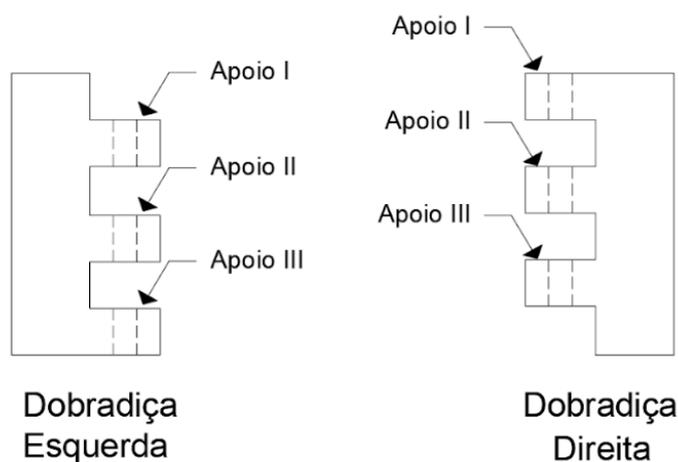
5.5.2 Comparação de preços

A viabilidade da dobradiça impressa relacionada ao fator econômico se mostrou mais onerosa em relação as dobradiças convencionais, tendo em vista que o custo do kg do filamento gira em torno de R\$90,00 (Março/2022) e o gasto de material para a impressão do conjunto de peças que compõem cada dobradiça foi por volta de 180g, levando a um custo final de aproximadamente R\$20,00, contabilizando a energia requerida no processo de produção, enquanto uma dobradiça convencional tem um preço de aproximadamente R\$8,00. Todavia, cabe ressaltar que as medidas do protótipo feito no presente trabalho tiveram as medidas majoradas, uma vez que se trata de um projeto novo, e não existe até então uma norma que estipula as medidas ideais para dobradiças moldadas em termoplásticos.

5.5.3 Desgaste a abrasão

Após a instalação das dobradiças mediu-se as dimensões iniciais dos apoios e dos pinos de basculamento, com auxílio de um paquímetro digital, em seguida foi feito o teste de basculamento com 1000 ciclos realizados ininterruptamente. A identificação dos apoios foi feita como mostrado na ilustração abaixo:

Figura 37: Identificação dos apoios das dobradiças



Fonte: Do autor (2022)

As dobradiças esquerdas foram instaladas no batente, enquanto as dobradiças direitas foram alocadas na porta, sendo que a ordem de numeração e identificação foi feita de cima para baixo. Ao fim do ensaio, verificou-se as medidas finais dos apoios e pinos para mensurar o desgaste ocorrido, obtendo os resultados dispostos nas Tabelas 6 e 7:

Tabela 6: Dimensões dos apoios das dobradiças instaladas na porta antes e após o ensaio de basculamento

| Dobradiças Instaladas na Porta | | | |
|---------------------------------------|--------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Dobradiça | Apoio | Comprimento Inicial (mm) | Comprimento final (mm) |
| 1 | I | 21,15 | 21,11 |
| | II | 21,2 | 21,18 |
| | III | 21,19 | 21,19 |
| 2 | I | 20,21 | 20,99 |
| | II | 21,02 | 20,19 |
| | III | 21,17 | 21,13 |
| 3 | I | 21,15 | 21,15 |
| | II | 21,12 | 21,12 |
| | III | 21,2 | 21,18 |

Fonte: Do autor (2022)

Tabela 7: Dimensões dos apoios das dobradiças instaladas no batente antes e após o ensaio de basculamento

| Dobradiças Instaladas no Batente | | | |
|---|--------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Dobradiça | Apoio | Comprimento Inicial (mm) | Comprimento final (mm) |
| 1 | I | 21,04 | 21,04 |
| | II | 21,02 | 21,02 |
| | III | 21,06 | 21,06 |
| 2 | I | 21,65 | 20,99 |
| | II | 21,11 | 20,91 |
| | III | 21,27 | 21,13 |
| 3 | I | 21,12 | 21,12 |
| | II | 21,09 | 21,09 |
| | III | 21,07 | 21,07 |

Fonte: Do autor (2022)

Ao fim do teste notou-se que não houve desgaste nos pinos de basculamento, isso pode ser justificado pelo uso de óleo desengripante aplicado durante a instalação das dobradiças, visando diminuir o atrito e facilitar a movimentação da porta.

Avaliando os resultados do ensaio de basculamento é possível notar que houve um desgaste pequeno em relação às dimensões iniciais dos apoios nas dobradiças instaladas na porta, sendo que a maior diferença foi de 0,83 mm ocorrido na dobradiça 2, apoio II. Tal diferença equivale a aproximadamente 4% do comprimento total, portanto, pode-se considerar um resultado bastante satisfatório, visto que tal degradação não influenciou no desempenho

final das peças. Entretanto, é difícil prever se tal desempenho se manteria nas peças quando submetidas à 100.000 ciclos, cujo limite de desgaste é de 1,5 mm, segundo recomendado na NBR 7178 (ABNT,1997). Somente a Dobradiça 2 entre as que foram instaladas no batente apresentaram desgaste, conforme mostrado na tabela 7.

Figura 38: Dobradiças instaladas na porta



Fonte: Do autor (2022)

6. Conclusão

Através dos ensaios práticos de basculamento realizados na porta com as dobradiças, ficou evidente a eficiência das peças, e a baixa abrasão que o material sofreu devido ao atrito entre as partes constituintes, demonstrando assim, potencial de uma longa vida útil. O material PLA, cujos testes mostraram melhor desempenho mecânico e conseqüentemente o escolhido para a impressão das dobradiças, também possui propriedades que o torna sustentável ao meio ambiente, sendo produzido a partir da fermentação de vegetais ricos em amido e biodegradável.

Apesar do custo de produção ter se demonstrado superior ao de dobradiças convencionais, ficou evidente o potencial dos protótipos fabricados podendo serem feitas algumas mudanças, visando uma melhor otimização do projeto, como por exemplo, deixar uma folga maior entre o fuste e o pino de basculamento, garantindo assim uma melhor movimentação, e também a diminuição do ruído durante o uso da porta. Outra notória e positiva mudança, seria a redução da chapa da dobradiça, uma vez que através dos ensaios mecânicos e dos testes de basculamento ficou constatado que a mesma se encontra super dimensionada e certamente mesmo com uma alteração significativa, possivelmente conseguiria resistir aos esforços na qual seria submetida durante seu uso.

Durante a instalação das dobradiças no batente e na porta, foi constatado que se os furos dos parafusos fossem feitos mais alocados para o centro das dobradiças, o acabamento final ficaria melhor, uma vez que como foi feito, as dobradiças necessitam ocupar todo o espaço da porta e do batente, prejudicando assim, a estética da porta.

Uma outra alteração que poderia ser testada é a redução do preenchimento de 80% para valores menores, como 60%, e verificar como a mesma iria se comportar, uma vez que o desempenho da dobradiça foi muito positivo e demonstrou alta resistência a todos os esforços na qual foi submetida. Sendo assim, vale a experimentação com preenchimentos menores, a fim de avaliar sua viabilidade. Em termos de tempo, certamente seria um ganho muito expressivo, uma vez que para o presente trabalho, uma dobradiça com preenchimento de 100% levaria em torno de 24 horas de impressão, enquanto com preenchimento de 80% foi necessário um tempo de 11 horas.

7. Referências bibliográficas

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D638 - 14**: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2014. 17 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D695 - 02A**: Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2002. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7178**: Dobradiças de abas - Especificação e desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6158**: Sistema de tolerâncias e ajustes. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 79 p.

SOUZA, Antônio Carlos de *et al.* **Avaliação da Qualidade Ergonômica da Interface Gráfica do Solidworks 2003 através de uma Técnica Analítica**. 2003. 8 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Departamento de Expressão Gráfica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/1845/Avalia%20a7%20a3o%20da%20Qualidade%20Ergon%20mica%20da%20Interface%20Gr%20a%20fica%20do%20Solidworks%202003%20atrav%20s%20de.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 08 mar. 2022.

PORTO, Thomás Monteiro Sobrino. **ESTUDO DOS AVANÇOS DA TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D E DA SUA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2016. 93 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

CUNICO, Marlon Wesley Machado. **Impressoras 3D:: O novo meio Produtivo**. Curitiba: Concep3D Pesquisas Científicas Ltda, 2013. 170 p.

Inflação na construção civil é a maior em 28 anos, aponta levantamento da FGV.

Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/fgv-inflacao-na-construcao-civil-e-a-maior-em-28-anos/>>. Acesso em: 03 mar. 2022.

Porque fazer e qual a importância dos ensaios mecânicos. Disponível em:

<<https://eescjr.com.br/blog/por-que-devo-realizar-ensaios-dos-materiais/#:~:text=Os%20ensaios%20mec%C3%A2nicos%20s%C3%A3o%20realizados>>.

Acesso em: 21 mar. 2022.

CCP. Dobradiça de ferro zincada 3. Disponível em:

<https://www.ccpvirtual.com.br/dobradica-de-ferro-zincada-3-merkel/p?idsku=58549&gclid=Cj0KCQjw3v6SBhCsARIsACyrRAIlEzE93AVIMivCiNwPsIatZEGQ_GSouoZg0Y39gJyIX-Vlq7q12LQaAmWaEALw_wcB>. Acesso em: 04 abr. 2022.

Polímero termoplástico e termorrígido. Disponível em:

<<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/polimero-termoplastico-termorrigido.htm>>.

Acesso em: 09 abr. 2022.

Veja o que é termoplástico e suas características | Polyexcel. Disponível em:

<<https://polyexcel.com.br/noticias-produtos/veja-o-que-e-termoplastico-quais-sao-as-suas-caracteristicaseaplicacoes/#:~:text=O%20termopl%C3%A1stico%20%C3%A9%20um%20pol%C3%ADmero>>. Acesso em: 11 abr. 2022.

Ultimaker Cura: Primeiros passos para a impressão 3D. Disponível em:

<https://blog.eletrogate.com/ultimaker-cura-primeiros-passos-para-a-impressao-3d/?gclid=EAIAIQobChMIIncHpjqGq9wIVa0FIAB0scQXAEAAAYASAAEgI96vD_BwE>.

Acesso em: 08 abr. 2022.

SILVEIRA, G. Filamentos: os 4 mais utilizados e suas características - Afinko.

Disponível em: <<https://afinkopolimeros.com.br/4-filamentos-mais-utilizados-fdm/#:~:text=O%20ABS%20%C3%A9%20um%20copol%C3%ADmero>>.

Acesso em: 08 abr. 2022.