

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

BRUNO DA SILVA GUIMARÃES

**UTILIZAÇÃO DA MANUFATURA ADITIVA PARA REMANUFATURA
DE PEÇAS EM POLIÓXIDO DE METILENO**

FLORIANÓPOLIS, 2022.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

BRUNO DA SILVA GUIMARÃES

**UTILIZAÇÃO DA MANUFATURA ADITIVA PARA REMANUFATURA
DE PEÇAS EM POLIÓXIDO DE METILENO**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro
Mecatrônico em 2022.

Professor Orientador:
Aurélio da Costa Sabino Netto, Dr.

FLORIANÓPOLIS, 2022.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Guimarães , Bruno da Silva Guimarães
UTILIZAÇÃO DA MANUFATURA ADITIVA PARA REMANUFATURA
DE PEÇAS EM POLIÓXIDO DE METILENO / Bruno da Silva Guimarães
Guimarães ; orientação de Aurélio da Costa Sabino
Netto Sabino. - Florianópolis, SC, 2023.
69 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Mecatrônica. Departamento
Acadêmico de Metal Mecânica.
Inclui Referências.

1. Manufatura Aditiva . 2. Impressão 3D. 3. Polióxido
de Metileno. 4. Remanufatura. I. Sabino, Aurélio
da Costa Sabino Netto. II. Instituto Federal de Santa Catarina.
III. UTILIZAÇÃO DA MANUFATURA ADITIVA PARA
REMANUFATURA DE PEÇAS EM POLIÓXIDO DE METILENO.

UTILIZAÇÃO DA MANUFATURA ADITIVA PARA REMANUFATURA DE PEÇAS EM POLIÓXIDO DE METILENO

BRUNO DA SILVA GUIMARÃES

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Mecatrônico em 2022 e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Engenharia Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 16 de Dezembro de 2022.

Banca examinadora:

Aurélio da Costa Sabino Netto, Dr.

Luiz Fernando Segalin de Andrade, Dr.

Roberto Angelo Pistorello, Me.

Dedico este trabalho a minha mãe
Kátia Regina (In memoriam)
e todo amor dedicado a mim.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar forças para concluir mais esta jornada em minha vida.

A minha esposa, por me apoiar, incentivar e me encorajar a viver os planos de Deus para nossa família.

A minha filha e cada um dos seus sorrisos que me alegraram quando eu mais precisei.

Ao meu pai, por ter se sacrificado junto comigo para que eu chegasse ao fim da graduação.

A todos colegas de turma que caminharam comigo, aprenderam comigo e me ensinaram, em especial aos colegas que estiveram juntos nos últimos Projetos Integradores, na nossa empresa fictícia Insane Products, Luca, Ingon e João.

Ao meu orientador Aurélio que me ajudou a desenvolver esta pesquisa, pelo incentivo e a amizade.

A todos os professores e funcionários do Instituto Federal de Santa Catarina, por se dedicarem aos seus trabalhos e me auxiliarem durante todo o período de graduação.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem o convite.

A cada um que de maneira direta ou indireta contribuiu para que eu realizasse este sonho.

RESUMO

Devido às suas vantagens como método de fabricação, nos últimos anos a Manufatura Aditiva (MA) ou Impressão 3D tem se tornado cada vez mais comum e a sua utilização vem tomando mais espaço tanto no âmbito residencial, quanto empresarial e industrial. Porém, à medida que este método de prototipagem rápida vai se popularizando, o interesse por utilizá-lo para produzir peças que serão mais requisitadas cresce, como é o caso de peças de reparos. A utilização dos polímeros mais comuns não suprem essa demanda, é então quando surge o interesse por polímeros de maior desempenho como o Polióxido de Metileno (POM). O grande desafio da utilização do POM, se dá na aderência à base da impressora e no chamado empenamento. O objetivo deste trabalho foi utilizar a impressão 3D para a fabricação de itens de reparo para a remanufatura de peças em geral. Foram feitos testes com aderência em dois modelos de impressora, uma de câmara aberta e outra fechada de alto desempenho, após a impressão de vários modelos e a utilização de materiais para ajudar na aderência foi possível encontrar os parâmetros ideais para a impressão deste polímero. Foram então impressos e injetados corpos de prova de tração e impacto com o objetivo de avaliar a resistência ao impacto e resistência à tração. Um estudo de caso de uma peça automotiva foi feito, onde a mesma foi desmontada, e o item danificado foi modelado e fabricado por meio da impressão 3D. Através dos dados obtidos e testes foi possível perceber que a utilização do método de impressão 3D para a fabricação de peças e itens de reparo para peças mecânicas é possível mas deve-se atentar à alguns pontos, como a fratura frágil das peças impressas e também a alta absorção de impacto, que ficaram bem próximas dos corpos de prova injetados

Palavras-chave: Manufatura aditiva. Impressão 3D. Polióxido de metileno. Remanufatura.

ABSTRACT

Due to its advantages as a manufacturing method, in recent years Additive Manufacturing (AM) or 3D Printing has become increasingly common and its use has been taking up more space both in residential, business and industrial environments. However, as this rapid prototyping method becomes popular, the interest in using it to produce parts that will be more requested grows, as is the case of repair parts. The use of the most common polymers does not supply this demand, it is then that the interest for higher performance polymers such as Polyoxide of Methylene (POM) arises. The great challenge of using POM is the adherence to the printer base and the so-called warping. The objective of this work was to use 3D printing to manufacture repair items for the remanufacturing of parts in general. Adherence tests were carried out on two printer models, one with an open chamber and the other a high-performance closed one, after printing several models and using materials to help adhesion, it was possible to find the ideal parameters for printing this polymer. Tensile and impact specimens were then printed and injected in order to assess impact strength and tensile strength. A case study of an automotive part was done, where it was disassembled, and the damaged item was modeled and manufactured using 3D printing. Through the data obtained and tests, it was possible to perceive that the use of the 3D printing method for the manufacture of parts and repair items for mechanical parts is possible, but attention must be paid to some points, such as the brittle fracture of the printed parts and also the high impact absorption, which were very close to the injected specimens

Keywords: Additive manufacturing. 3D printing. Methylene polyoxide. Remanufacturing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Impressão 3D por extrusão de material - Fusão do filamento	20
Figura 2 - Classificação dos materiais de engenharia	21
Figura 3 - Gráfico economia circular	24
Figura 4 - Diagrama da metodologia utilizada	25
Figura 5 - Modelos utilizados	27
Figura 6 - Impressora Creality CR10s	29
Figura 7 - Impressora Intamsys Funmat HT	30
Figura 8 - Diagrama dos testes de aderência	32
Figura 9 - Impressão dos corpos de prova de impacto de 3 em 3	34
Figura 10 - Corpos de prova de impacto impressos	35
Figura 11 - Impressão dos corpos de prova de tração de 3 em 3	35
Figura 12 - Corpos de prova de tração impressos	36
Figura 13 - Injeção dos corpos de prova	38
Figura 14 - Equipamento para ensaio de tração	39
Figura 15 - Máquina manual de fazer entalhes	40
Figura 16 - Equipamento para ensaio de impacto	41
Figura 17 - Primeira impressão direto sobre a mesa	42
Figura 18 - Impressão feita sobre a etiqueta de papel	43
Figura 19 - Impressão feita sobre o papel cartão	44
Figura 20 - Impressão feita sobre o MDF	45
Figura 21 - Impressão feita sobre o Papelão	46
Figura 22 - Impressão feita sobre a madeira maciça	47
Figura 23 - MDF cortado no formato da mesa	48
Figura 24 - Corpos de prova 1, 2, 3 e 4	49
Figura 25 - Corpos de prova 5, 6, e 7	50
Figura 26 - Corpos de prova 8, 9, e 10	50
Figura 27 - Corpos de prova 11 e 12	51
Figura 28 - Corpos de prova 13 ao 21	52

Figura 29 - Corpo de prova 21	53
Figura 30 - Gráfico tensão vs. deformação	54
Figura 31 - Gráfico da tensão máxima para as condições avaliadas	55
Figura 32 - Gráfico do módulo de elasticidade para as condições avaliadas	56
Figura 33 - Gráfico da deformação para as condições avaliadas	57
Figura 34 - Gráfico da resistência ao impacto para as condições avaliadas	58
Figura 35 - Limitador de porta Honda Fit 2005	59
Figura 36 - Parte móvel limitador de porta	60
Figura 37 - Modelagem do reparo no software Solidworks	61
Figura 38 - Defeitos em reparo feito em ABS após testes	62
Figura 39 - Defeitos em reparo feito em PET-G após testes	63
Figura 40 - Defeitos em reparo feito em POM após testes	63
Figura 41 - Gráfico gerado a partir dos dados do site eSun 3D	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Propriedades do POM Slim 3D	26
Quadro 2 - Parâmetros utilizados impressora aberta (CR10S)	31
Quadro 3 - Parâmetros utilizados impressora fechada (Intamsys)	32
Quadro 4 - Informações corpos de prova de impacto	34
Quadro 5 - Informações corpos de prova de tração	36
Quadro 6 - Condições de processamento para os corpos de prova	37
Quadro 7 - Comportamento das peças do estudo de caso	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MA	Manufatura Aditiva
POM	Polióxido de Metileno
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
ER	Engenharia Reversa
PET-G	Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1.	Definição do problema	16
1.2.	Justificativa	16
1.3.	Objetivo Geral	17
1.4.	Objetivos Específicos	17
1.5.	Estrutura do Trabalho	17
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1.	Impressão 3D	19
2.2.	Polímeros de Engenharia	20
2.2.1	POM	21
2.3.	Remanufatura de peças	23
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1.	Materiais	25
3.2.	Modelos utilizados	26
3.3.	Impressoras utilizadas	28
3.4.	Testes de aderência	31
3.5.	Impressões dos corpos de prova	33
3.6.	Injeção dos corpos de prova	37
3.7.	Ensaio realizado	38
3.7.1	Resistência à tração	38
3.7.2	Resistência ao impacto	39
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1.	Resultados dos testes de aderência	41
4.2.	Resultados ensaios de impacto e tração	53
4.2.1	Curva tensão vs. deformação	53
4.2.2	Tensão máxima	54
4.2.3	Módulo de elasticidade	55
4.2.4	Deformação	56
4.2.5	Resistência ao impacto	57
4.3.	Estudo de caso	58
4.3.1	Teste das peças do estudo de caso	62
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66

5.1. Sugestões para trabalhos futuros**67****REFERÊNCIAS****68**

1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista a demanda do mercado mundial por modernidade, otimização do tempo e a rápida transformação do que foi projetado no produto final, a utilização da impressão 3D tem se popularizado nesses últimos anos. Sua relevância está diretamente associada com as vantagens deste processo. Segundo Volpato (2017) o processo de construção é totalmente automatizado, seu método de produção ocorre de maneira relativamente rápida e até mesmo com um custo muito mais baixo se comparado aos meios tradicionais de fabricação.

Ao contrário dos métodos tradicionais, que se baseiam na remoção de material de um bloco bruto, a Manufatura Aditiva (MA) ou Impressão 3D baseia-se na adição de material fundido camada por camada, FDM (do inglês *Fused Deposition Modeling*). A proposta é depositar material sobre uma base, tendo como parâmetro de comandos um código gerado por um software de fatiamento de um modelo computacional, assim são obtidas informações sobre a construção do objeto, onde irá ou não depositar material e a peça é produzida.

Este método de fabricação tem se difundido no mundo todo, e os materiais mais utilizados são o ABS e o PLA. Porém, à medida que os requisitos aumentam, sejam eles esforços mecânicos, exposição à umidade, ou até mesmo exposição a materiais químicos, a necessidade de polímeros de maior desempenho surge. Pois estes polímeros têm propriedades que os materiais de uso comum não tem. Segundo Alves e Almeida (2020), a adoção de polímeros de engenharia como matéria-prima para fabricação de partes de equipamentos deixou de ser uma tendência e já se tornou uma realidade.

A proposta do trabalho desenvolvido é a utilização da impressão 3D para a fabricação de itens e peças para reparo e remanufatura de peças mecânicas, utilizando como material o Poliacetal.

1.1 Definição do Problema

Com o passar do tempo, seja por influência de intempéries ou o desgaste natural devido ao uso, equipamentos precisam passar por manutenções e revisões para continuarem operantes. No entanto, é comum que peças ou componentes que precisam ser substituídos não existam ou seja difícil encontrá-los, devido a altos preços ou a necessidade de importação, que demanda tempo e também eleva os custos para a aquisição dos mesmos.

Com a popularização das tecnologias de FDM, o acesso à uma impressora 3D ficou muito mais fácil. Isso permitiu, por exemplo, que hobbistas e empresas de pequeno a médio porte adquirissem uma e utilizassem para a produção de peças e produtos. Por conta da grande variedade e complexidade de peças que uma impressora 3D consegue alcançar, atualmente é normal encontrarmos peças à venda que tenham sido impressas. Isso se torna mais relevante quando o componente que está sendo buscado faz parte de um conjunto ou tem um valor elevado, pois com a manufatura aditiva é possível produzir apenas a peça necessária e de maneira muito mais acessível.

1.2 Justificativa

Encontrar partes de reposição para o condicionamento de componentes mecânicos em geral pode não ser uma tarefa fácil, pois a disponibilidade do conjunto completo da peça é cada vez maior no mercado, tornando o interesse, em reparar apenas a parte danificada e reutilizar, ser cada vez menor. No modelo utilizado atualmente pela indústria é mais fácil realizar a troca de todo um mecanismo, do que repará-lo.

Tendo em vista o POM, um polímero de engenharia com características muito relevantes quando se refere às condições a que ele será submetido, suas propriedades como alta resistência mecânica, baixa reação química com outros componentes, baixíssima absorção de umidade, propriedades auto lubrificantes e um baixo coeficiente de atrito. O que leva o poliacetal a ser utilizado em larga escala para produção, por métodos tradicionais, de componentes como mancais, buchas, guias e engrenagens.

Diante disso, tendo em vista as vantagens que a impressão 3D proporciona e as características mecânicas do Poliacetal, a utilização da impressão 3D possibilitaria a fabricação desses componentes e itens específicos muito mais acessível, além de reduzir custos e a preocupação com a questão ambiental e o descarte de peças. Segundo Leite et al., (2020) a remanufatura é um elemento chave devido à sua efetividade no fechamento do ciclo dos fluxos de materiais, ao prolongamento do ciclo de vida do produto e à redução dos desperdícios e das emissões de produção, e é um componente importante em uma economia circular.

1.3 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a utilização da impressão 3D como método de fabricação para obter peças e itens para reparo de peças mecânicas, tendo em vista as vantagens que o mesmo pode oferecer.

1.4 Objetivos Específicos

A partir do desdobramento do objetivo geral, este trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

- a) Avaliar diferentes superfícies que auxiliem na adesão do Poliacetal à mesa de impressão;
- b) Realizar estudo comparativo com corpos de prova impressos e injetados para avaliar a resistência mecânica e ao impacto;
- c) Realizar estudo de caso para avaliar um caso real de reposição de uma peça fabricada em plástico;

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. Primeiramente foram feitas a introdução, justificativa, definiu-se o problema, e foram citados os objetivos gerais, os objetivos específicos, e sobre a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo foram feitos os levantamentos teóricos dos conceitos utilizados, para embasamento dos assuntos abordados, como impressão 3D, o Poliacetal e a remanufatura de peças.

No capítulo três foram descritos os materiais e métodos utilizados no trabalho, estão descritos como foram feitos os testes referentes à aderência do material à mesa de impressão e encontrados parâmetros ideais de configuração da impressora. Foram feitas as impressões e moldagem por injeção dos corpos de prova de tração e impacto, e também foram descritos como foram feitos os testes mecânicos.

No quarto capítulo, foram descritos os resultados e discussões, cada um dos gráficos que resultaram dos testes mecânicos feitos, gráfico de tensão vs. deformação, módulo de elasticidade, tensão máxima, deformação e resistência ao impacto. Foi também descrito um breve estudo de caso sobre uma peça automotiva, e como ela se comportou após trinta dias.

E por último, no capítulo cinco, as conclusões finais e recomendações para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Impressão 3D

A busca da humanidade sempre circundou o objetivo de utilizar meios que facilitam e tornam mais rápidas as suas tarefas, como a descoberta do fogo, a domesticação de animais e a criação de utensílios e ferramentas que facilitam o seu trabalho. Tendo em vista essa busca por otimização do tempo e melhorar ou aumentar as capacidades humanas, é notável a quantidade de tecnologias que já foram criadas ao longo dos séculos, como citam Morandini e Del Vechio (2020).

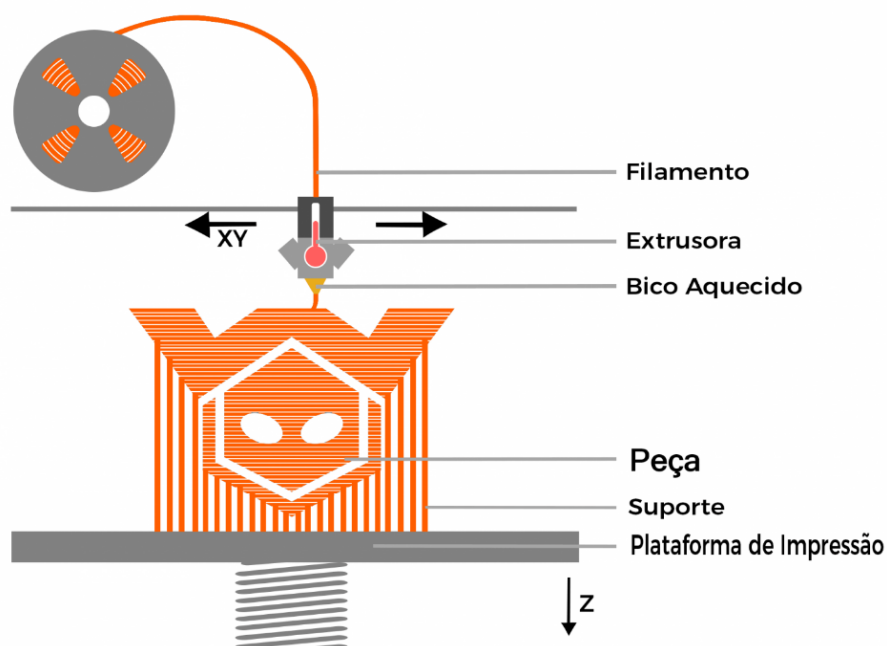
Dentre inúmeras tecnologias que surgiram nas últimas décadas, vale destacar a impressão 3D. É preciso voltar no tempo alguns milhares de anos e observar princípios aplicados na arquitetura de nossos antepassados. Segundo Volpato (2017), o conceito de construção de objetos físicos por meio de camadas não é uma ideia nova, remontando a aplicações bem antigas, como a construção de pirâmides egípcias, com a superposição de blocos. Áreas como a topografia e seus princípios para mapear superfícies de relevo e reproduzi-las também contribuíram para o surgimento desta tecnologia.

Foi então, nos últimos anos, que a busca por um método que fosse capaz de produzir objetos de maneira rápida cresceu e um novo princípio de fabricação, baseado na adição de material, denominado de Manufatura Aditiva MA, entrou em voga. Segundo Alves e Almeida (2020) a MA surgiu como um processo emergente para possibilitar uma nova forma de produção em baixo volume e de maior flexibilidade. Segundo Morandini e Del Vechio (2020) desde a década de 1980, a tecnologia para impressão 3D não parou de crescer, evoluindo consideravelmente.

Atualmente existem diversos modelos e marcas de impressoras que variam desde centenas reais, até modelos mais robustos, de alta precisão, que podem custar dezenas de milhares de reais. Eles são de diversas formas, desde as mais simples até as mais complexas, alguns modelos se utilizam de um rolo de filamento e fundem o mesmo através de uma extrusora e depositam sobre uma superfície, e com o deslocamento das partes formam a geometria desejada (Figura 1). Com o uso dessa tecnologia é possível replicar, de forma rápida e precisa, um

objeto ou modelo virtual, podendo trazer muitos benefícios para diversas áreas do conhecimento, desde inovações industriais até a produção de objetos pessoais.

Figura 1 – Impressão 3D por extrusão de material - fusão do filamento

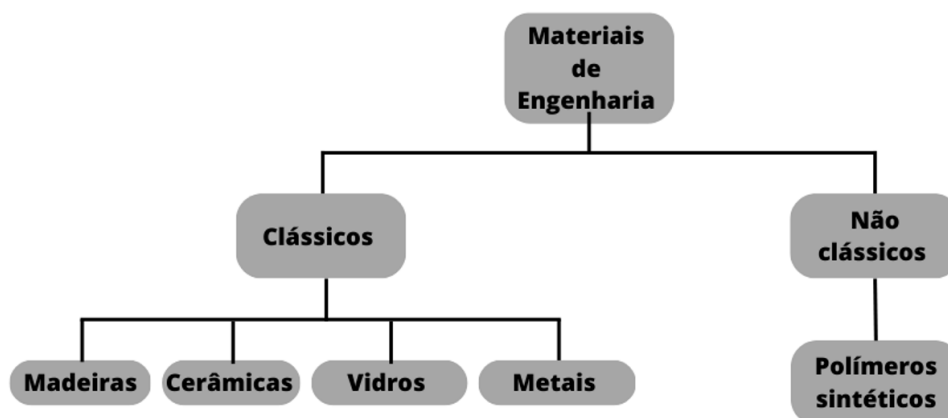


Fonte: Adaptado de Wishbox (2022).

2.2 Polímeros de Engenharia

Foi no início do século XX, que ficou provado que os materiais descobertos no século anterior, eram na verdade moléculas gigantes, cadeias de 10.000 ou mais átomos de carbono, que tinham repetições de pequenas unidades estruturais Segundo Mano (1991) polímeros do grego “muitas partes”. Entre os materiais de engenharia estão os clássicos como madeira, cerâmica e os não clássicos polímeros sintéticos (Figura 2).

Figura 2 – Classificação dos materiais de engenharia



Fonte: Adaptado de Mano (1991)

Também segundo Mano (1991) Plásticos de engenharia são polímeros que são utilizados como peças estruturais e até mesmo engrenagens. Pelo fato de serem características mecânicas de alto desempenho, estes materiais têm potencial para substituir outros materiais de uso clássico na engenharia, como os metais. Segundo Simielli e Santos (2010) a maior utilização de polímeros, como as resinas de acetal, é na substituição de metais. São materiais com propriedades mecânicas marcantes, como alta rigidez, baixo peso específico, estabilidade dimensional e resistência à corrosão e permitem a substituição de metais como bronze, ferro e zinco em muitos casos.

2.2.1 POM

O Polióxido de Metileno (POM), popularmente conhecido como Poliacetal ou Acetal, é um polímero termoplástico semicristalino, que ganhou espaço na indústria por conta de suas características físicas e químicas. Descoberto pelo químico Alemão Herman Staudinger, em 1922, só teve o reconhecimento anos depois, em 1953, quando ganhou o prêmio Nobel de Química. Nessa época o polímero não foi comercializado por problemas na sua estabilidade térmica, em 1960 começou a ser comercializado pela *DuPont* em 1960 com o nome de *Delrin*.

Devido a sua composição química o POM apresenta características que o tornam um excelente material para aplicações de alto desempenho. Segundo Simielli e Santos (2010) o Poliacetal possui propriedades características dos polímeros de alto peso molecular, possuem alta resistência à tração, cisalhamento e compressão, propriedades estas mantidas mesmo em altas temperaturas. São rígidos e possuem baixa deformação sob carga, possuem alta resistência à fadiga. Sua resistência a agentes químicos é muito boa e é inerte à vários solventes e compostos orgânicos, têm uma baixa absorção de água, e possuem uma estabilidade dimensional boa mesmo em ambientes úmidos.

Segundo Costa (2022), o POM é um dos 3 principais polímeros utilizados na engenharia. Tem aplicação em peças industriais para uso mecânico; na indústria automobilística, sendo utilizado nos cintos de segurança e engrenagens, componentes de torneiras, fechaduras, válvulas, bombas, carcaças de chuveiros elétricos, componentes elétricos e eletrônicos e em eletrodomésticos.

O Poliacetal pode ser fabricado de duas formas, a primeira, onde é obtido através da polimerização do formaldeído, sendo muito suscetível à degradação por conta da sua cadeia polimérica, que é chamado de Homopolímero. A segunda maneira é o Copolímero, onde é obtido por meio da união do óxido etileno e Trioxano. Essa configuração tende a ter menores níveis de cristalinidade em comparação ao outro tipo, o que o dá melhor estabilidade dimensional e menor coeficiente de atrito.

Segundo Ignácio et al (2018), o POM tem sido tradicionalmente processado por moldagem por injeção, extrusão e fabricação subtrativa (mecanizada). Hoje, devido ao rápido desenvolvimento da impressão 3D ou manufatura aditiva (MA), uma nova rota foi aberta para o projeto e processamento de peças de POM. Geometrias e cavidades complexas, antes difíceis de fabricar através de métodos tradicionais, podem ser produzidas pela adição de camadas sobre camadas. Além do mais, o POM pode ser facilmente extrudado com temperaturas abaixo de 250°C, temperatura alcançada pela maioria das impressoras 3D convencionais.

Contudo, as principais desvantagens em relação à utilização do POM na Impressão 3D, é o efeito conhecido como *Warping* que é o levantamento das

extremidades da peça, se desprendendo da base, comprometendo a peça. Que ocorre por conta das contrações internas do material ao resfriar de maneira desigual. E também, a grande dificuldade da camada inicial de aderir nas mesas de impressão disponibilizadas comercialmente.

2.3 Remanufatura de peças

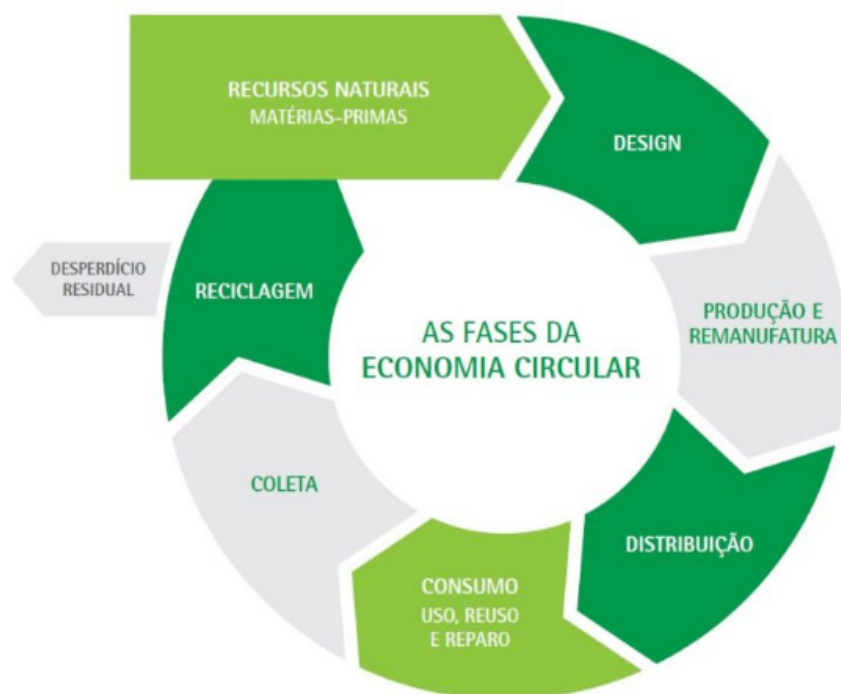
O reparo de peças danificadas pode ser válido por alguns motivos, sejam eles, economia, ausência de peças de reposição ou até mesmo a preocupação ecológica com o descarte. É um método de reaproveitamento de peças que consiste na desmontagem, limpeza, troca de peças danificadas e remontagem. Segundo Tristão (2021) é através da remanufatura que os produtos são restaurados para a condição de novos e assim voltam a possuir a mesma função e a mesma qualidade de produtos novos.

Segundo Leite (2020 *apud* Demirel, GÖKÇEN, 2016) essa gestão dos produtos em fim de vida tornou-se importante por causa dos efeitos ambientais acarretados pelo aumento das quantidades de resíduos produzidos devido à crescente tendência de consumo. Dessa forma, a remanufatura de peças e produtos reduz o custo ambiental e econômico tanto na manufatura de produtos novos quanto na sua disposição final.

Para Tristão (2021) as principais motivações que levam empresas a engajar na remanufatura são econômica, ecológica e também em relação à normas e legislações, e também a principal resposta dada por empreendedores quando questionados sobre o motivo pelo qual praticam a remanufatura é o retorno econômico.

Segundo Barbosa, Fonseca, Sabbadini (2022) a remanufatura de peças é um conceito antigo que nos últimos anos vem sendo relacionado a Economia Circular, pois além da economia, os produtos remanufaturados fazem uma otimização da utilização dos recursos, evitando desperdício. Ela impede o descarte inadequado de produtos e visa um processo cíclico (Figura 3).

Figura 3 - Gráfico economia circular

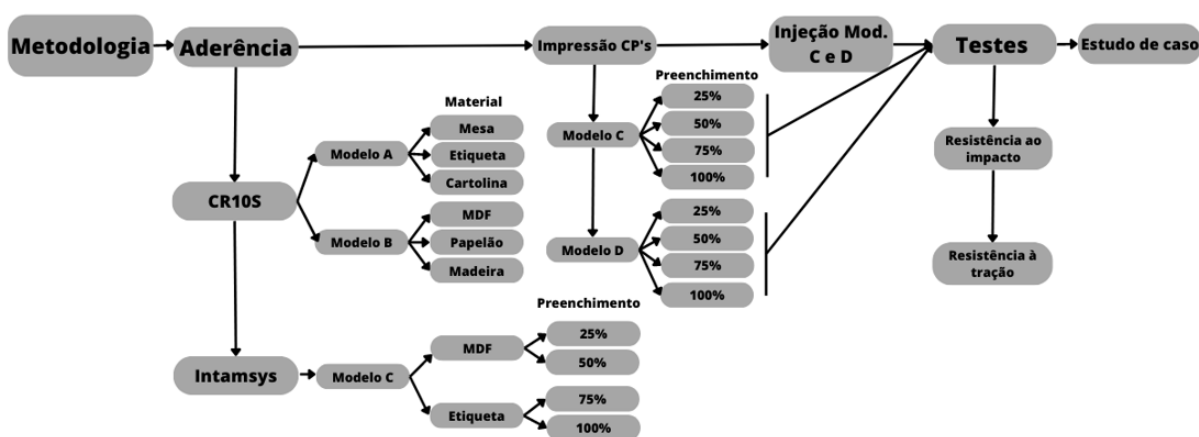


Fonte: Adaptado de Mais polímeros (2022)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso, foi cedido o espaço e equipamentos que pertencem ao laboratório Grupo de Pesquisa em Processos de Fabricação e Tecnologia dos Materiais (PFBMAT) do Instituto Federal de Santa Catarina. A metodologia utilizada segue basicamente quatro passos principais, são eles: Testes de aderência, impressão dos corpos de prova, injeção dos corpos de prova, testes e o estudo de caso, conforme está ilustrado no diagrama esquemático da Figura 4.

Figura 4 – Diagrama da metodologia utilizada



Fonte: Elaboração própria (2022).

3.1 Materiais

Para realizar os as impressões foi utilizado o filamento de Poliacetal, fornecido pela Slim3D, na cor branca, sendo suas propriedades mecânicas apresentadas no Quadro 1. Para a injeção dos corpos de prova, dois rolos de filamento do mesmo lote foram peletizados em um granulador de espaguete (AX Plásticos).

Quadro 1 – Propriedades do POM Slim3D

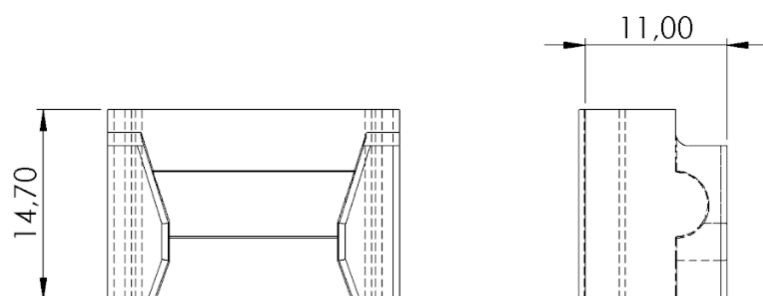
Propriedades	Resultado	Unidade	Método
Absorção de umidade	0,22	%	ASTM D570
Alongamento na Ruptura	45	%	ASTM D638
Dureza	75	-	ASTM D785
Módulo Elástico	2700	MPa	ASTM D790
Resistência à Flexão	85	MPa	ASTM D790
Resistência ao impacto	6,5	J/m	ASTM D256

Fonte: Adaptado de Slim3D (2022).

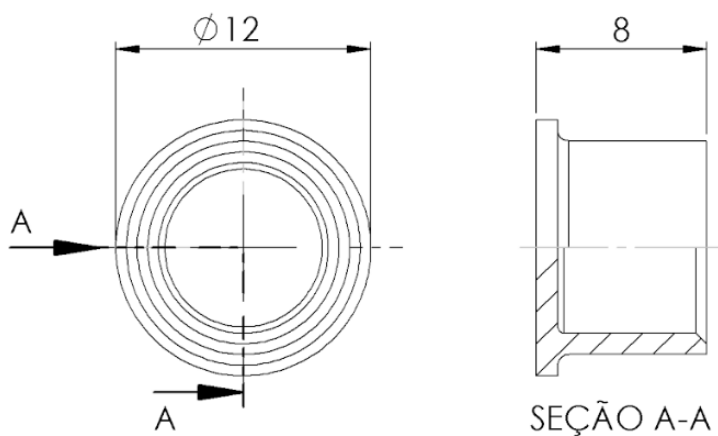
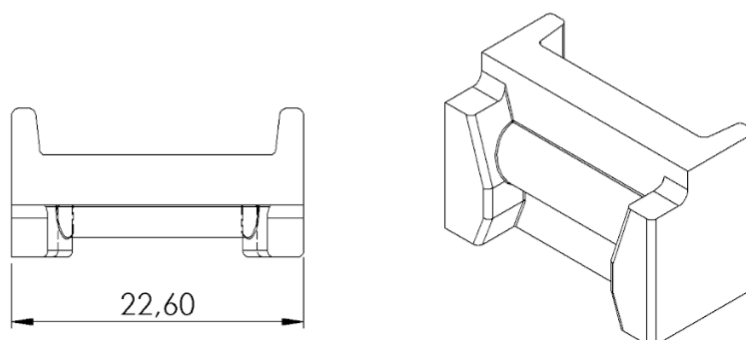
3.2 Modelos e corpos de prova utilizados

Foram utilizadas quatro diferentes geometrias, dentre elas: Uma peça que foi utilizada em um estudo de caso que será descrito no item 4.3 deste trabalho. Um outra peça de geometria simples que foi criada para para facilitar os testes de aderência, um corpo de prova de impacto ASTM D2566 Izod TIPO D e um corpo de prova de tração ASTM D638 tipo I, é possível observá-los na Figura 5, itens A, B, C e D.

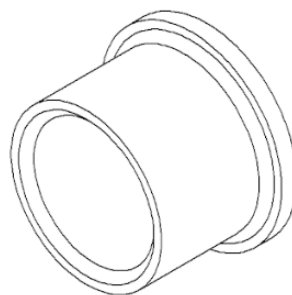
Figura 5 – Geometrias utilizadas

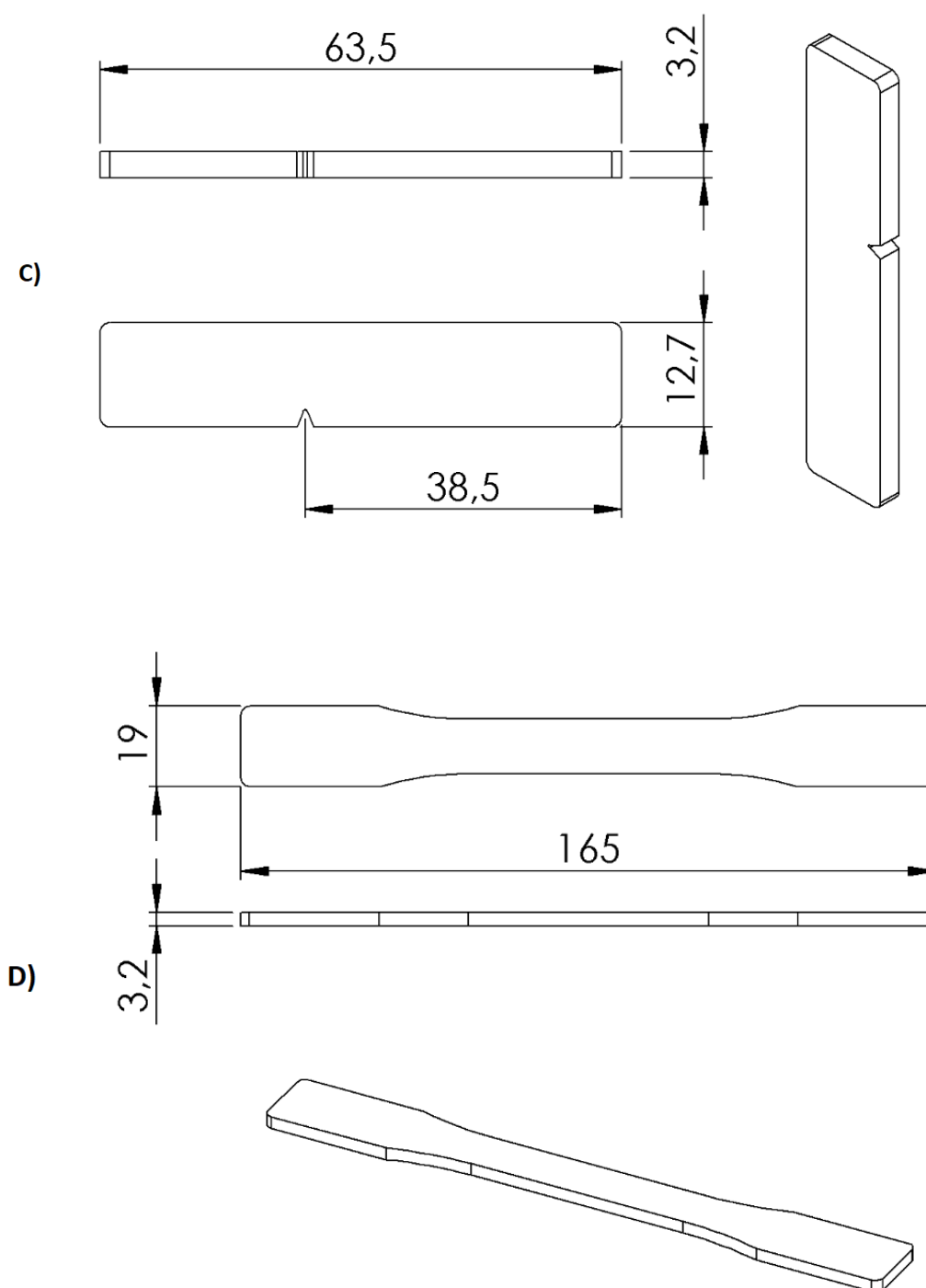


A)



B)





Fonte: Elaboração própria (2022).

3.3 Impressoras Utilizadas

Para os testes de aderência, impressão dos corpos de prova e estudo de caso foram utilizadas duas impressoras 3D. A primeira uma impressora CR10s da marca Creality (Figura 6), se trata de uma impressora aberta que possui um

nivelamento automático da mesa de impressão. Optou-se por essa impressora inicialmente pela sua rápida inicialização e fácil utilização e operação. Esta impressora utiliza um *Software* de código aberto, conhecido como *Ultimaker Cura*, é nele que são configurados os parâmetros e é feito o fatiamento da peça a ser impressa.

Figura 6 – Impressora Creality CR10s



Fonte: Adaptado de Creality (2022).

A segunda impressora utilizada é um modelo de impressora de câmara fechada, o modelo em questão foi a Funmat HT da marca *Intamsys*, de alto desempenho apresentada na Figura 7. A mesma possibilita a impressão em ambiente controlado à uma temperatura de até 90°C, possui uma mesa de impressão que pode ser aquecida até 160°C e uma capacidade de fundir materiais de até 450°C. Assim como a anterior, ela possui um nivelamento automático da mesa.

Figura 7 – Impressora 3D Intamsys Funmat HT



Fonte: Adaptado de Intamsys (2022).

Diferente da impressora anterior a *Intamsys Funmat HT* possui, para a parametrização e o fatiamento do modelo a ser impresso um software próprio do fabricante, para ele é exportado o modelo em STL, onde são definidos os parâmetros de impressão, camadas, preenchimento e orientação, então é gerado um código G que pode ser transferido para a impressora através de um dispositivo de armazenamento externo.

3.4 Testes de aderência

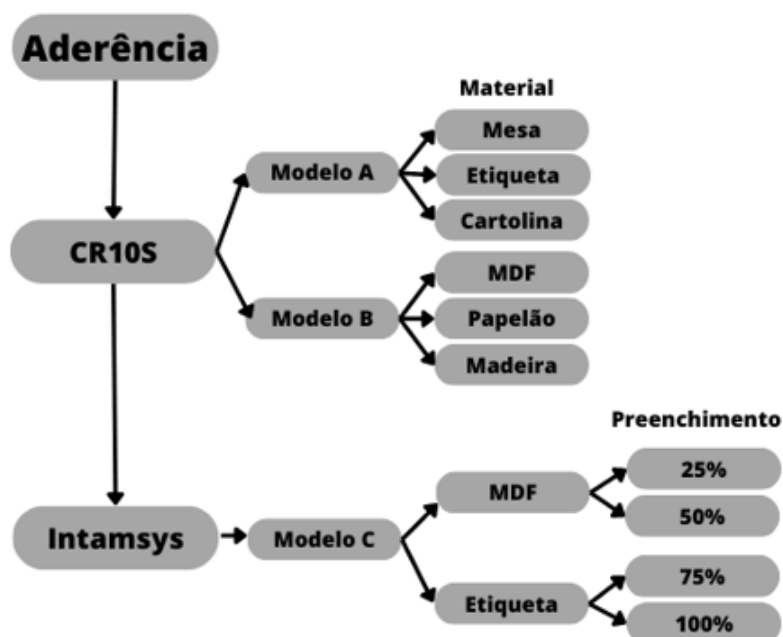
Para os testes de aderência foram feitas as primeiras impressões de um primeiro modelo, item A da Figura 5 na impressora aberta (CR10), diretamente sobre a mesa de impressão, que é feita de metal com uma superfície polimérica aderente. Foram feitas impressões sobre etiqueta de papel auto adesiva e papel cartão colado com fita adesiva para alta temperatura de 30mm. Também foram feitas impressões de um segundo modelo (Figura 5, item B), sobre o papelão, MDF e madeira maciça, ambos também colados com fita adesiva de alta temperatura, os parâmetros podem ser observados no Quadro 2, itens 1, 2, 3, 4, 5 e 6. Conforme o ilustrado no diagrama da Figura 8.

Quadro 2 – Parâmetros utilizados impressora aberta (CR10S)

Nú m.	Geometr ia	C.I (mm)	C.F (mm)	Par.	Base	T. Bico (°C)	T. Mes(°C)	Preenc.(%)
1	Modelo A	1.2	1.2	1.2	Mesa	220	75	50
2	Modelo A	1.2	1.2	1.2	Etiqueta	220	75	50
3	Modelo A	1.2	1.2	1.2	Cartão	250	105	50
4	Modelo B	1.2	1.2	1.2	Papelão	250	105	50
5	Modelo B	1.2	1.2	1.2	MDF	250	105	50
6	Modelo B	1.2	1.2	1.2	Madeira	250	105	50

Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 8 – Diagrama dos testes de aderência



Fonte: Elaboração própria (2022).

Foram impressos também vinte e um corpos de prova até que fossem encontrados os melhores parâmetros, a orientação de preenchimento foi do tipo grade. Para estes foi utilizado o modelo C da figura 5, os parâmetros utilizados podem ser observados no Quadro 3, itens 1 a 21 e os resultados dos testes de aderência estão detalhados no capítulo 4.

Quadro 3 – Parâmetros utilizados Impressora fechada (Intamsys)

Núm.	Geo m.	Cam Inic (mm)	Cam Fin (mm)	Pare de (mm)	Base	T. Bico (°C)	T. Mes(°C)	T.Câm (°C)	Preenc.(%)
1	C	1.2	1.2	1.2	MDF	220	110	60	25
2	C	1.2	1.2	1.2	MDF	220	150	60	25
3	C	1.2	1.2	1.2	MDF	220	150	60	25
4	C	1.2	1.2	1.2	MDF	210	160	70	25
5	C	1.2	1.2	1.2	MDF	255	100	60	25

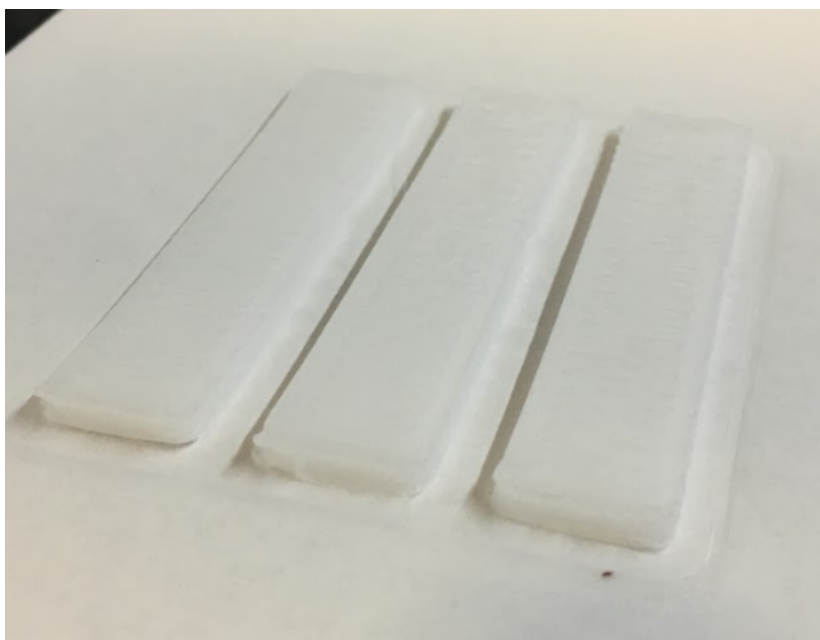
6	C	1.2	1.2	1.2	MDF	255	100	70	25
7	C	1.2	1.2	1.2	MDF	255	110	80	25
8	C	1.2	1.2	1.2	MDF	210	110	80	50
9	C	1.2	1.2	1.2	Etiqueta	210	100	80	50
10	C	1.2	1.2	1.2	Etiqueta	220	150	87	50
11	C	1.2	1.2	1.2	Etiqueta	230	150	85	75
12	C	1.2	1.2	1.2	Etiqueta	230	150	85	75
13	C	1.2	1.2	1.2	Etiqueta	230	150	85	100
14	C	1.2	1.2	1.2	Etiqueta	230	150	85	100
15	C	1.2	1.2	1.2	Vidro	230	150	85	100
16	C	1.2	1.2	1.2	Vidro	220	150	85	100
17	C	1.2	1.2	1.2	Vidro	210	160	90	100
18	C	1.2	1.2	1.2	Vidro	200	150	90	100
19	C	1.2	1.2	1.2	Vidro	200	155	90	100
20	C	1.2	1.2	1.2	Etiqueta	200	160	90	100
21	C	1.2	1.2	1.2	Etiqueta	200	150	90	100

Fonte: Elaboração própria (2022).

3.5 Impressões dos corpos de prova

Após encontrar os parâmetros ideais para impressão do Poliacetal, foi possível a impressão dos corpos de prova de tração e impacto. Foram impressos corpos de prova para análise em laboratório, foram impressos corpos de prova de impacto do tipo IZOD, eles foram impressos de três em três, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Impressão dos corpos de prova de impacto de 3 em 3



Fonte: Autoria própria (2022).

As impressões foram feitas sobre o papel etiqueta auto adesiva 288 mm x 200 mm e seguiram as informações contidas no Quadro 4.

Quadro 4 – Informações corpos de prova de impacto

Preenchimento	Nº por impressão	Quantidade	Tempo aprox
25%	3	6	37min
50%	3	6	40min
75%	3	6	42min
100%	3	6	46min

Fonte: Elaboração própria (2022).

Na Figura 10 é possível visualizar os corpos de prova de impacto impressos.

Figura 10 – Corpos de prova de impacto impressos



Fonte: Autoria Própria (2022).

Foram feitas também a impressão dos corpos de prova de tração, e foram, da mesma maneira, impressos de três em três, conforme Figura 11.

Figura 11 – Impressão dos corpos de prova de tração de 3 em 3



Fonte: Autoria própria (2022).

As impressões da mesma maneira que o de impacto foram feitas sobre o papel etiqueta auto adesiva e seguiram o Quadro 5.

Quadro 5 – Informações corpos de prova de tração

Preenchimento	Nº por impressão	Quantidade	Tempo
25%	3	6	1:40h
50%	3	6	1:45h
75%	3	6	1:50h
100%	3	6	1:55h

Fonte: Elaboração própria (2022).

Na Figura 12 é possível visualizar os corpos de prova de tração impressos.

Figura 12 – Corpos de prova de tração impressos

Fonte: Autoria Própria (2022).

3.6 Injeção dos corpos de prova

Foi utilizada uma máquina injetora marca Arburg, modelo 370E 600 – Euromap 170. No Quadro 6 são apresentadas as condições de processamento para obtenção dos corpos de prova (Figura 13).

Quadro 6 – Condições de processamento para os corpos de prova

Parâmetro	Condições de injeção
Temperatura do bico	200°C
Zona 1	190°C
Zona 2	180°C
Zona 3	170°C
Zona 4	160°C
Temperatura do termorregulador	80°C
Pressão de injeção	1000 bar
Pressão de recalque	60%
Tempo de recalque	7,9s
Velocidade de dosagem	9 m/min
Vazão de injeção	30 cm³/s
Tempo de resfriamento	19s

Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 13 – Injeção dos corpos de prova



Fonte: Autoria própria (2022).

3.7 Ensaios realizados

Foram feitos, no IFSC, câmpus Caçador testes de impacto e tração nos corpos de prova impressos e injetados.

3.7.1 Resistência à tração

Foram utilizados corpos de prova do Tipo I conforme norma ASTM D638. Foi utilizada uma máquina universal de ensaios, marca EMIC, modelo DL 2000 (Figura 14). Nos ensaios foi empregada uma célula de carga e garras para 500 kgf. Para cada condição avaliada foram testados cinco corpos de prova. As variáveis medidas foram as seguintes: tensão máxima, módulo de elasticidade e deformação na força máxima. Nos ensaios foi empregada uma velocidade de deformação de 5 mm/min.

Figura 14 – Equipamento para ensaio de tração



Fonte: Paggi, Rodrigo (2022).

3.7.2 Resistência ao impacto

Os corpos de prova obedeceram a norma ASTM D256 com as seguintes dimensões 63 x 12,7 x 3,3 mm. Nos corpos de prova injetados foram produzidos entalhes com raio de 0,25 mm e ângulo de abertura do entalhe de 45°, que foram feitos em uma máquina manual de entalhes (Figura 15). Os corpos de prova impressos foram produzidos com os entalhes que precisavam de acabamento para estabelecer uma mesma geometria de comparação.

Figura 15 – Máquina manual da fazer entalhes



Fonte: Paggi, Rodrigo (2022).

Os ensaios foram realizados em uma máquina de impacto Philpolymer Company, modelo XJC 25D (Figura 16). O tipo de ensaio realizado foi de Impacto Izod. Para os ensaios foi empregado o martelo de 5 kg. Para cada condição avaliada foram testados 6 corpos de prova.

Figura 16 – Equipamento para ensaio de impacto



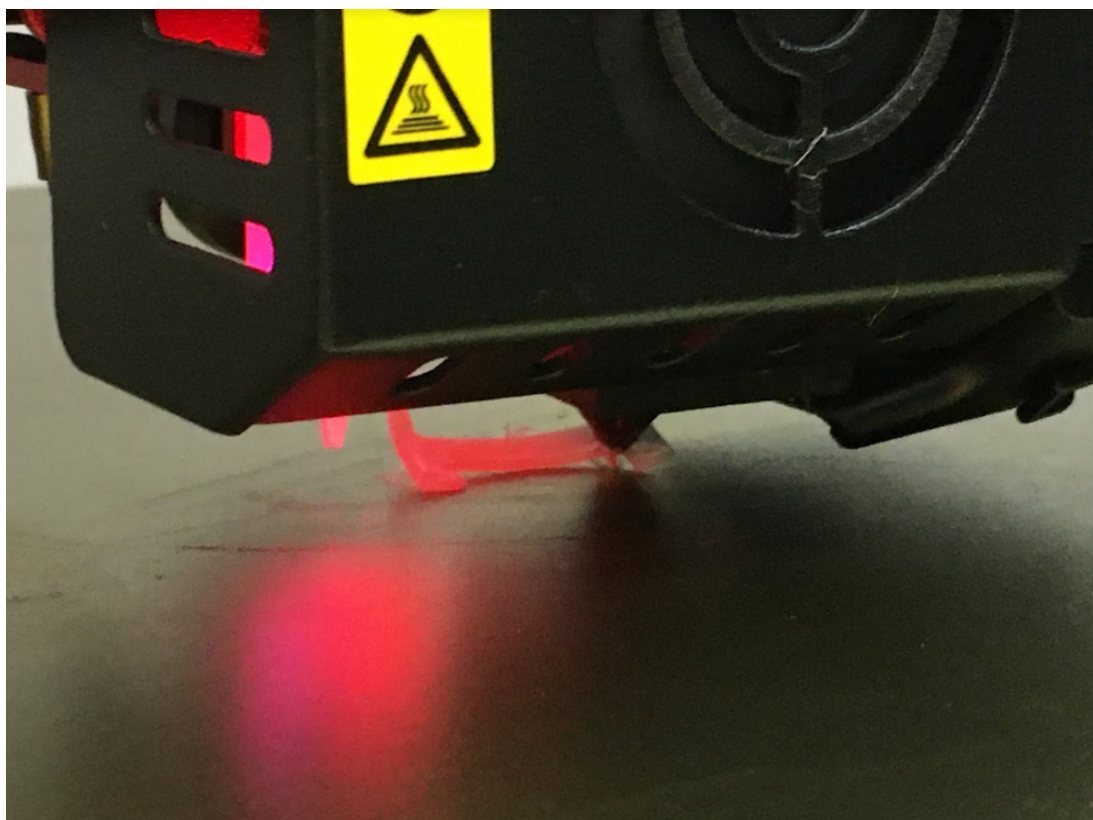
Fonte: Paggi, Rodrigo (2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados dos testes de aderência

Na peça que foi impressa diretamente sobre a mesa, o descolamento já ocorreu nas primeiras camadas, como é possível observar na Figura 17. Os parâmetros utilizados nos testes da impressora aberta estão descritos no Quadro 5.

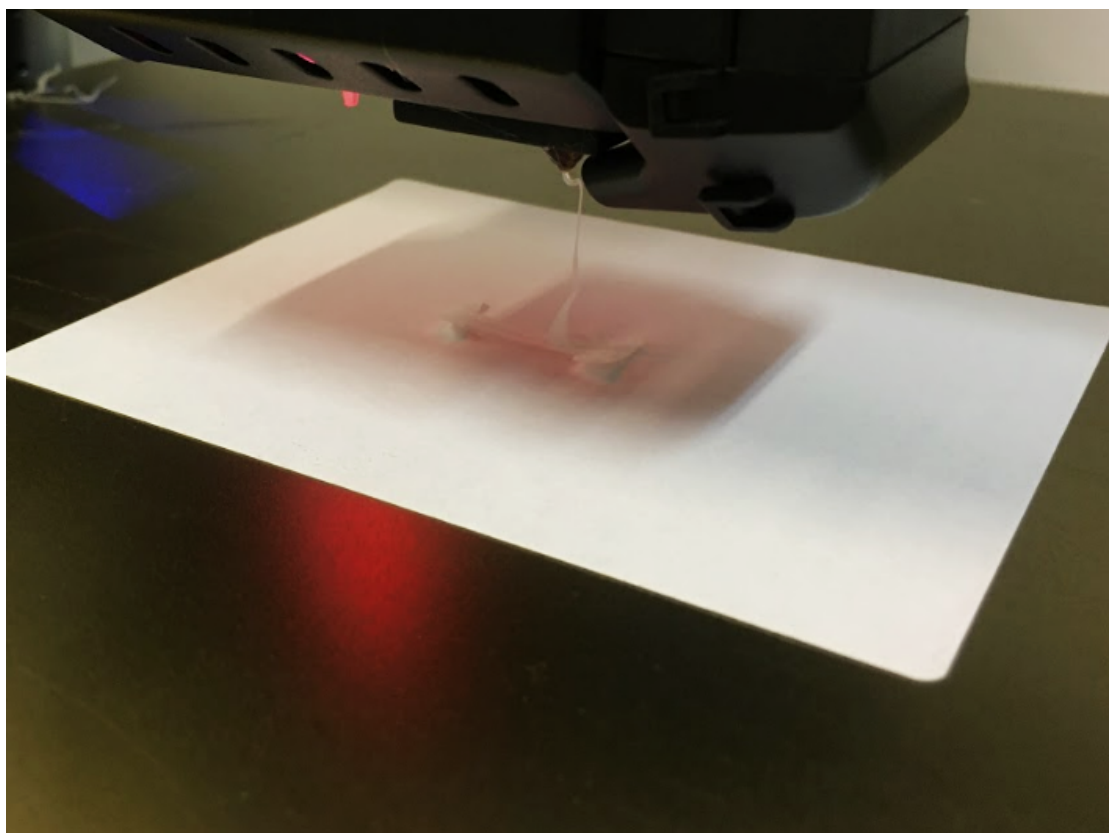
Figura 17 – Primeira impressão direto sobre a mesa



Fonte : Autoria própria (2022).

Na segunda impressão sobre a etiqueta de papel colada diretamente sobre a mesa, o objetivo foi aumentar a porosidade da superfície para que o material fundido ao ser extrudado pelo bico aquecido se aderisse melhor à mesma. O resultado foi melhor que a impressão diretamente sobre a mesa, foram depositadas mais camadas que a primeira impressão e o descolamento demorou mais para ocorrer, mas ocorreu, comprometendo a peça e sua impressão teve que ser interrompida. É possível observar o resultado na Figura 18.

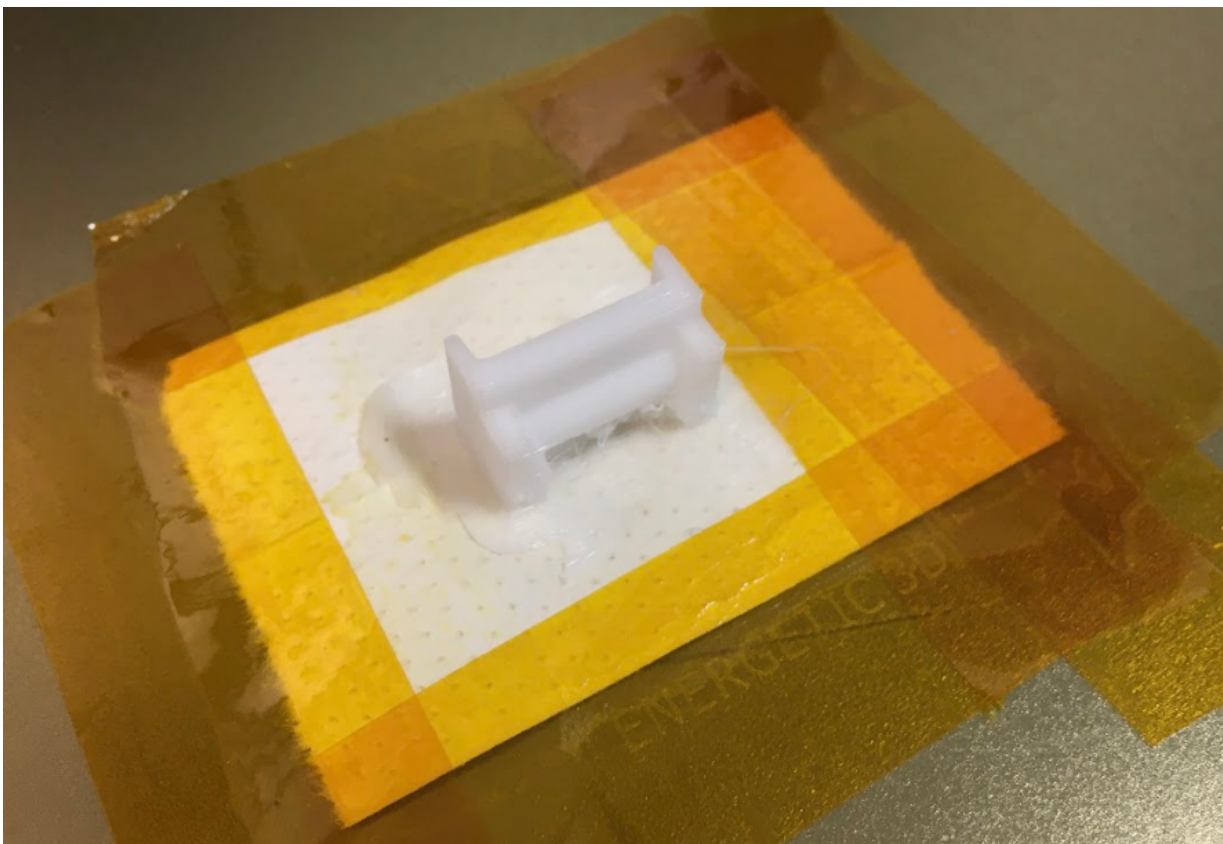
Figura 18 – Impressão sobre a etiqueta de papel



Fonte: Autoria própria (2022).

Na terceira tentativa, com a utilização do papel cartão de alta rugosidade, porém, diferente da etiqueta de papel, o mesmo não possui cola, para fixá-lo à mesa foi utilizado uma fita adesiva para alta temperatura, foi nessa terceira tentativa que foi possível imprimir uma peça inteira. É possível observar o resultado da peça impressa na Figura 19, porém ocorreu um descolamento parcial e a base da peça ficou comprometida.

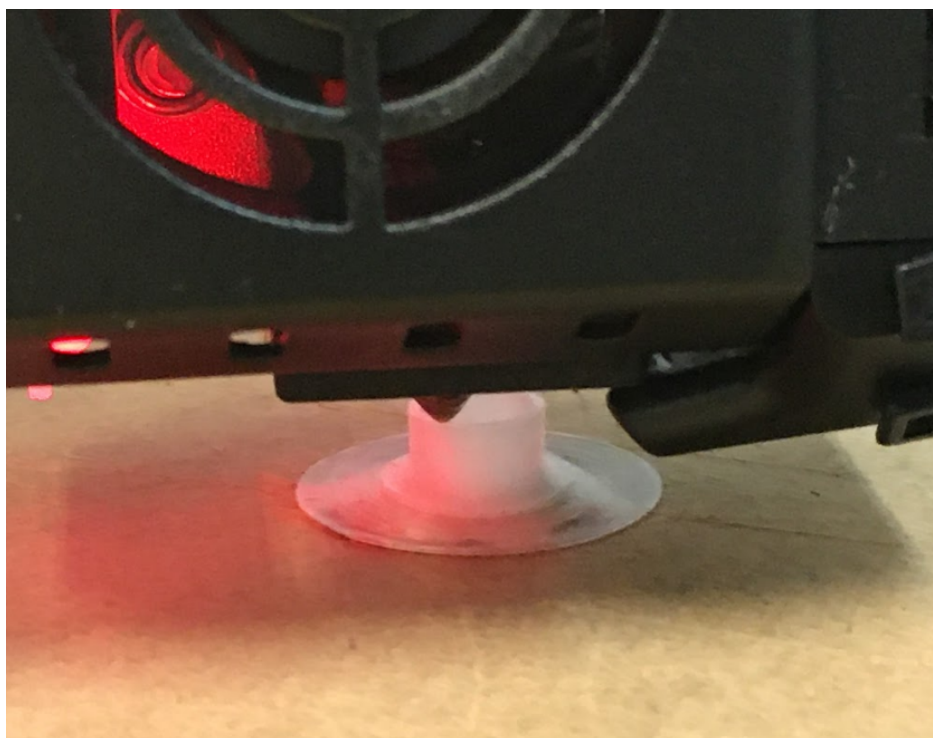
Figura 19 – Impressão feita sobre o papel cartão



Fonte: Autoria própria (2022).

Diante da mudança da geometria adotada, tendo em vista que a questão de aderência ainda não estava resolvida, optou-se pela utilização de uma placa de MDF (do inglês Medium-density fiberboard), da mesma maneira que a opção utilizada na impressão anterior, o MDF foi colado com fita adesiva para alta temperatura, esta foi a quarta impressão feita. O resultado da impressão pode ser observado na Figura 20.

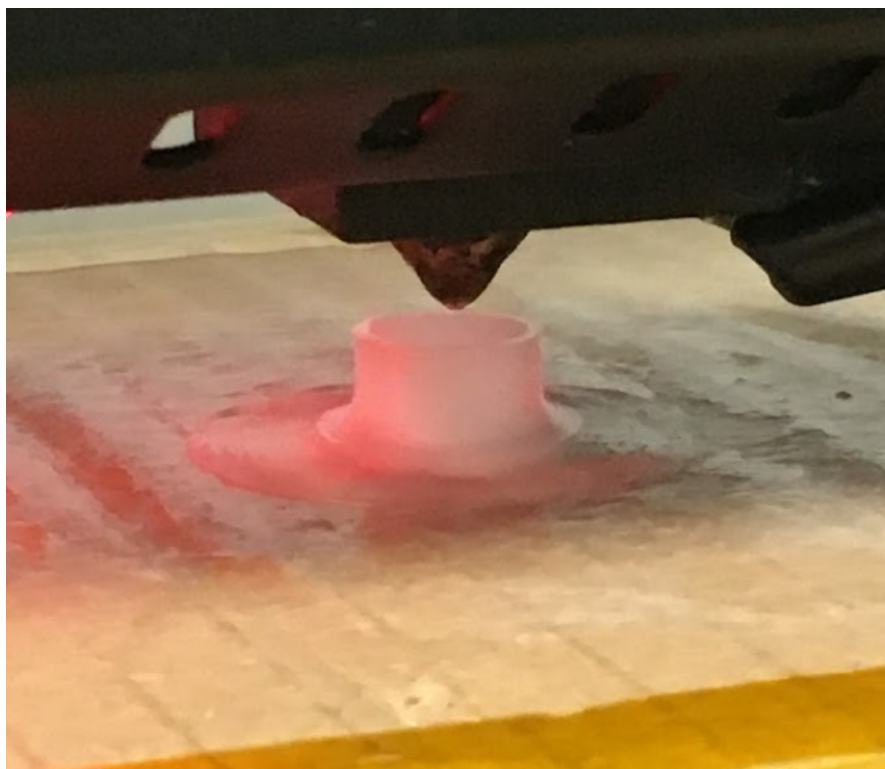
Figura 20 – Impressão sobre o MDF



Fonte: Autoria própria (2022).

Após os resultados da impressão tendo utilizado a base de MDF, que foi muito satisfatório, optou-se pela quinta impressão, desta vez utilizando a base de papelão, da mesma forma que as duas últimas, fixando a mesma à mesa de impressão com a fita adesiva para alta temperatura. É possível visualizar o resultado desta impressão na Figura 21.

Figura 21 – Impressão sobre o papelão



Fonte: Autoria própria (2022).

Para a sexta impressão, foi utilizado madeira maciça, foram cortados pedaços de 10mm de espessura, fixados à mesa da mesma maneira que as anteriores, com fita adesiva para alta temperatura, o resultado da impressão é possível observar na Figura 22.

Figura 22 – Impressão sobre a madeira maciça



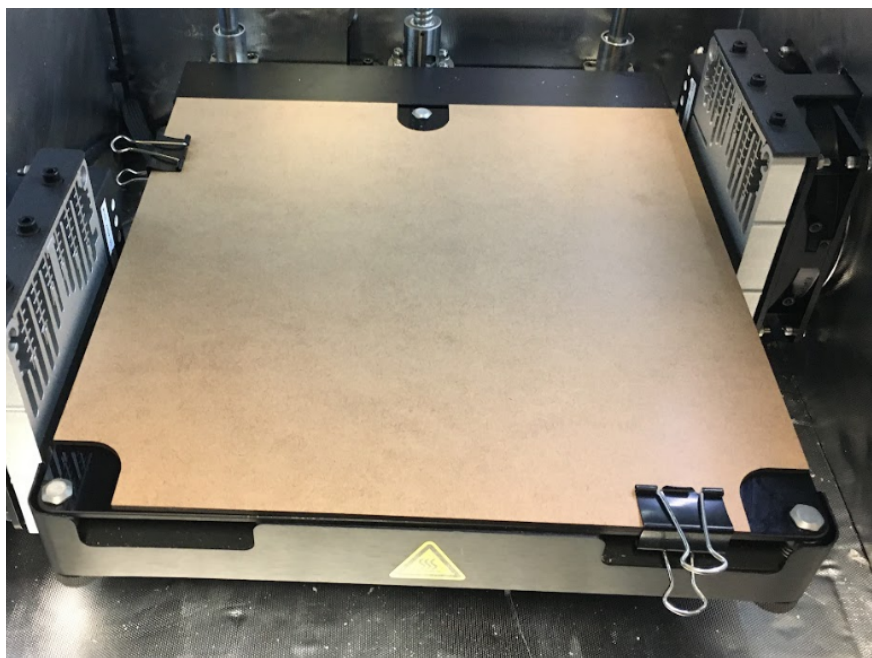
Fonte: Autoria própria (2022).

Ao analisar as seis impressões feitas inicialmente, é possível concluir que para impressões de geometrias simples, com paredes finas, e densidade baixa, podem ser impressas em impressora comum, utilizando uma base mais porosa do que a mesa original da impressora, como papel de alta rugosidade, papelão, MDF ou madeira, porém conforme a geometria da peça vai se tornando mais complexa, com maior volume, à medida que o material esfriando ele vai ocasionando um efeito que é conhecido como *Warping* que é o levantamento das extremidades da peça, se desprendendo da base, comprometendo a peça.

Para as impressões na impressora de câmara fechada foram modelados e cortados na máquina de corte a laser folhas de MDF do formato da mesa de impressão da mesa para os primeiros testes de aderência, conforme Figura 23. O

mesmo foi fixado à mesa de impressora com prendedores de papel em metal de 30mm.

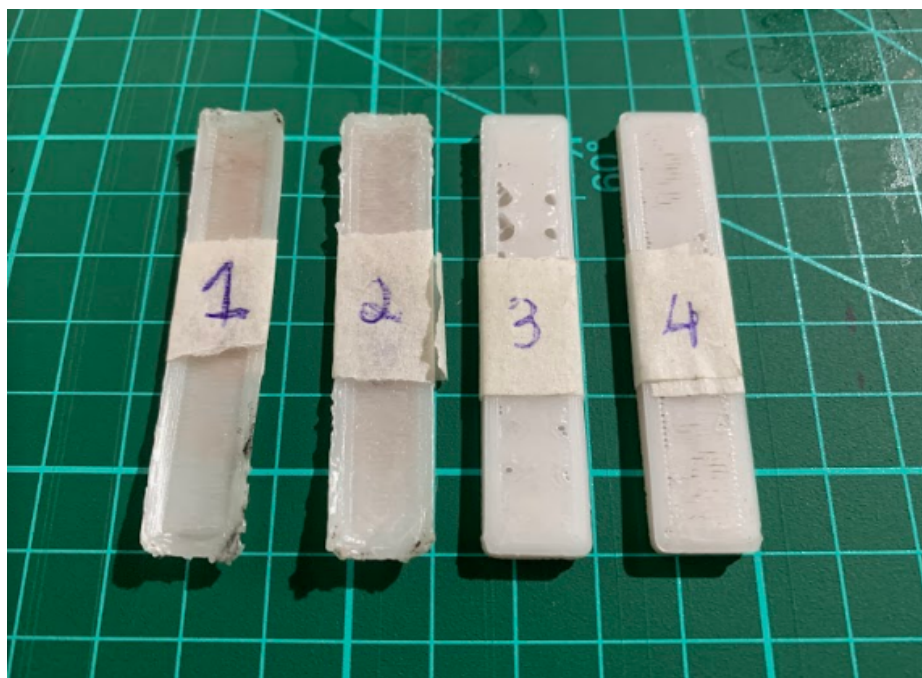
Figura 23 – MDF cortado no formato da mesa



Fonte: Autoria própria (2022).

Para os testes relacionados à aderência do poliacetal à mesa, foi utilizado o modelo de corpo de prova inicialmente com um preenchimento de 25%, após duas tentativas, a terceira aderiu à mesa, é possível observar peças de boa qualidade (em termos de adesão) nos números três e quatro, como é possível observar na Figura 24.

Figura 24 – Corpos de prova 1, 2, 3 e 4

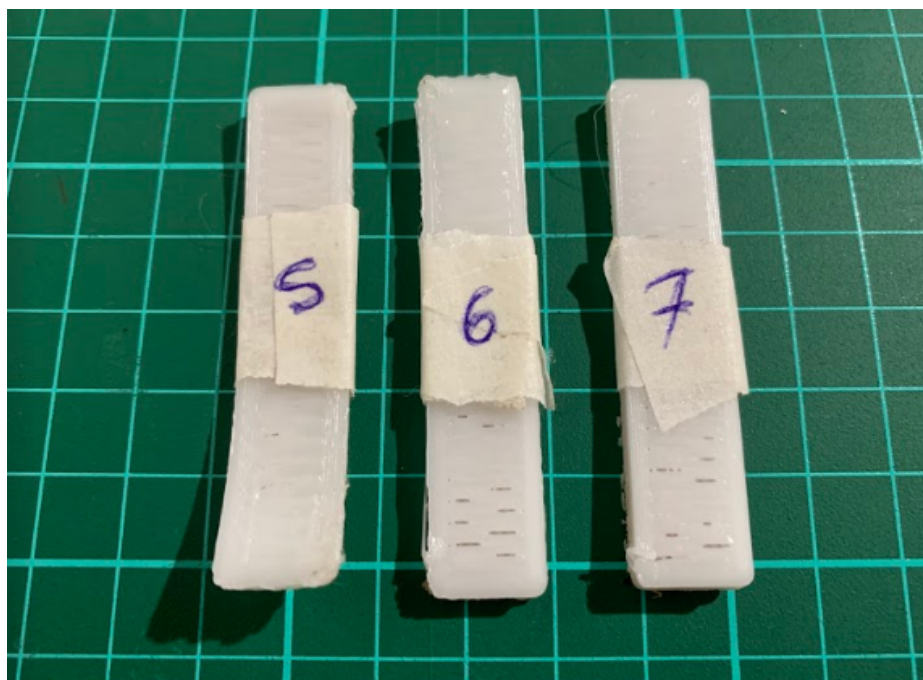


Fonte: Autoria própria (2022).

Porém, ao mudar o preenchimento das camadas iniciais de 0,4mm para 1,2mm o corpo de prova deixou de aderir, percebeu-se que quanto mais densa a peça for, mais ela se contrai. Ao fazer alguns ajustes na temperatura da câmara e da mesa observou-se uma melhora.

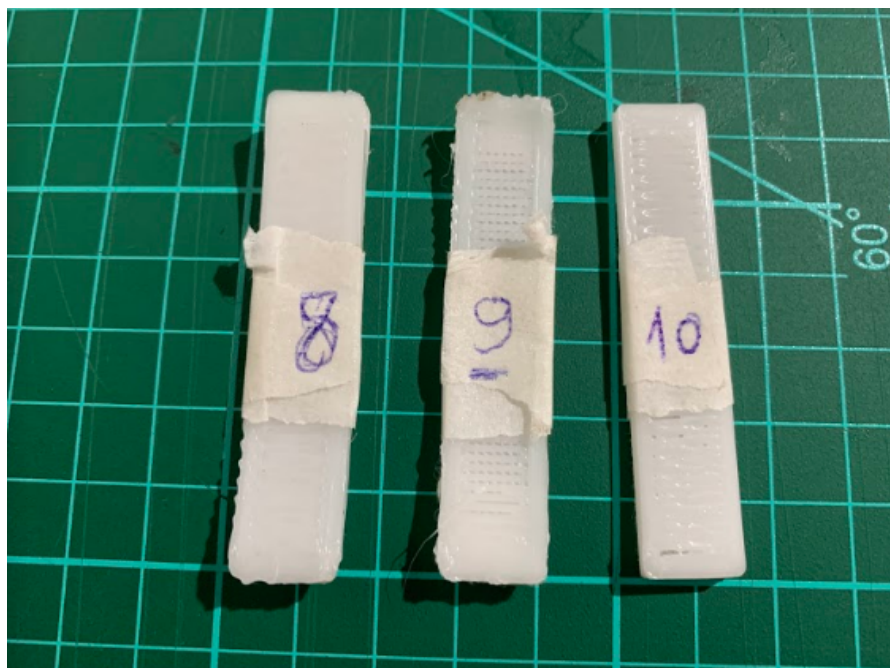
Após a alteração de alguns desses parâmetros de impressão, Quadro 6, foi possível observar algumas peças com qualidade superior, como é possível observar nas peças número 6 e 7 na Figura 25 e a peça 10 na Figura 26.

Figura 25 – Corpos de prova 5, 6 e 7



Fonte: Autoria própria (2022).

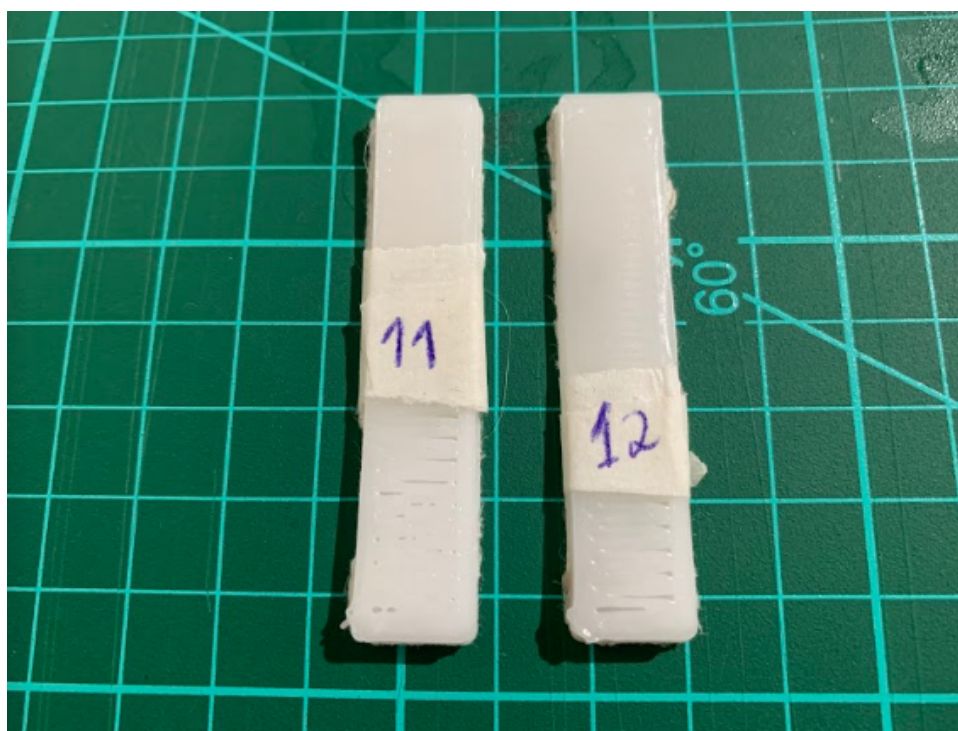
Figura 26 – Corpos de prova 8, 9 e 10



Fonte: Autoria própria (2022).

Com o avanço dos testes de aderência, e a elevação das temperaturas da mesa e câmara, foi possível observar que com o aumento da temperatura, a necessidade de uma base muito porosa foi diminuindo, até que a base de MDF foi substituída pela etiqueta de papel, então ocorreram mais alguns testes e mais alguns ajustes nas temperaturas, obtiveram-se peças com geometria esperada conforme CAD. Como é possível observar nas peças 11 e 12, na Figura 27.

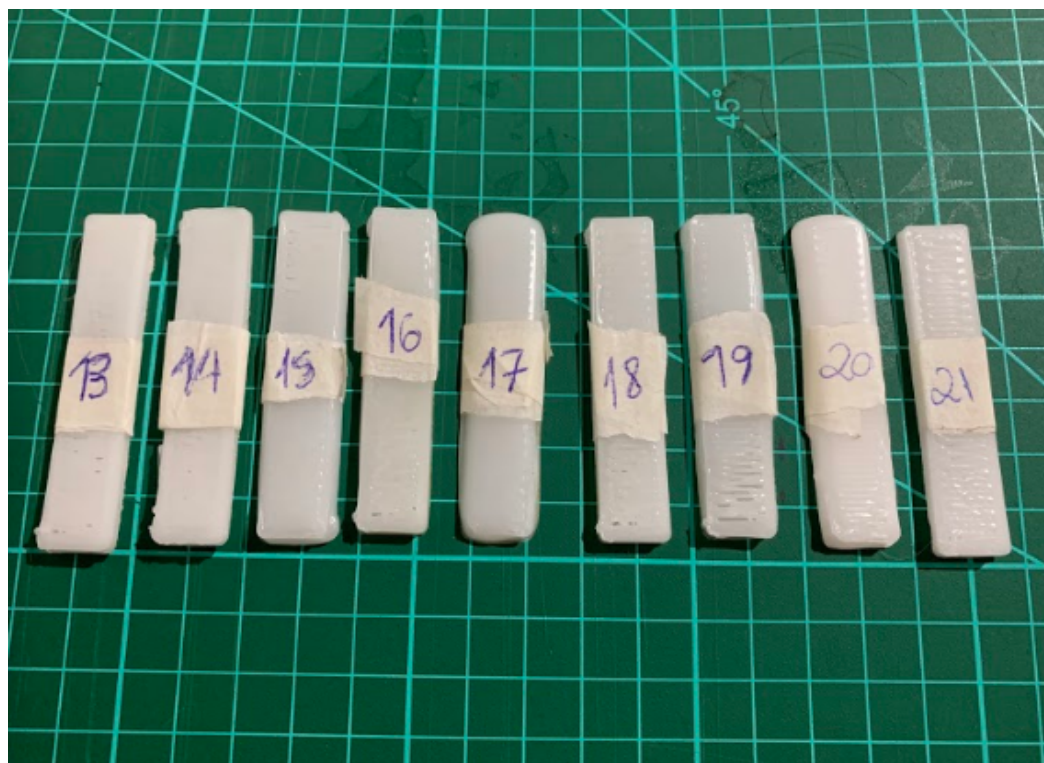
Figura 27 – Corpo de prova 11 e 12



Fonte: Autoria própria (2022).

Já nos 100% de preenchimento, a temperatura se elevou tanto que a peça fundiu, o que compromete toda a geometria da peça, é possível observar as peças 13 e 21 na Figura 28. Para corrigir este problema alguns parâmetros foram alterados e podem ser observados no Quadro 6, vale salientar que nos corpos de prova 17, 19 e 20 a temperatura se elevou muito, amolecendo a peça e comprometendo a geometria da mesma.

Figura 28 – Corpo de prova do número 12 ao número 21



Fonte: Autoria própria (2022).

No corpo de prova número 21 foi onde foi possível ter uma impressão aceitável, é possível observá-la na Figura 29, os parâmetros encontrados foram Bico extrusor 200°C, mesa de impressão 150°C e câmara 90°C. O preenchimento foi orientado como grade, as camadas iniciais e finais e espessura da parede ficaram com 1.2mm.

Figura 29 – Corpo de prova número 21



Fonte: Autoria própria (2022).

4.2 Resultados ensaios de impacto e tração

Através dos testes aplicados aos corpos de provas, foram obtidos dados e geradas as curvas e gráficos apresentados a seguir.

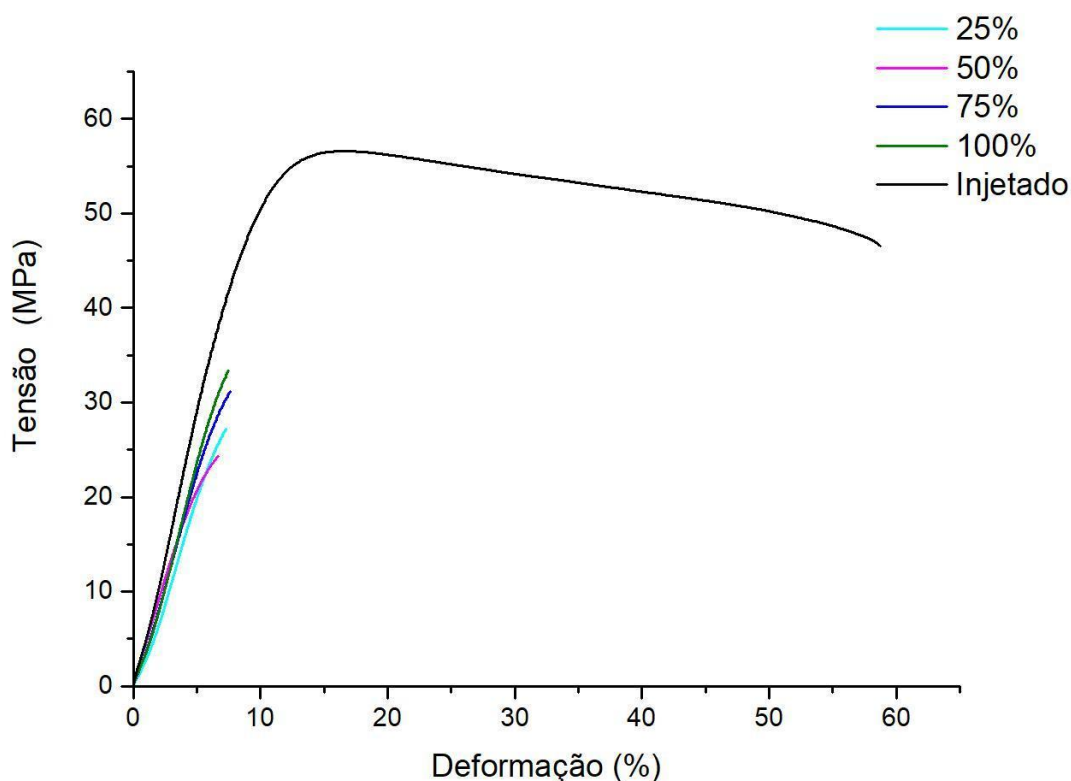
4.2.1 Curva Tensão vs. Deformação

Ao analisar as curvas de tensão vs. deformação na Figura 30 é possível perceber que todos os corpos de prova impressos tiveram um desempenho mecânico inferior aos corpos de prova injetados em termos de resistência mecânica

e na deformação até a fratura. É possível observar que a impressão 3D torna a peça mais frágil do que a injeção, independente do percentual de preenchimento interno.

Como a fabricação é feita com a sobreposição de camadas em pressões muito inferiores quando comparadas a injeção, é possível observar a deformação do corpo de prova impresso na curva em preto no gráfico da Figura 30. A impressão 3D invariavelmente introduz defeitos que refletem nas propriedades mecânicas do produto. Isto deve ser levado em consideração quando são produzidos componentes técnicos por impressão 3D.

Figura 30 - Gráfico Tensão vs. Deformação



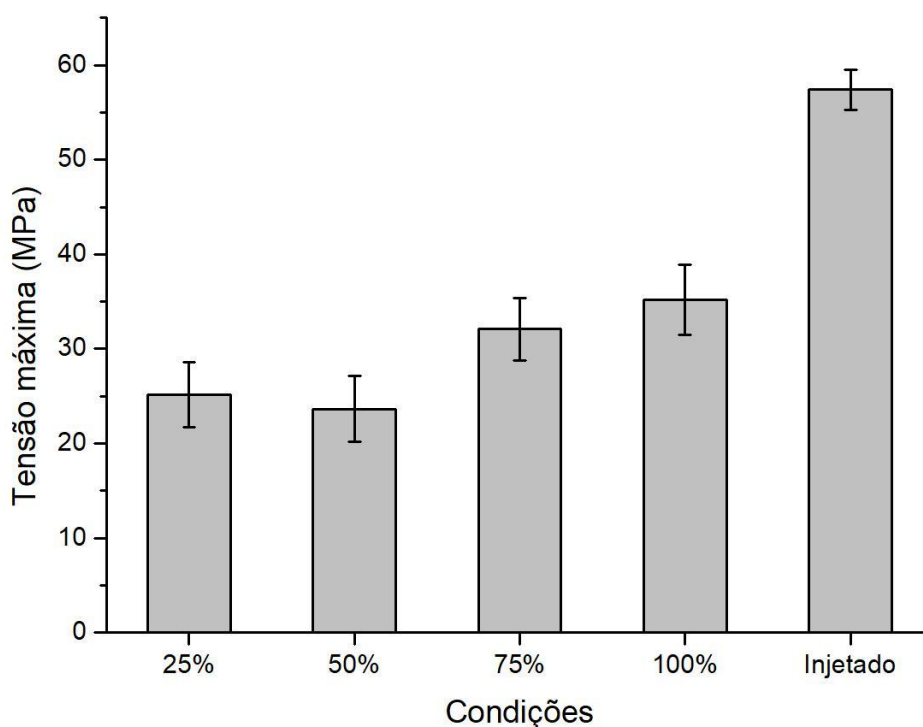
Fonte: Elaboração própria (2022).

4.2.2 Tensão máxima

Como é possível observar no gráfico da Figura 31 os corpos de prova injetados tiveram a maior resistência à tração na tensão máxima alcançando 57,4 MPa, sendo inferior ao valor de 64 MPa informado pelo fornecedor do filamento. A

resistência à tração dos corpos de prova impressos teve uma tendência de crescimento conforme o aumento do percentual de preenchimento interno. Por conta do alto desvio padrão apresentado nos ensaios, as condições 25% e 50% mantiveram-se num mesmo patamar de resistência sendo respectivamente, 56% e 59% abaixo da resistência do corpo de prova injetado. As condições 75% e 100% ficaram num patamar superior, estatisticamente diferente, alcançando resistências de 44% e 39% inferiores em relação à injetada.

Figura 31 – Gráfico da tensão máxima para as condições avaliadas.



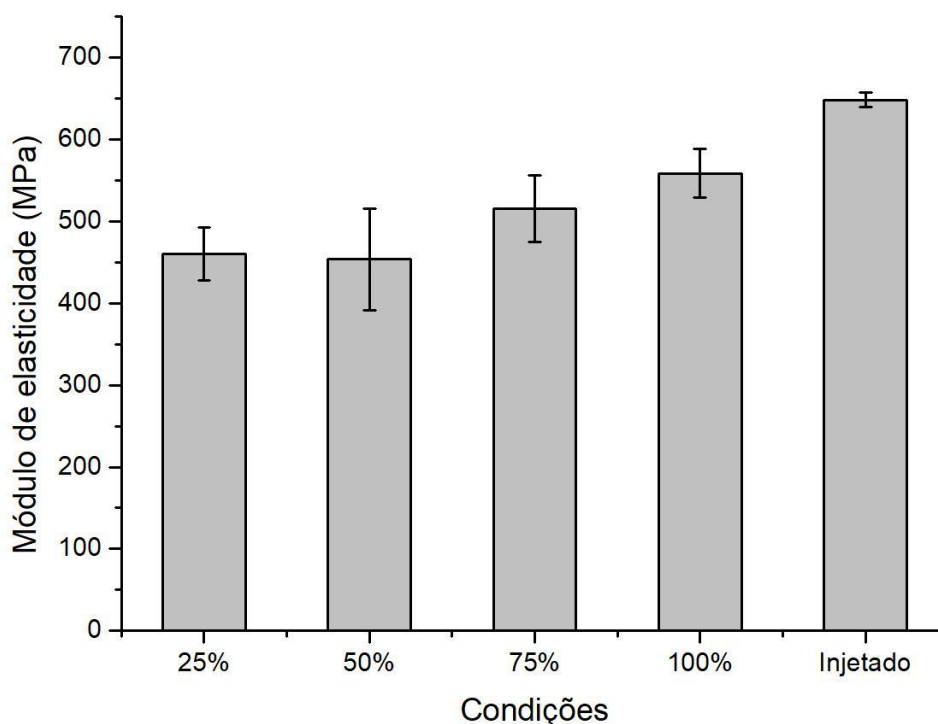
Fonte: Elaboração própria (2022).

4.2.3 Módulo de elasticidade

Na Figura 32 são mostrados os resultados do módulo de elasticidade para as condições avaliadas. A condição injetada manteve-se com o valor mais elevado, atingindo cerca de 650 MPa. Observou-se nas condições impressas uma tendência

para o aumento do módulo da resistência conforme o aumento do percentual de preenchimento, porém as perdas em relação ao injetado foram bem menores, sendo por exemplo, para a condição 100% de cerca de 15%. Destaca-se também a variação nos valores apresentados em cada condição injetada resultando em valores expressivos no desvio padrão.

Figura 32 – Gráfico do módulo de elasticidade para as condições avaliadas



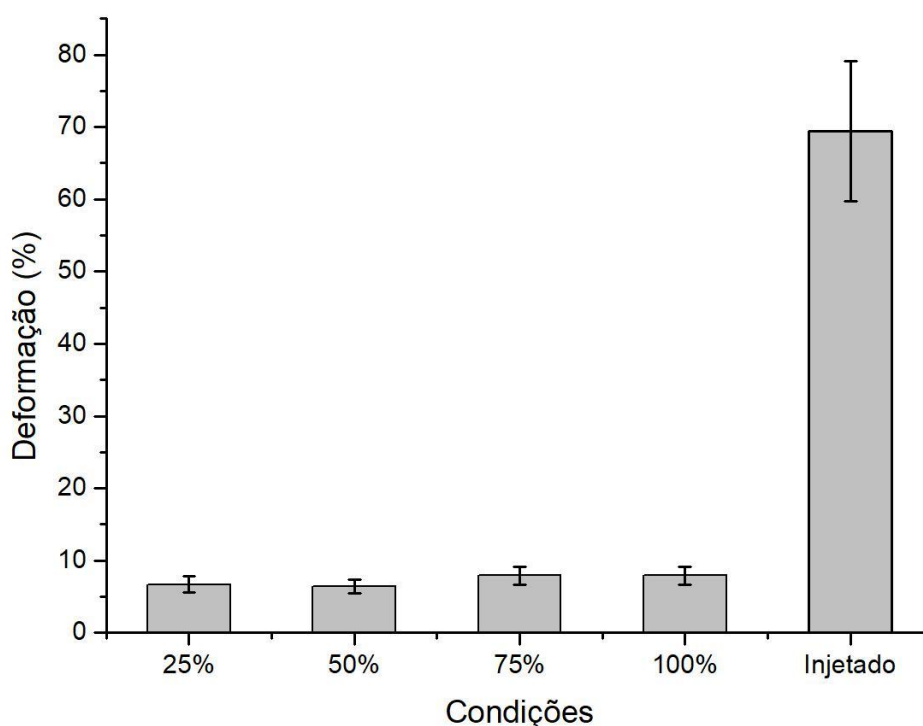
Fonte: Elaboração própria (2022).

4.2.4 Deformação

O gráfico da deformação para as condições avaliadas ilustra a grande diferença nos resultados dos corpos de prova impressos e o injetado já comentados na discussão do gráfico de tensão vs. deformação (Figura 30). As diferenças são

decorrentes do aspecto frágil apresentado nos corpos de prova impressos por conta da presença de maiores descontinuidades facilitando a ruptura em relação ao injetado. As condições impressas apresentaram deformação de cerca de 7%, sendo estatisticamente iguais. Para a condição injetada a deformação média foi de cerca de 60% com um desvio padrão de 10%, conforme gráfico ilustrado na Figura 33. A baixa deformação das peças impressas tem que ser levada em conta na fabricação das peças, pois essa deformação está diretamente ligada com a quantidade de energia que a peça absorve antes da ruptura.

Figura 33 – Gráfico da deformação para as condições avaliadas



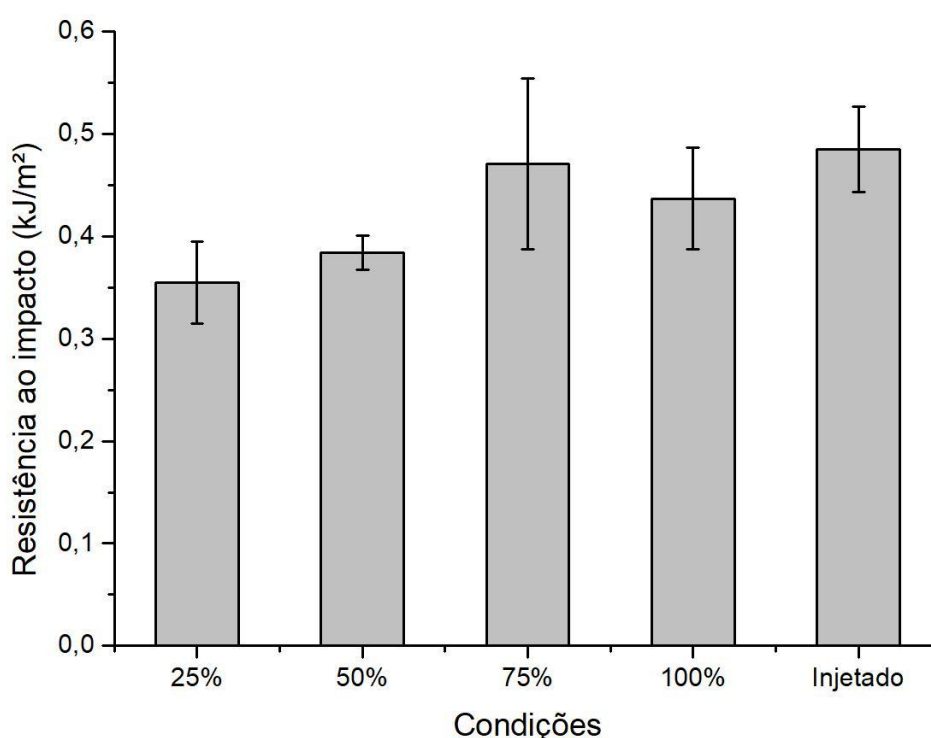
Fonte: Elaboração própria (2022).

4.2.5 Resistência ao impacto

No gráfico de resistência ao impacto Figura 34 é possível observar uma tendência de aumento da resistência à medida que o preenchimento aumenta, é notável também a proximidade dos valores dos corpos de prova impressos com 75%

e 100% com o injetado. Este efeito possivelmente esteja associado a estrutura interna dos corpos de prova impressos que invariavelmente apresenta vazios que podem auxiliar na absorção da energia de impacto. Também é necessário ser levado em conta que foi necessário a realização de acabamento nos entalhes impressos e podem ter ocorridos variações nos ângulos e tamanhos de entalhe. Esse fator pode ter prejudicado a correlação dos dados.

Figura 34 - Gráfico da resistência ao impacto para as condições avaliadas



Fonte: Elaboração própria (2022).

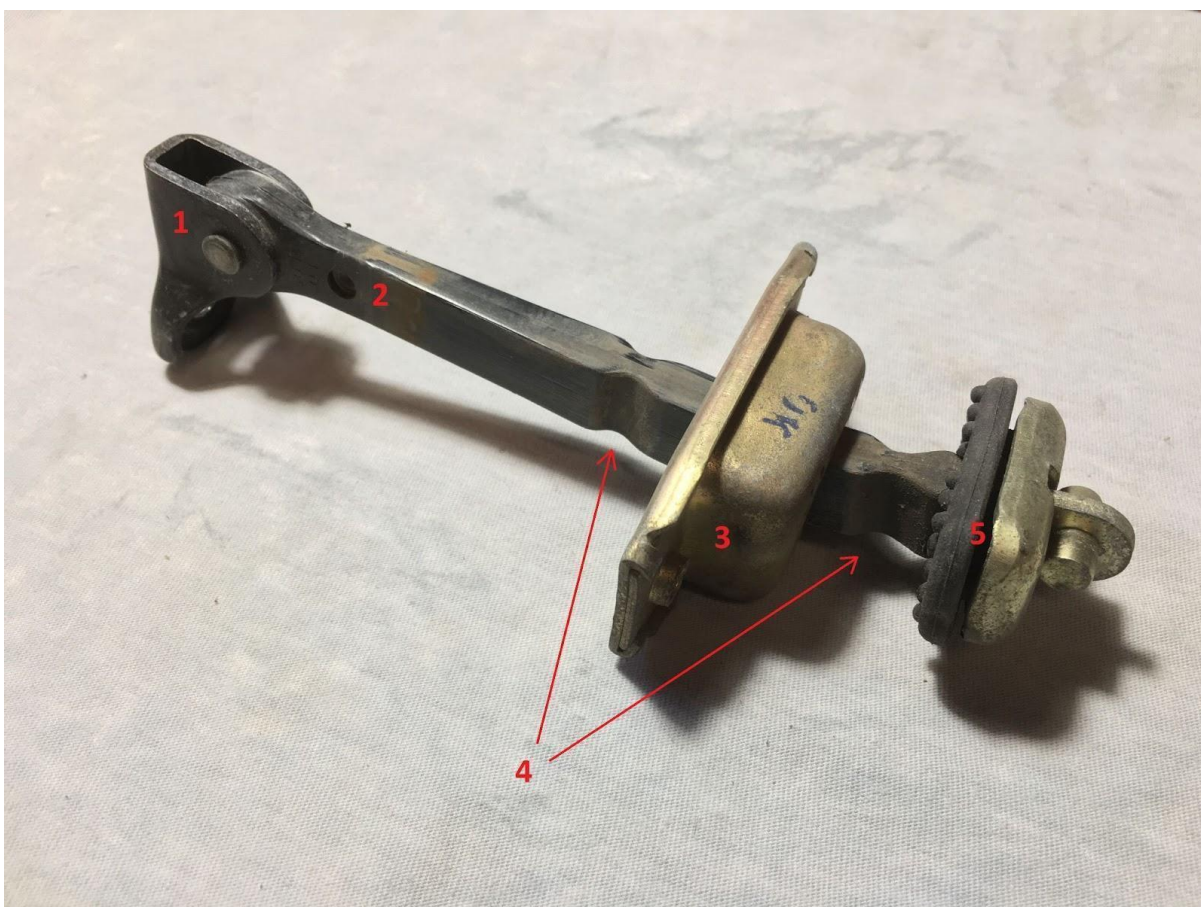
4.3 Estudo de caso

Neste estudo de caso, foi utilizado um componente mecânico de um veículo Honda Fit, primeira geração, que corresponde aos veículos fabricados de 2003 a 2008. O veículo estudado foi um com ano de fabricação de 2005. Por se tratar de um bem móvel com cerca de 18 anos de uso, alguns componentes mecânicos têm seus desgastes naturais, em especial, no estudo de caso, por se

tratar de um componente da porta, possui um elevado desgaste em decorrência do atrito, por conta do movimento de abrir e fechá-la.

O componente em questão é o limitador da porta (Figura 35). Trata-se de uma peça com estrutura principal composta de aço, com partes em borracha e em polímero. No caso, a parte polimérica é o objeto de estudo em questão.

Figura 35 - Limitador de porta Honda Fit 2005



Fonte: Autoria própria (2022).

Essa peça, o limitador, é composta por uma haste (Figura 35, item 2) onde uma extremidade possui a parte de fixação (Figura 35, item 1) que fica fixa na estrutura do veículo, e, na outra extremidade, fica o batente (Figura 35, item 5), composto de uma parte de aço e outra de borracha, para a absorção do impacto caso a parte móvel (Figura 35, item 3) chegue ao final. Esse batente limita o curso máximo da parte móvel da peça que fica fixa à porta, porém, quando a porta é aberta a mesma se desloca sobre a haste. Dentro da parte móvel ficam as peças

poliméricas que foram estudadas e que o componente estudado está destacado na Figura 36, item 1.

Figura 36 – Parte móvel limitador de porta



Fonte: Elaboração própria (2022).

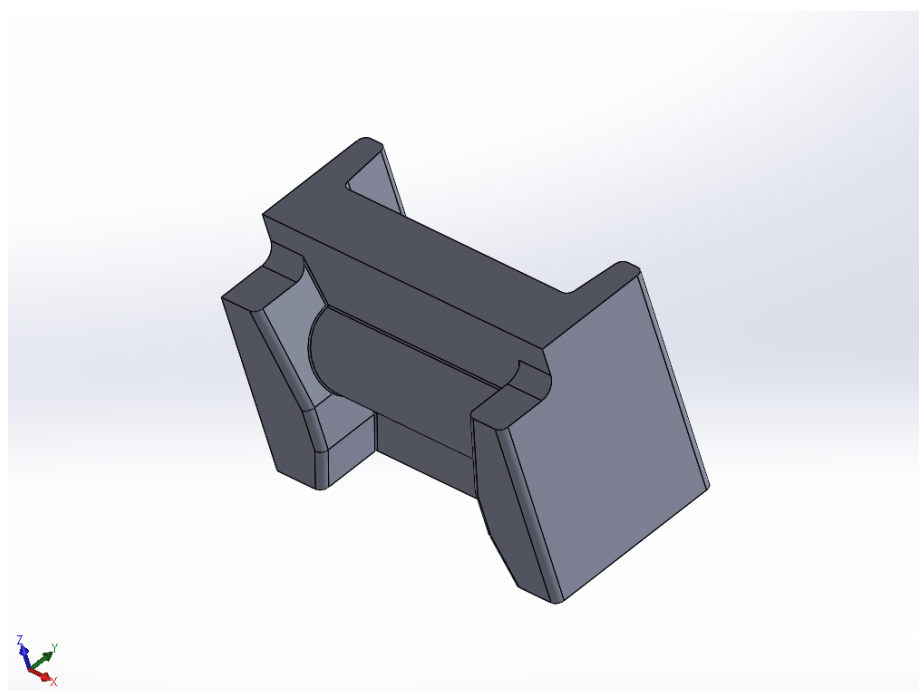
O limitador da porta, além de impedir que a mesma seja aberta além do seu limite para não danificar a dobradiça, tem a função de manter a porta aberta em duas posições diferentes delimitadas por ranhuras transversais, conforme a Figura

35, item 4. A peça quando desgastada continua desempenhando a função de não deixar a porta ultrapassar o limite máximo, porém, a função de manter a mesma em duas posições fixas se torna ineficiente, fazendo com que ela feche sozinha. O defeito ocorre principalmente por conta do desgaste da nervura da peça estudada, feita de polímero.

A proposta abordada neste trabalho de conclusão de curso foi avaliar a fabricação, por meio da Manufatura Aditiva, de um reparo para a substituição das partes poliméricas que compõem a peça, para que a substituição por completo da peça em questão não seja mais necessária, essa opção visa a diminuição do custo de manutenção, e a preservação da peça original do veículo.

Para o estudo de caso em questão, fez-se necessária a remoção e desmontagem da peça da porta primeiramente do motorista, conforme figura e utilizou-se a técnica de engenharia reversa para que a digitalização do reparo fosse possível. O software utilizado para a modelagem do reparo foi o Solidworks versão 2019, para isso foram feitas medições com um paquímetro analógico de resolução 1/20mm. O resultado da modelagem 3D pode ser observado na Figura 37.

Figura 37 – Modelagem do reparo no software *Solidworks*



Fonte: Elaboração própria (2022).

4.3.1 Teste das peças do estudo de caso

Os reparos impressos tendo como base os 3 materiais, ABS, PET-G e POM, foram instalados nas respectivas peças e testados durante 30 dias, o automóvel esteve sob uso comum de dia a dia, e foi utilizado para tarefas diárias, e como a atuação da peça em questão está mais relacionada ao abrir e fechar a porta. Estima-se que a mesma seja aberta e fechada em torno de 20 vezes por dia. Após esses 30 dias foram removidos e foi possível fazer uma análise qualitativa de cada uma delas, sua aparência, funcionalidade e danos causados pelo uso. As Figuras 38, 39 e 40 são as peças de ABS, PET-G e POM respectivamente.

Figura 38 – Defeitos em reparo feito em ABS após testes



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 39 - Defeitos em reparo feito em PET-G



Fonte: Autoria própria (2022).

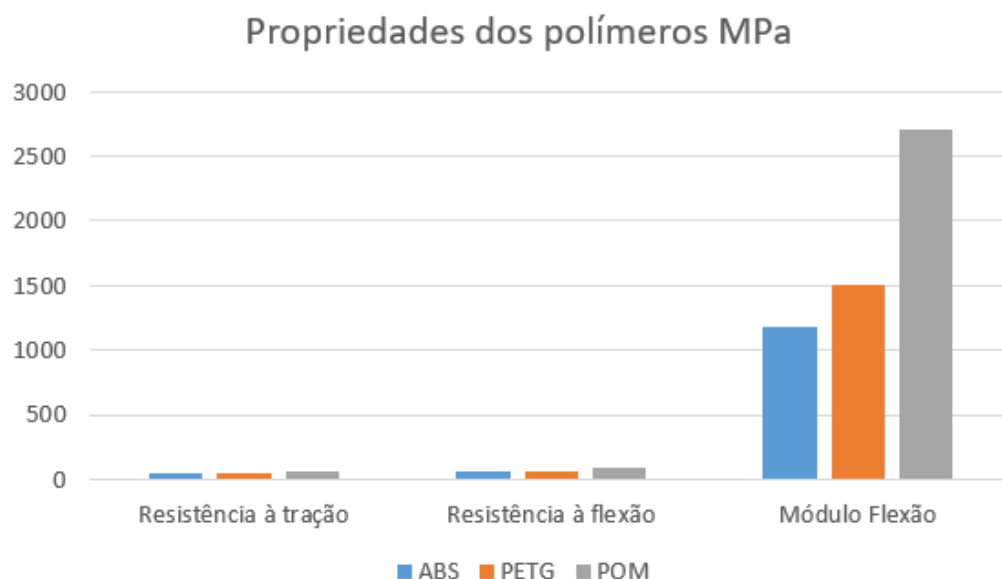
Figura 40 – Defeitos em reparo feito em POM



Fonte: Autoria própria (2022).

Ao analisar as figuras dos reparos após o uso, é perceptível que o POM se destaca em relação aos outros polímeros. É possível observar no gráfico da Figura 41 que esse material tem propriedades muito melhores para estas aplicações do que os outros materiais.

Figura 41 – Gráfico gerado a partir dos dados do site eSun 3D



Fonte: Adaptado de eSun 3D (2022)

No Quadro 7 é possível observar que após os testes das peças impressas, que foram avaliadas qualitativamente em relação ao desgaste aparente, descolamento de camadas e quebra de alguma parte da peça.

Quadro 7 – Comportamento das peças do estudo de caso

	ABS	PET-G	POM
Quebra da peça	Sim	Não	Não
Desgaste aparente	Sim	Sim	Não
Descolamento de camadas	Descolou	Não descolou	Não descolou

Fonte: Elaboração própria (2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista o objetivo principal deste trabalho que foi avaliar as vantagens da utilização da impressão 3D como método de fabricação para obtenção peças e itens para reparo de peças mecânicas. Após os resultados dos testes de aderência, impacto e tração, a análise dos gráficos e o estudo de caso concluiu-se que, a utilização da impressão 3D para fins de fabricação de itens e reparos é possível, porém, deve-se levar em conta que para a utilização deste método de fabricação com polímeros de engenharia, como o POM é necessário a utilização de impressoras de alto desempenho, com câmara fechada e capacidade de atingir parâmetros condizentes com os encontrados nesta pesquisa.

Para a aderência concluiu-se que uma manutenção rigorosa da temperatura da peça se faz necessária, para isso, a temperatura da mesa de impressão deve estar em torno de 150°C, quanto a câmara deve estar com sua configuração de temperatura próxima aos 90°C encontrados, a temperatura do bico deve estar em torno de 200°C e a utilização de uma etiqueta autocolante é necessária para a aderência das primeiras camadas.

Por meio dos testes de resistência ao impacto e resistência a tração nos corpos de prova impressos e injetados foi possível obter algumas informações importantes, uma delas é a proximidade do módulo de elasticidade dos corpos de prova, ou seja, os corpos de prova impressos têm uma rigidez aproximada dos corpos de prova injetados. A outra é que as peças impressas apresentaram uma tenacidade menor do que as peças injetadas, ou seja, as peças impressas, absorvem uma quantidade de energia menor do que as peças injetadas, levando-as a romper mais rápido.

Diante do estudo de caso feito foi possível concluir que a utilização da impressão 3D para a fabricação utilizando o poliacetal, é viável. E que o poliacetal para a aplicação em questão se destacou dos outros materiais (ABS e PET-g) em relação aos requisitos exigidos pela aplicação, porém deve-se levar em conta as limitações que o estudo de caso teve.

Portanto conclui-se que a fabricação de itens e reparos para peças pelo método construtivo da impressão 3D, camada por camada, não confere à peça a

mesma resistência mecânica do que uma peça injetada. Também deve-se atentar para a geometria da peça e os esforços mecânicos que a mesma será submetida.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Tendo em vista o comportamento das peças que neste trabalho foram feitas e testadas tendo como material, o POM, e os resultados encontrados, as sugestões para trabalhos acadêmicos futuros que usem este como referencial, é a mudança das orientações de impressão, para a obtenção de novos corpos de prova para testes de resistência à tração e resistência ao impacto. Tendo assim a possibilidade de avaliar as influências que as orientações de impressão teriam sobre o comportamento dos corpos de prova nos testes mecânicos.

Sugere-se a utilização de outros polímeros de engenharia e o estudo relacionado às técnicas de impressão, aderência, orientação e parâmetros de outros polímeros de engenharia, como o Poliamida. Deve-se atentar para um fato importante, em relação ao teste de resistência ao impacto, os entalhes não devem ser feitos no modelo 3D, mas sim usinados de forma convencional, assim como foram feitos nos injetados, isto para que a correlação dos dados não seja alterada.

Em relação ao estudo de caso feito neste trabalho, recomenda-se o desenvolvimento de um método de testagem cíclica de uma peça produzida por esse meio de fabricação, tendo em vista que a utilização da peça reparada neste estudo esteve sob utilização cotidiana e não sob uma testagem programada, para que sejam embasadas as propostas levantadas em todo o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso.

REFERÊNCIAS

ALVES, Tamires Pereira *et al.* Utilização da engenharia reversa e da manufatura aditiva na fabricação de peças de reposição: Uma alternativa para manutenção de equipamentos médico - hospitalares. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ponta Grossa - PR, jun. 2020. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/15106/209209213708>. Acesso em: 19 jun. 2022.

BARBOSA, J. M.; FONSECA, M. B. A. da; SABBADINI, F. S. A evolução da remanufatura na Economia Circular: um panorama acadêmico-tecnológico. *Research, Society and Development*, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/31163>. Acesso em: 15 nov. 2022.

COSTA, Rafael Victor Pires. **Caracterização do comportamento mecânico de engrenagens poliméricas produzidas por manufatura aditiva**. 2021. 56 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto - MG, 2021. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/3303/6/MONOGRAFIA_Caracteriza%C3%A7%C3%A3oComportamentoMec%C3%A2nico.pdf. Acesso em: 15 jun. 2022.

IGNACIO, Fraguas Muro *et al.* Adhesion improvement in 3D printing through atmospheric plasma. *In: D INTERNATIONAL CONGRESS ON PROJECT MANAGEMENT AND ENGINEERING*, 22, 2018, Madri. **Artigo**. Madri: AEIPRO, 2018. p. 999-1010. Disponível em: http://dspace.aepro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/1721/AT03-037_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10 jun. 2022.

LEITE, David Timóteo Carrilho *et al.* A nanotecnologia e a rastreabilidade de peças remanufaturadas de veículos. **Revista Fumec**, São Paulo, jul. 2020. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/pretexto/article/view/6091>. Acesso em: 01 jul. 2022.

MANO, Eloisa Biasotto. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Blucher, 1991

MORANDINI, Moisés Miranda; VECHIO, Gustavo Henrique del. Impressão 3D, tipos e possibilidades. **Revista Interface Tecnológica**, São Paulo, dez. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.31510/infa.v17i2.866>. Acesso em 05 jul. 2022.

SIMIELLI, Edson R.; SANTOS, Paulo A. **Plásticos de engenharia: Principais tipos e sua moldagem por injeção**. São Paulo: Artliber, 2010.

TRISTÃO, Hécio Martins (org.). **Tópicos em gestão da produção**. Belo Horizonte: Passion, 2017.

VOLPATO, Neri. **Manufatura Aditiva:** Tecnologias e aplicações da impressão 3D. 1ª ed. São Paulo: Blucher Editora, 2017.