

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA
FONSECA – CEFET/RJ – DEMEC
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**SISTEMA DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS PROVENIENTES DE MANUFATURA
ADITIVA, VISANDO À PRODUÇÃO DE FILAMENTOS DESTINADOS À
IMPRESSÃO 3D**

NATAN CYTRYNBAUM

Professor Orientador: Leydervan Xavier, D.C.

RIO DE JANEIRO

2021

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA
FONSECA – CEFET/RJ – DEMEC
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**SISTEMA DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS PROVENIENTES DE MANUFATURA
ADITIVA, VISANDO À PRODUÇÃO DE FILAMENTOS DESTINADOS À
IMPRESSÃO 3D**

NATAN CYTRYNBAUM

Projeto final apresentado em cumprimento às normas do Departamento de Educação Superior do CEFET/RJ, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Professor Orientador: Leydervan Xavier, D.C.

RIO DE JANEIRO

2021

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

C997 Cytrynbaum, Natan

Sistema de reciclagem de resíduos provenientes de manufatura aditiva, visando à produção de filamentos destinados à impressão 3D / Natan Cytrynbaum – 2021.
xiii, 47f. : il.color. + anexos ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2021.

Bibliografia: f. 47

Orientador: Leydervan Xavier

1. Engenharia mecânica. 2. Reciclagem. 3. Filamento. 4. Impressão 3D.
I. Xavier, Leydervan (Orient.). II. Título.

CDD 620.1

Dedico este trabalho aos meus pais, Ricardo e Heloisa, que nunca mediram esforços para me proporcionarem as melhores oportunidades de Educação.

Natan Cytrynbaum

AGRADECIMENTOS

Gostaria de neste espaço agradecer às pessoas que passaram por mim e somaram em meu crescimento pessoal, acadêmico e profissional. A esses, minha eterna gratidão por despenderem de seu precioso tempo para me ensinar algo.

À minha família, que sempre me apoiou em todo o período dessa longa jornada em busca do título de Engenheiro.

Ao meu orientador Prof. Leydervan de Souza Xavier, por ter aceitado esse desafio me auxiliar e desenvolver um protótipo em condições tão adversas, jamais vivenciadas.

E a todos os meus colegas, amigos e demais professores, que me acompanharam ao longo da Graduação. Sem eles, essa jornada seria ainda mais árdua.

RESUMO

CYTRYNBAUM, Natan **Sistema De Reciclagem De Resíduos Provenientes De Manufatura Aditiva, visando à Produção De Filamentos Destinados à Impressão 3d** 2021. (79 páginas). Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2020.

O projeto tem como objetivo desenvolver um sistema de bancada para reciclagem de filamentos para impressão 3D, utilizando peças de fácil acesso e de montagem facilitada. Tendo como principal finalidade a reciclagem de insumos impressos anteriormente, porém sucateados por motivos variados. A motivação para tal projeto foi desencadeada pela percepção de que os usuários de impressão 3D nada podem fazer com resíduos por ela gerados e com a conscientização de que pouco se tem feito para a reciclagem de polímeros, que poluem o meio ambiente e são de modo geral, de difícil degradação. Por isso, propõe-se uma alternativa para esses resíduos que contemple os requisitos de simplicidade e praticidade, compatível com a tendência de uso em pequena escala das impressoras 3D, por usuários individuais atuando fora do contexto das grandes empresas. Foram desenvolvidos vários protótipos a partir de componentes comerciais e outros fabricados até a consolidação de um sistema efetivo. Em cada fase de desenvolvimento foram feitos testes para determinação das variáveis de controle do processo e determinação do melhor do ajuste do sistema eletrônico de controle concebido. Os resultados, embora ainda não sejam propícios para serem utilizados nas impressões, são promissores para concepção e produção de equipamentos comercializáveis.

Palavras-chave: Extrusora. Filamento. Impressão 3D. DIY. Reciclagem, Arduino.

ABSTRACT

The project has the goal to develop a desk system of 3D printing recycling, using easy finding parts and easy assembly. The main goal is the recycling of inputs printed previously, but scrapped for various reasons. The motivation to this project was aligned to the perception that 3D printer users are not able to reuse their waste and the awareness that people are doing a little for polymers recycling, that pollutes the environment and are in a general way, of hard degradation. Therefore, proposes an alternative for this waste that contemplate the requirements of being simple and practically, compatible with the trend of small 3D printers by individual users that acts outside the big corporation scenario. Many prototypes were developed using commercial and manufactured components till the consolidation of an effective system. On each phase of development tests were made to define the process controls variables and the best adjust to the electronic control system designed. The results, although they are not good to 3D printing yet, they are promising to design and manufactory of commercial equipment.

Keywords: Extruder. Filament. 3D prints. DIY. Recycle. Arduino

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Modelo Esquemático de FDM.	2
Figura 2 - Suportes de impressão.	3
Figura 3 - Ciclo de vida dos materiais.	6
Figura 4 - Casa Impressa em 3D no Rio Grande do Norte.	7
Figura 5 - Produção anual de ABS.	8
Figura 6 - Consumo mundial de ABS.	9
Figura 7 - Decomposição de talher plástico de PLA.	10
Figura 8 - Ensaio de tração em filamentos.	10
Figura 9 - A extrusora Lyman.	12
Figura 10 - Extrusora Filmaq3D.	13
Figura 11 - FelFil EVO.	14
Figura 12 - FelFil Spooler.	14
Figura 13- Esquemático do Sistema.	15
Figura 14 - Eixos montados com facas.	16
Figura 15 - Tela furada instalada no fundo do mecanismo.	16
Figura 16 - Diferença entre plástico triturado sem tela calibrada (esquerda) e com tela calibrada (direita).	17
Figura 17 - Modelo de extrusora de plástico.	18
Figura 18 - Motor NEMA 17.	19
Figura 19 - Motor de Limpador de Parabrisa.	20
Figura 20 - Motor alto torque com caixa de redução JGY 370.	20
Figura 21 - Broca de pua de 7/8" X 280mm.	21
Figura 22 - Extrusora convencional.	22
Figura 23 - Matriz extrusora com cartuchos acoplados.	23
Figura 24 - Cartucho Aquecedor.	23
Figura 25 - Termopar tipo K e módulo Max6675.	24
Figura 26 - Bomba Boyu SP-500.	24
Figura 27 - Conversão de Escala de Dureza.	26
Figura 28 - Mecanismo de bobinamento modelado no Solidworks.	27
Figura 29 - Broca SDS Plus-5X.	28
Figura 30 - Rasgo de alimentação.	29
Figura 31 - Interface de alimentação modelada no Solidworks.	29
Figura 32 - Sistema de alimentação.	30

Figura 33 - Matriz extrusora.	30
Figura 34 - Montagem do protótipo (vista superior).	31
Figura 35 - Montagem do protótipo (vista frontal).	31
Figura 36 - Configuração com 2 cartuchos.	32
Figura 37 - Diferença entra a broca e parede interna do tubo.	33
Figura 38 - Tarugos em Aço Inoxidável	33
Figura 39 - Matriz com acoplamentos	34
Figura 40 - Montagem do flange	34
Figura 41 - Montagem Segunda Versão	35
Figura 42 - Material escorrido	35
Figura 43 - Resultado do gotejamento	36
Figura 44 - Ponta extrusora em latão	37
Figura 45 - Gráfico de transição vítrea dos materiais	38
Figura 46 - Filamento extrudado a 130°C	38
Figura 47 - Comparação de filamento da 3DProcer à esquerda e o extrudado à direita	39
Figura 48 - Manta térmica	39
Figura 49 - Gráfico Efeito do Isolante Térmico	40
Figura 50 - Terceira versão, vista lateral	41
Figura 51 - Terceira versão, vista superior	41
Figura 52 - Quarta versão do protótipo	42
Figura 53 - Módulo ACS712 30A	43
Figura 54 - Gráfico da Corrente no Sistema	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades de Matéria Prima.	11
Tabela 2 - Especificações Técnicas NEMA 17.	19
Tabela 3 - Especificação técnica do motor alto torque JGY 370.	20
Tabela 4 - Temperatura de Transição Vítrea PLA. Adaptado de SD3D	37
Tabela 5 - Comparativo de Equipamentos	45

Lista de Acrônimos

ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
CAD	Computer-Aided Design
COVID-19	Corona Virus Disease
DIY	Do It Yourself
EVA	Espuma Vinílica Acetinada
FDM	Fused Deposition Modeling
PETG	Polyethylene Terephthalate Glycol
PLA	Ácido Polilático

SUMÁRIO

1. ... INTRODUÇÃO	1
1.1. MOTIVAÇÃO	3
1.2. OBJETIVO	4
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	4
2. ... REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. MATERIAIS POLIMÉRICOS PARA IMPRESSÃO 3D	6
2.1.1. ABS	7
2.1.2. PETG	9
2.1.3. PLA	9
2.1.4. ANÁLISE DOS MATERIAIS	10
2.2. MODELOS EXISTENTES NO MERCADO	11
2.2.1. LYMAN EXTRUDER	12
2.2.2. FILMAQ3D	12
2.2.3. FELFIL	13
3. ... O SISTEMA DE RECICLAGEM	15
3.1. TRITURADORA	15
3.2. CIRCUITO ELETRÔNICO	17
3.3. EXTRUSORA	18
3.3.1. MOTOR	18
3.3.2. ROSCA DE EXTRUSÃO	21
3.3.3. BARRIL	21
3.3.4. BICO EXTRUSOR	21
3.3.5. CONTROLE DE TEMPERATURA	22
3.4. REFRIGERAÇÃO	24
3.5. LAMINAÇÃO	25
3.6. BOBINAMENTO	26
4. ... PROTÓTIPOS	28
4.1. PRIMEIRA VERSÃO	28

4.2.	SEGUNDA VERSÃO	33
4.3.	TERCEIRA VERSÃO	36
4.4.	QUARTA VERSÃO	42
5. ...	CONCLUSÃO	45
5.1.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
5.2.	SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	45
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	47
	ANEXO A – LISTA DE MATERIAIS	48
	ANEXO B – CÓDIGO DO ARDUINO COM LEITOR DE CORRENTE	49
	ANEXO C – CÓDIGO DO ARDUINO PARA A QUARTA VERSÃO DO PROTÓTIPO	51
	ANEXO D – ESQUEMA DE LIGAÇÕES DO SISTEMA	52
	ANEXO E – DESENHOS TÉCNICOS	53

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Vivemos em uma crescente do movimento conhecido hoje com DIY, em inglês, *Do it Yourself*, ou, faça você mesmo. Esse movimento teria surgido ainda nos anos 1920 nos EUA, em que os americanos queriam reformar suas casas de forma barata. Entretanto, foi nos anos 1950 que esse conceito se popularizou, com movimentos anticonsumistas, que incentivavam as pessoas a produzirem o que consumissem. Com a expansão das redes sociais, na forma encontrada nos últimos vinte anos, esse movimento voltou à tona, com pessoas habilidosas fazendo vídeos curtos, ensinando outros a fazerem pequenos artesanatos com reciclagem ou formas simples de reinventar o que era vendido nas prateleiras dos mercados.

Dessa forma, é possível ter acesso a vídeos ensinando como fazer objetos ou equipamentos de marcenaria, robótica, eletrônica, entre outros, sem nunca ter assistido uma aula de curso técnico sobre esses temas.

Assim, muitos temas foram surgindo e se enquadrando nesse formato de aprendizagem. Entre eles, a manufatura aditiva. Com a chegada das impressoras 3D nos meios produtivos, uma revolução aconteceu. Peças de alta complexidade de usinagem ou fundição, passaram a ser fabricadas com uma relativa facilidade por meio desse método.

Aliada à fabricação, a impressão 3D permitiu que pessoas tivessem uma pequena fábrica em casa. Bastaria ao usuário possuir conhecimentos de modelagem em CAD e uma impressora desse tipo. Assim, o mundo ganhou vários pequenos fabricantes de protótipos. Como exemplo, no surto de COVID-19, os proprietários dessas pequenas fábricas passaram a imprimir em massa escudos faciais para os médicos que estavam trabalhando em hospitais.

Há diversos modos de impressão 3D, entretanto, o mais difundido é o FDM, *Fused Deposition Modeling*, em tradução livre, modelagem por fusão e deposição. Isso se dá pela forma que as peças são construídas quando impressas. As camadas são depositadas umas sobre as outras, enquanto um bico extrusor funde o filamento, conforme a Figura 1.

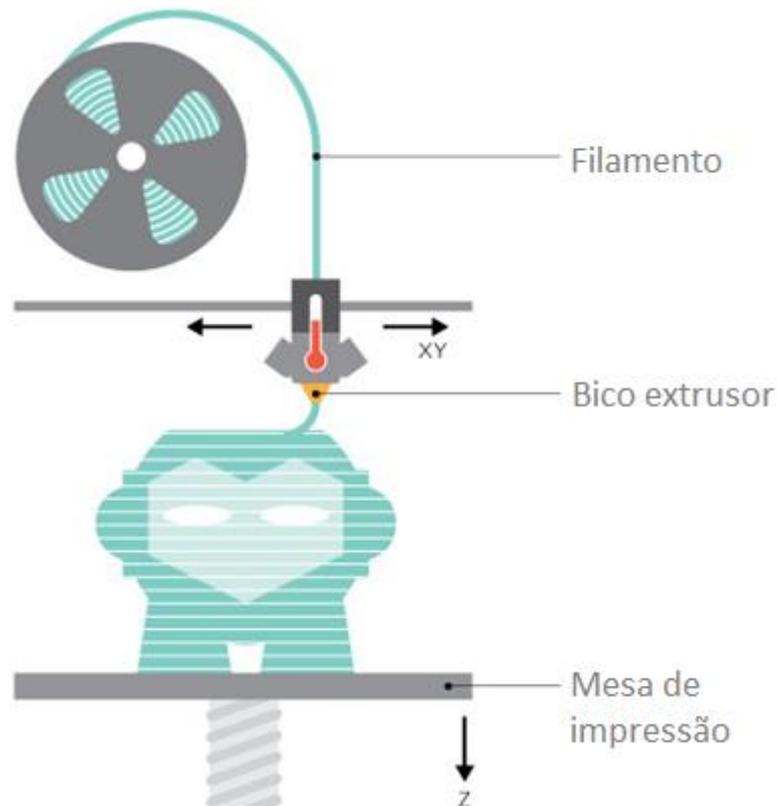


Figura 1 - Modelo Esquemático de FDM.

Fonte: Adaptada de (<https://www.og3dprinting.com/3d-printing>)

Na impressão por FDM, o material base é o filamento polimérico. Há uma gama de materiais utilizados para esse fim. Os principais são o PLA, ABS e o PETG, que apresentam características termomecânicas diferentes, e por isso, a escolha pelo uso de cada um, depende da finalidade de seu projeto.

Para imprimir, é preciso converter a peça modelada em CAD para um arquivo que a impressora consiga processar. Para isso, são utilizados softwares de fatiamento que transformam o sólido gerado para camadas a serem impressas. Nesses softwares, o usuário insere parâmetros para impressão, como altura de camadas, velocidades e suportes. Esse último é utilizado quando a peça desejada possui elementos que não estão em contato com a mesa. Assim, acrescenta-se elementos de suporte a peça para que assim possa ser impressa, esses elementos podem ser observados na Figura 2.

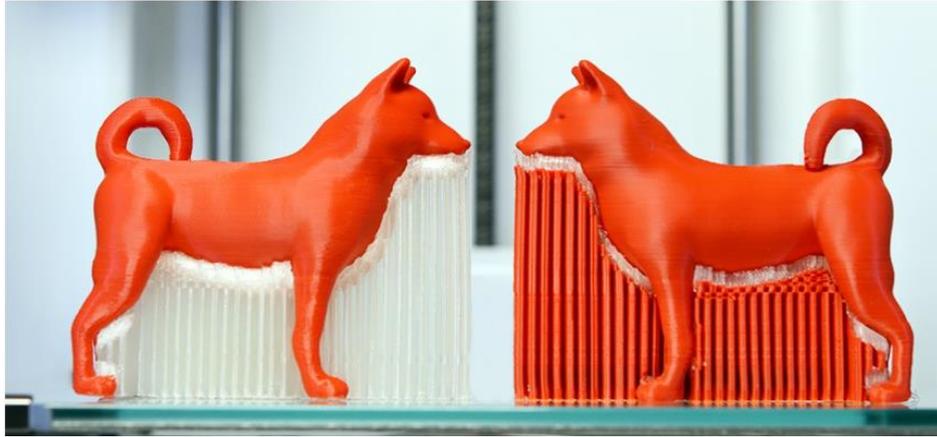


Figura 2 - Suportes de impressão.

Fonte: (https://filament2print.com/gb/blog/48_3D-printing-trends-2019.html)

Diversos problemas podem acontecer no processo de impressão: falhas na máquina, defeitos nos suportes, erros de projeto, falhas de impressão. Todos esses problemas podem resultar em peças refugadas, porém, constituídas de um material limpo de impurezas e homogêneo quimicamente, muito semelhante à matéria prima usada na impressão.

1.1. MOTIVAÇÃO

A possibilidade de reciclar esses refugos se torna uma estratégia extremamente interessante, por ao menos dois motivos: trata-se de um material caro e os processos de tratamento para transformar o resíduo em matéria prima são relativamente simples de executar, com custos razoáveis. Uma vez que, os filamentos são vendidos no comércio de varejo em uma faixa de R\$80,00 a R\$120,00 o quilo, dependendo do material escolhido a ser impresso, fazendo com que o investimento em uma máquina de reciclagem do insumo se pague ao longo dos anos de uso.

Esses materiais são termoplásticos, ou seja, podem ser reciclados através de altas temperaturas, dando origem a novos insumos para impressão 3D. Assim, é possível criar um ciclo fechado de aproveitamento desses polímeros e reduzir a quantidade de resíduos sólidos de plástico no meio ambiente, particularmente um problema que afeta de forma considerável os oceanos. Esta alternativa de reciclagem tem potencial de minimizar os impactos ambientais negativos ao longo do ciclo de vida do processo, ou seja, desde a etapa de extração de recursos até a deposição dos resíduos.

1.2. OBJETIVO

Nesse contexto, esse projeto tem como objetivo analisar processos produtivos que permitam a reciclagem dos insumos de impressão 3D transformando-os em novos filamentos para uso.

Para isso, serão desenvolvidos sistemas de controle e automação dos processos de produção envolvidos e suas interfaces. Dessa forma, soluções de fabricação dos equipamentos serão analisadas e desenvolvidas para todo o processo.

Segundo William Callister, autor de *Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução*, a execução de um projeto de engenharia, em geral, depende da consideração de quatro fatores: projeto de componentes, materiais empregados, técnicas de fabricação e análise econômica dos processos.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos, sendo o primeiro o introdutório. O segundo, de Revisão Bibliográfica, contém os principais materiais poliméricos utilizados na impressão 3D e suas análises químico-mecânicas e, também, uma análise de mercado sobre mecanismos semelhantes ao proposto por esse trabalho. Já no terceiro, apresenta-se o sistema desejado a ser construído e suas partes com seus funcionamentos detalhados. O quarto capítulo é destinado ao protótipo construído, com seus elementos. Por fim, a conclusão revela as considerações finais e os resultados obtidos ao longo da construção do protótipo e sugestões para estudos futuros.

CAPÍTULO 2

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com o avanço da industrialização e novas tecnologias, impactos adversos foram causados, principalmente, no âmbito socioeconômico e ambiental. Causando danos além das fronteiras locais, uma vez que é comum a transação entre países envolvendo capital e materiais.

Segundo um relatório apoiado pela ONU Meio Ambiente aponta que em 2010 70 bilhões de toneladas de matéria prima foram extraídas da natureza, sendo algumas delas renováveis e outras não. Leis rigorosas, em países europeus, já têm sido implementadas ao redor do mundo para que o consumo de materiais não reciclados seja reduzido. Na França, por exemplo, em 2021 não será mais permitido o uso de canudos e talheres descartáveis, a meta é que até 2040 tenha se eliminado todos os plásticos de uso único no país.

Ao se atentar para os problemas ecológicos, as empresas passaram a se dedicar a procurar meios para que pudessem mitigar a geração de impactos ambientais negativos. Assim, as empresas norteadas por compromissos com a sustentabilidade ambiental saíram na frente, com propostas de produtos e processos. Desse modo, certas empresas têm buscado validar suas metodologias com as certificações. Sendo a ISO 14001 a principal delas, que além de prever processos sustentáveis para empresas, incorpora planos estratégicos para gestão ambiental, garantindo a manutenção dos lucros das empresas e reduzindo os impactos ao meio ambiente. No Brasil, a ABNT é a detentora dessa norma, sendo chamada como ABNT ISO 14001, e a Petrobras é a empresa destaque no cenário industrial. Segundo dados de 2005 da ABNT, o Brasil ocupava a 11ª colocação no ranking de países com mais certificações ISO 14001, com 1800 empresas certificadas, a China liderava com 9230 empresas.

Por isso, é necessário repensar as formas de produção e de descarte do que é consumido. Hoje, é produzido mais lixo do que é possível tratar. Assim, o PNUMA, Programa Ambiental das Nações Unidas afirma que 90% dos detritos dos oceanos são formados por plástico. Além disso, existem 46.000 fragmentos de plástico em cada 2,5 quilômetros quadrados da superfície desses ambientes. Estudos da ONU indicam que se o consumo de plástico permanecer inalterado, em 2050 haverá mais massa plástica nos mares do que de peixes. Dessa forma, é relevante que o ciclo de vida dos nossos utensílios seja observado e a reciclagem dessas partes aprimorada, conforme as possibilidades indicadas na Figura 3.



Figura 3 - Ciclo de vida dos materiais.

Fonte: (Life Cycle Approach, 2005- UNEP)

No caso dos insumos de manufatura aditiva, deve ser analisado o que fazer para reaproveitar os resíduos plásticos gerados a fim de minimizar os efeitos socioambientais negativos.

Uma vez que a tecnologia de impressão 3D está amplamente difundida pelo mundo, muitos usuários de impressoras compartilham do mesmo dilema do que fazer com os resíduos gerados. Com isso, comunidades *open-sources* foram desenvolvidas para compartilharem ideias e soluções de projetos desse tema. Essas comunidades buscam transmitir os conhecimentos adquiridos de novas tecnologias, para que mais pessoas possam recriar. A RepRap é a comunidade mais conhecida no mundo de impressão 3D, em que eles divulgam e ensinam as pessoas a montarem impressoras 3D que possam se replicar para criarem outros novos equipamentos semelhantes.

2.1. MATERIAIS POLIMÉRICOS PARA IMPRESSÃO 3D

Há uma vasta gama de materiais usados como matéria prima de impressão. Hoje, já há no mercado impressoras que são alimentadas com barro e argila, assim são feitos produtos diversos, desde peças decorativas a casas impressas, como é possível observar na Figura 4. Outras indústrias desenvolveram impressoras de peças metálicas, através da tecnologia da metalurgia do pó. Hoje a Volkswagen lidera a pesquisa de utilizar essas peças em alguns dos seus veículos.



Figura 4 - Casa Impressa em 3D no Rio Grande do Norte.

Fonte: 3DHomeConstruction.

Entretanto, o objetivo nesse projeto são impressoras do tipo FDM, que utilizam filamentos poliméricos. Para isso, será necessário entender a diferença das características dos principais tipos de materiais utilizados.

Assim, serão analisados os três principais materiais de filamentos comercializados no Brasil: ABS, PETG, PLA. Esses polímeros são do tipo termoplásticos, isso quer dizer que eles amolecem quando são aquecidos e endurecem quando resfriam. Esses processos são totalmente reversíveis e podem ser repetidos inúmeras vezes. Entretanto, é necessário se atentar a temperatura de fusão em que serão expostos, uma vez que, fundindo a uma temperatura excessivamente alta, pode acarretar uma degradação irreversível.

2.1.1. ABS

Acrilonitrila butadieno estireno, conhecido comercialmente como ABS, é uma resina termoplástica derivada do petróleo. Por ter um processamento relativamente simples, torna-se um material barato e economicamente viável e, por esta razão estima-se que a produção do polímero seja de 10 milhões de toneladas por ano. Na Figura 5 constam dados sobre a produção de ABS.

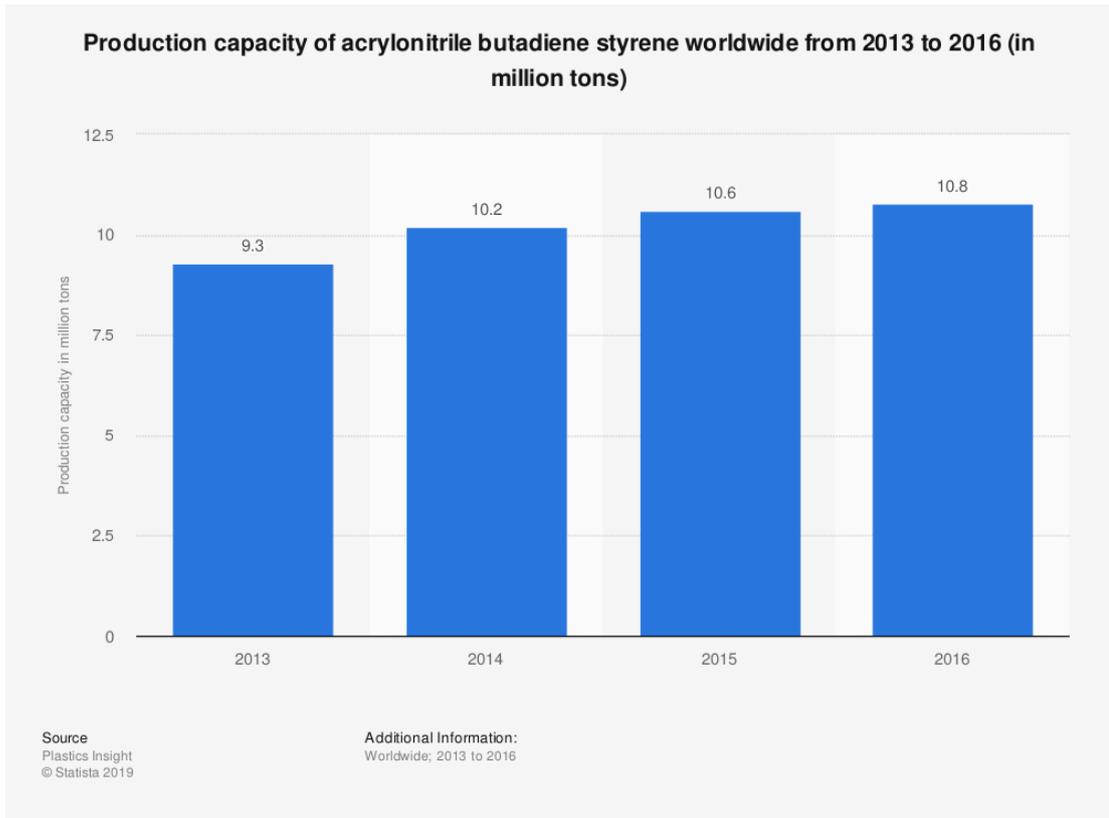


Figura 5 - Produção anual de ABS.

Fonte: Statista.

O ABS apresenta características mecânicas fundamentais para projetos, como maleabilidade, resistência ao impacto, à tração e à abrasão.

Tendo em vista sua versatilidade, esse polímero é o material plástico utilizado em maior volume no mundo. Utilizado na indústria automobilística, em partes elétricas e eletrônicas, além da indústria de brinquedos e, também, encontrado na indústria de construção.

Uma vez que a China Continental é um o polo industrial mundial, lá é consumido mais da metade do ABS produzido, seguido de outros países da Ásia.

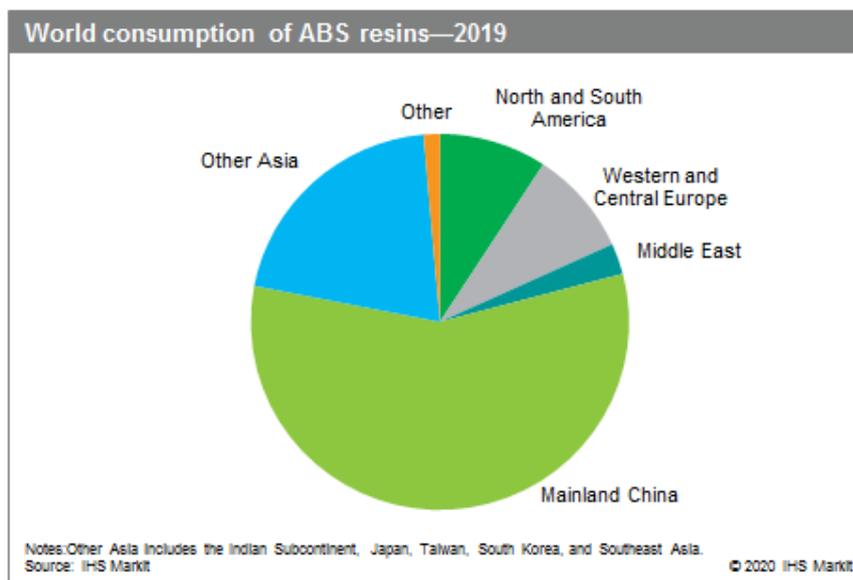


Figura 6 - Consumo mundial de ABS.

Fonte: IHS Markit 2020.

2.1.2. PETG

O PETG é um copolímero derivado do Polietileno tereftalato, conhecido como PET. Para a obtenção do PETG é preciso combinar o PET com moléculas de glicol, passando por um processo de transformação, para assim, chegar no polímero glicolizado. Enquanto o PET é utilizado largamente desde 1941, o PETG é uma molécula nova, com características que permitem a ela passar por processo de extrusão, que é essencial para a impressão 3D. Enquanto o PET quando exposto a calor se torna nebuloso e frágil, o PETG mantém a tenacidade e a transparência.

2.1.3. PLA

O PLA é o poliácido láctico, um polímero biodegradável, o que faz com que seja considerado um bioplástico. Na Figura 7 está ilustrado o ciclo de degradação deste material, que tem características semelhantes ao polipropileno e o polietileno, entretanto, tem sua degradação em dias, enquanto os demais podem demorar de 500 a 1000 anos.

Embora seja um material biodegradável, os resíduos no Brasil são destinados a lixões e aterros sanitários, que não proporcionam um ambiente adequado para essa degradação. Com isso, o material que poderia ser reciclado ou mesmo biodegradado, se torna lixo comum. A ABNT NBR 15448 prevê que a mistura do PLA pode conter até 10% da sua massa final em materiais não biodegradáveis, a fim de melhorar sua qualidade final.

Por ser um material advindo de reações bioquímicas, seu o custo de produção é mais elevado que os convencionais, principalmente os de origem do petróleo. Por isso, não é muito

difundido no mercado, sendo usado em embalagens alimentícias, sacolas plásticas de mercado, além de descartáveis como copos, facas e garfos.



Figura 7 - Decomposição de talher plástico de PLA.

Fonte: Callister 8ª ed.

2.1.4. ANÁLISE DOS MATERIAIS

Visto que há diferentes materiais para impressão, cada um com características distintas e por isso, aplicações distintas, torna-se necessária uma revisão bibliográfica sobre a relação entre comportamento e propriedades dos polímeros.

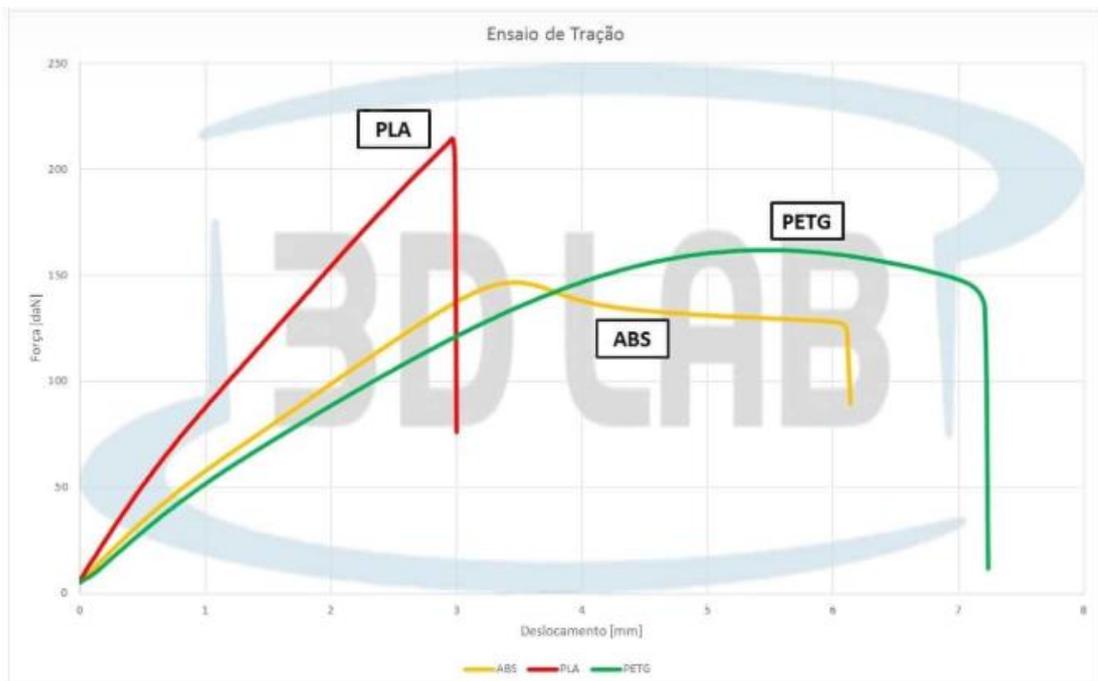


Figura 8 - Ensaio de tração em filamentos.

Fonte: 3DLab.

A partir de um ensaio de tração, observando a norma ASTM D638 , foi possível desenvolver os dados da Figura 8 onde percebe-se que o PLA suporta maior carga estática, acima de 210 daN, ou aproximadamente 215 kg de força. Entretanto, o material age com frágil, sem grandes deformações, rompendo em seguida. Enquanto o ABS se mostra mais dúctil. Embora não suporte uma carga estática tão alta quanto o PLA, entra em escoamento plástico com deformação permanente e absorção de energia. Já o PETG sofre a maior deformação ao longo do ensaio antes de romper.

Assim, para peças que deverão suportar cargas elevadas, porém sujeitas a pouca ou nenhuma deformação, o PLA é o mais indicado. Enquanto para partes que estarão sujeitas a grandes deformações, o PETG se torna o preferencial. Na Tabela 1 as propriedades dos diversos materiais foram agrupadas.

Tabela 1 - Propriedades de Matéria Prima.

Propriedade de Matéria Prima			
Propriedade	PLA	ABS	PETG
Densidade	1,24 [g/cm ³]	1,04 [g/cm ³]	1,27 [g/cm ³]
Temperatura de Fusão	185 [°C]	220 [°C]	240 [°C]
Tg	60 [°C]	100 [°C]	85 [°C]
Tensão de Escoamento	66 [MPa]	38 [MPa]	51 [MPa]
Resistencia a Flexão	130 [MPa]	66 [MPa]	71 [MPa]
Modulo de Elasticidade	4350 [MPa]	2200 [MPa]	2120 [MPa]
Resultado ensaio de Tração segundo a Norma ASTM D638 - Corpo de provas impresso			
Propriedade	PLA	ABS	PETG
Tensão de Escoamento	24,8 [MPa]	14,7 [MPa]	18,6 [MPa]
Modulo de Elasticidade	1896,0 [MPa]	1335,9 [MPa]	1067,9 [MPa]
Tensão de Ruptura	46 [MPa]	29 [MPa]	32,6 [MPa]
Alongamento	3,69 [%]	7,08 [%]	7,74 [%]
Resultado ensaio de Dureza segundo a Norma ASTM D2240 - Corpo de provas impresso			
Dureza Shore D	85 [Shore D]	74 [Shore D]	75 [Shore D]
Resultado ensaio HTD segundo a Norma ISO 75 - Corpo de Provas Impresso			
Temperatura HTD	55,11 [°C]	86,13[°C]	67,13 [°C]

Fonte: 3DLab.

2.2. MODELOS EXISTENTES NO MERCADO

Há uma demanda por soluções sobre o que fazer com os resíduos de impressão 3D e por isso, são encontrados projetos e equipamentos comerciais e protótipos que foram idealizados para o reaproveitamento desses refugos.

2.2.1. LYMAN EXTRUDER

Assim, em 2013, Hugh Lyman criou uma extrusora acoplada a uma bobinadora para o melhor reaproveitamento desses resíduos. Esse primeiro modelo de extrusora pode ser visto na Figura 9. Com isso, o preço de impressão caiu significativamente, uma vez que, depois da impressora comprada, os insumos representam o maior custo.



Figura 9 - A extrusora Lyman.

Fonte: Thingiverse.

Para a realização desse sistema de reaproveitamento de resíduos poliméricos advindos de impressão 3D, foi idealizada uma extrusora a quente com subsistemas de trituração, resfriamento, garantia dimensional e bobinamento do filamento.

2.2.2. FILMAQ3D

No Brasil, a Filmaq3D comercializa um modelo de extrusora sem nenhum subsistema acoplado. Ou seja, o usuário alimenta a máquina com pallets do polímero e tem como produto o filamento. Entretanto, a qualidade com que esse filamento é produzido não é controlada, uma vez que, não há tratamento algum, uma vez produzido.

Essa máquina é comercializada a R\$3.490,00 pelo site da fabricante. Com dimensões de 500 mm x 310 mm x 355 (C x L x A), e compatível com ABS, EVA, PPHD e PLA. Como consta a fotografia da máquina na Figura 10.



Figura 10 - Extrusora Filmaq3D.

Fonte: <https://www.filmaq3d.com.br/>

2.2.3. FELFIL

A extrusora FelFil foi desenvolvida por estudantes da Escola Politécnica da faculdade de Turim, na Itália a título de protótipo em 2014. Com a boa repercussão na Academia, em 2015 decidiram fazer uma campanha de *Crowdfunding* no Kickstartes e com a arrecadação de €45.000, abriram em 2016 o e-commerce. Até hoje vendem o primeiro e único modelo de extrusora, conhecido como EVO à €589,34, mostrado na Figura 11. Em seu site é possível comprar o kit desmontado por €490,98.

A EVO é capaz de extrudar o filamento a 1,15m/minuto, além de ter uma tolerância de +/- 0.07mm, atingindo temperatura máxima de 250°. Para esse processo, foi desenvolvido um fuso de extrusão com aço k100. Essa extrusora tem uma massa aproximada de 5kg.



Figura 11 - FelFil EVO.

Fonte: <https://felFil.com/>

Além da extrusora, a FelFil passou a comercializar um módulo adicional para bobinar o filamento extrudado, o FelFil Spooler da Figura 12. Com capacidade de ajuste para os carretéis de no máximo 1kg, e com seleção do material a ser bobinado, seja ele PLA, ABS ou PETG. Esse módulo é vendido por €490,98.



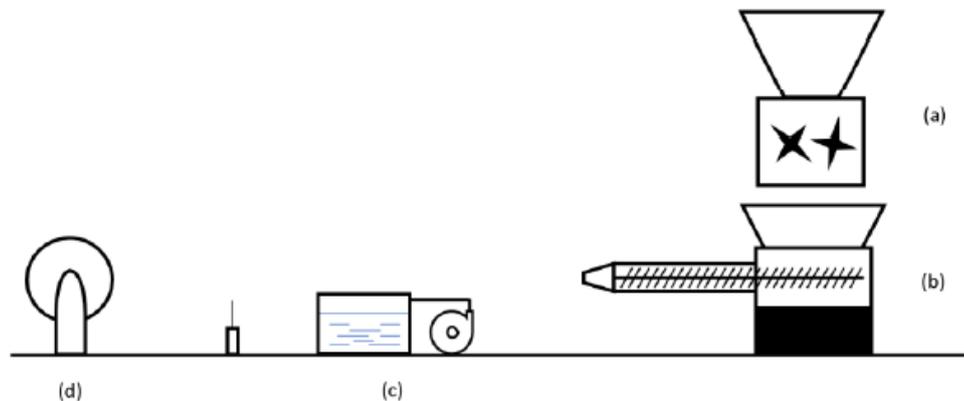
Figura 12 - FelFil Spooler.

Fonte: <https://felFil.com/>

CAPÍTULO 3

3. O SISTEMA DE RECICLAGEM

Neste trabalho a concepção é a de um equipamento composto por subsistemas independentes, conforme pode ser visto na Figura 13, para se alcançar um melhor aproveitamento de material e uma melhor qualidade de insumo produzido.



LEGENDA:

- (a) – Trituradora
- (b) – Extrusora
- (c) – Resfriamento
- (d) – Rebobinamento

Figura 13- Esquemático do Sistema.

Fonte: Autor.

3.1. TRITURADORA

Esse sistema tem papel fundamental para o processo, pois é onde as partes a serem recicladas serão trituradas e, também, onde assegura-se que todas as partes estejam uniformes, a fim de obter-se uma granulometria controlada.

Para que haja maior troca térmica durante o futuro derretimento, é imprescindível que as peças sejam trituradas, assim haverá maior superfície de contato, reduzindo-se, então, o tempo, e por consequência, o custo do derretimento dos polímeros.

A trituradora deverá conter partes de um conjunto de facas cortantes que serão alinhadas por dois fusos conectados a motores de passo com redução. Com esses motores independentes, será possível coordenar o movimento de trituração. Podendo programá-los por meio de sistemas embarcados que se uma vez encontrarem uma resistência que não sejam possibilitados de

triturar, façam um movimento no sentido contrário, para que assim, liberem a parte e possam tentar de novo.



Figura 14 - Eixos montados com facas.

Fonte: <https://preciousplastic.com/>

Além disso, sob a caixa da trituradora, será instalada uma grade furada que funcionará como uma peneira por gravidade, ilustrada na Figura 15, ajustada à granulometria desejada. Caso o fragmento ainda não se ajuste à granulometria pretendida, seguirá na caixa e será novamente, triturado pelo conjunto de facas, até que alcance as dimensões desejadas.

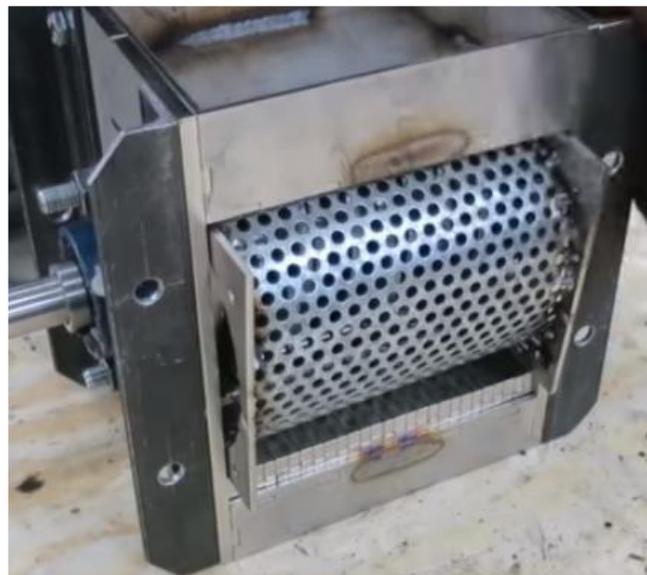


Figura 15 - Tela furada instalada no fundo do mecanismo.

Fonte: <https://preciousplastic.com/>



Figura 16 - Diferença entre plástico triturado sem tela calibrada (esquerda) e com tela calibrada (direita).

Fonte: <https://preciousplastic.com/>

Uma vez que esse sistema conta com elementos cortantes e possivelmente partes possam ser deslocadas para cima, medidas de segurança devem ser tomadas. Por isso, um botão de emergência precisa estar ao alcance do operador, para que em caso de risco ele seja acionado e interrompa a alimentação elétrica do sistema. Além disso, uma caixa de acrílico deve envelopar o sistema, assim, o processo pode ser supervisionado sem o risco de partes dispersas. Essa caixa de acrílico deverá repousar sobre pelo menos um sensor tipo chave fim de curso, para que o funcionamento das facas só ocorra com a tampa abaixada e apoiada no sensor.

Com essas medidas de segurança, o projeto atende as normas da NBR15107. Uma vez que a trituradora só operará com a caixa de acrílico fechada, os riscos relacionados à alimentação dela são mitigados. Dessa forma, a alimentação pode ser feita de forma direta através do funil de alimentação nela instalada.

A área de descarga desses resíduos contará com um reservatório, assim, uma vez a carga triturada, será possível coletar os granulados.

3.2. CIRCUITO ELETRÔNICO

A demanda por um controle de todas as ações a serem feitas pelos componentes, indicou que um microcontrolador fosse utilizado. Assim, o Arduino UNO foi escolhido, uma vez que tem uma capacidade de processamento satisfatória, e também por conta da ampla biblioteca de códigos e componentes eletrônicos compatíveis que poderiam ser empregados nesse processo.

Além disso, para a alimentação dos componentes, uma fonte chaveada do tipo colmeia foi escolhida, visto que possibilita uma ampla gama de utilização, permitindo assim, maior versatilidade ao projeto. Dado que o motor e os cartuchos aquecedores escolhidos demandam

12V para funcionamento, a fonte deveria ser nominal de 12V. Agora, para determinar a corrente da fonte, é necessário recorrer a Equação da Potência:

$$\text{Equação 1 - } P = i \cdot U$$

Em que:

P = Potência elétrica

U = Tensão

i = Corrente

Sabendo então que os cartuchos possuem uma potência de 40w, a corrente necessária para um único cartucho deve ser de 3,33A. Já que o projeto foi idealizado a usar 2 cartuchos, uma fonte de pelo menos 6,66A seria o básico para o bom funcionamento apenas dos cartuchos. Com isso, a fim de garantir um excedente de garantia para ensaios, a fonte escolhida foi de 12V e 15A.

3.3. EXTRUSORA

O granulado poderá ser extrudado após a trituração dos resíduos e, para isso, deverá passar por uma extrusora. O produto final desse processo é o filamento polimérico. A seguir é mostrado na Figura 17 as partes que serão analisadas que compõem uma extrusora.

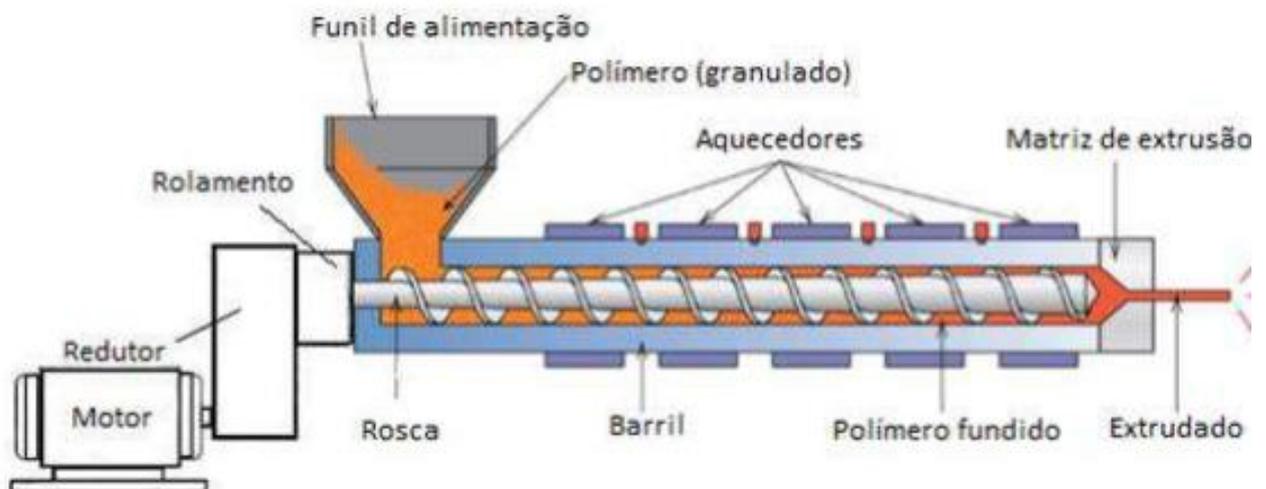


Figura 17 - Modelo de extrusora de plástico.

Fonte: Adaptado de Osswald (2006).

3.3.1. MOTOR

A fim de movimentar a carga alimentada na extrusora, é necessário um fuso conectado a um motor, que deve possuir torque o suficiente para conseguir, além de movimentar o

granulado, comprimir o material fundido na extremidade oposta à da entrada de alimentação de material.

Para esse projeto, duas opções de motor foram apreciadas:

a) Motor de passo Nema-17

Tabela 2 - Especificações Técnicas NEMA 17.

Especificações 42HS40-1704-13A	
Tensão de operação	2,55V
Corrente DC de operação (por fase)	1,7A
Resistência (por fase)	1,5Ω
Ângulo do passo	1,8 graus
Torque estático	4,2kg.cm
Indutância (por fase)	2,3MH
Peso do motor	0,32Kg
Diâmetro do eixo	5mm
Comprimento do eixo	24mm
Dimensões	42 x 42 x 40mm

Fonte: www.ato.com.



Figura 18 - Motor NEMA 17.

Fonte: www.ato.com.

b) Motor de limpador de para-brisa

Uma opção interessante para a rotação do fuso é utilizar um motor de limpador de para-brisa. Já que são compactos e de fácil acesso no mercado nacional. Além disso, possuem o torque adequado e uma vez sendo de 12V, são compatíveis com o Arduino.



Figura 19 - Motor de Limpador de Parabrisa.

Fonte: www.elecar.com.br.

Outros motores com caixa de redução também funcionam para o projeto, uma vez que possuem alto torque, como é utilizado no modelo EVO da FelFil.



Figura 20 - Motor alto torque com caixa de redução JGY 370.

Fonte: <https://www.americanas.com.br/>

Tabela 3 - Especificação técnica do motor alto torque JGY 370.

MOTOR DC ALTO TORQUE								
Tensão Nominal	Sem Carga		Com Carga			Parada (stall)		Redução
	Rotação	Corrente	Rotação	Corrente	Torque	Torque	Corrente	
12VDC	3RPM	~60mA	2RPM	~600mA	25kgf.cm	25kgf.cm	~1300mA	1:1000
12VDC	10RPM	~60mA	7RPM	~600mA	22,25kgf.cm	25kgf.cm	~1300mA	1:600
12VDC	18RPM	~60mA	13RPM	~600mA	12kgf.cm	25kgf.cm	~1300mA	1:340
12VDC	30RPM	~60mA	22RPM	~600mA	7,4kgf.cm	25kgf.cm	~1300mA	1:200
12VDC	40RPM	~60mA	30RPM	~600mA	5,6kgf.cm	24kgf.cm	~1300mA	1:150
12VDC	90RPM	~60mA	70RPM	~600mA	2,4kgf.cm	10kgf.cm	~1300mA	1:65
12VDC	150RPM	~60mA	100RPM	~600mA	1,5kgf.cm	6,4kgf.cm	~1300mA	1:40

Fonte: Adaptado de www.americanas.com.br

Para o acoplamento entre o eixo do motor e a rosca de extrusão utilizada, uma bucha poderá ser usinada para realizar essa conexão entre as partes.

3.3.2. ROSCA DE EXTRUSÃO

Acoplado ao motor, um fuso deverá realizar a movimentação da carga presente no barril. Esse fuso não deve apenas transportar, mas realizar também a compressão do material, a fim de evitar bolhas de ar no processo.

Além disso, é válido um estudo a respeito do material utilizado. Uma vez que será exposto a um ambiente de temperatura elevada de forma cíclica e em contato com materiais possivelmente corrosivos e abrasivos. Dessa forma, aços ligados se tornam opções interessantes, porém a viabilidade de usinar o material e seu custo podem ser complicadores.

Assim, uma solução de prateleira interessante é a broca de pua, mostrada na Figura 21. Seu formato auxilia no transporte dos granulados de polímero, além de ser um aço ferramenta, preparado para altas temperaturas. Ademais, por ser amplamente utilizado em construção civil e afins, seu preço é mais acessível.



Figura 21 - Broca de pua de 7/8" X 280mm.

Fonte: www.supertools.com.br.

3.3.3. BARRIL

Assim como a rosca de extrusão, o material a ser escolhido para essa seção deve resistir a temperaturas elevadas, bem como a corrosão e abrasão. Além disso, critérios como a espessura de parede do tubo, inércia térmica e rugosidade interna precisam ser levados em consideração. Por isso, o aço inox pode ser a melhor opção para essa atividade, entretanto, o seu alto custo é um ponto negativo e então, o ferro fundido galvanizado por ser muito mais barato se torna uma opção competitiva, nesse caso.

3.3.4. BICO EXTRUSOR

Uma das partes mais cruciais para a qualidade do filamento extrudado é a sua matriz de extrusão. É nesse processo que o material passa a ter o formato desejado. Em processos de extrusão, podemos obter barras, perfis, tubos ou fios. Como para esse projeto, o objetivo é produzir filamentos, essa extrusora será semelhante as de fio, como de arame. A Figura 22, elucida o funcionamento da matriz.

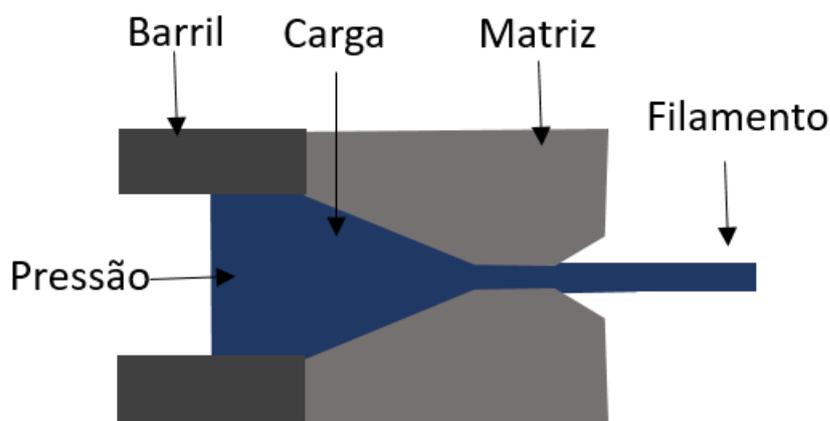


Figura 22 - Extrusora convencional.

Fonte: Autor.

Assim, toda a carga do barril terá sua seção transversal reduzida para o diâmetro da matriz extrusora. Uma vez que os filamentos devem ter diâmetros nominais de 1,75mm, um furo com uma broca de 2mm, que é mais convencional de ser encontrada em lojas de material de construção, pode ser executado e o diâmetro final do filamento conferido após a contração térmica devido ao resfriamento e finalmente corrigida em um processo laminação.

3.3.5. CONTROLE DE TEMPERATURA

Para que o material seja extrudado, é necessário fundi-lo primeiramente. Assim, o polímero deve atingir temperaturas superiores a 200°C. É possível realizar a fusão através do barril, instalando cartuchos ao longo por meio de abraçadeiras metálicas envoltos em manta térmica. Criando assim, um gradiente de temperatura para fundir o plástico.

Outra forma de utilizá-los é usinar na matriz extrusora um alojamento para que o cartucho seja instalado, como visto na Figura 23. Entretanto, realizar a fundição do plástico apenas no final do processo não se mostra uma boa estratégia, uma vez que o sistema estaria mais sujeito a entupimentos, além de poder deformar por dilatação térmica a matriz extrusora, perdendo então a qualidade do material extrudado.

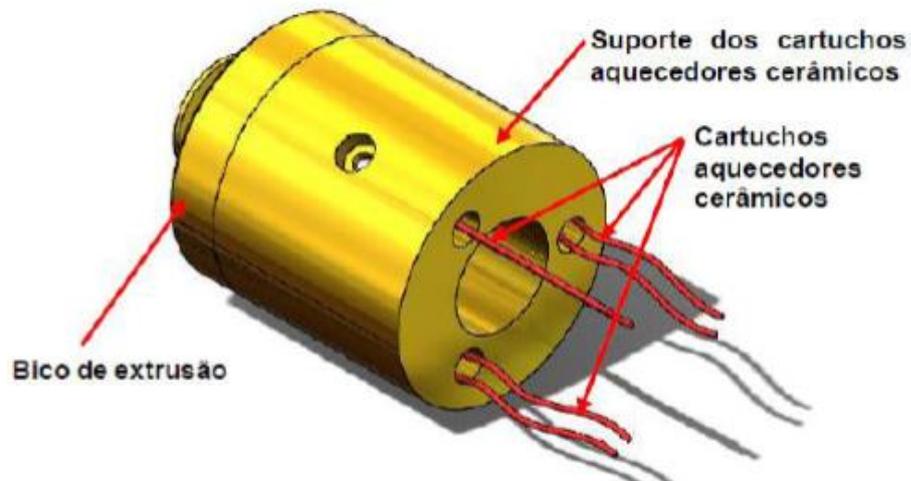


Figura 23 - Matriz extrusora com cartuchos acoplados.

Fonte: Silva (2018).

Esses cartuchos, como o mostrado na Figura 24, são utilizados na impressora 3D do tipo FDM no *hotend*, ou seja, na região bico extrusor e alguns modelos contam com esse cartucho aquecendo as mesas da impressora, para aprimorar a aderência da peça.



Figura 24 - Cartucho Aquecedor.

Fonte: www.eletronicacastro.com.br.

Uma vez que são utilizados já em impressoras FDM, sua interface com microcontroladores como o Arduino já são conhecidas, facilitando assim sua implementação. Além disso, é possível associar termopares a eles, para que assim seja possível controlar por meio do Arduino a temperatura desejada.

Para esse projeto, foi escolhido usar o conjunto MAX 6675, exposto na Figura 25, que conta com um módulo de leitura e um termopar do tipo K, capaz de realizar medições de temperatura de 0°C à 800°C e resolução de 0,25°C.

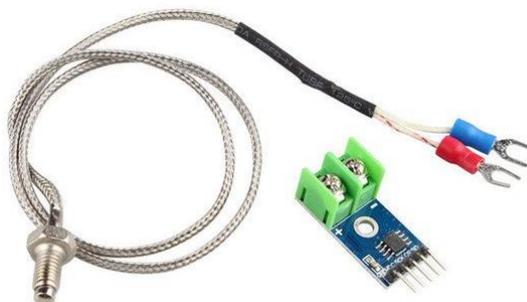


Figura 25 - Termopar tipo K e módulo Max6675.

Fonte: <https://www.eletrogate.com>.

Combinando o cartucho aquecedor e o conjunto Max6675 a um relé, é possível fazer o controle de temperatura do barril. Assim, o relé fica responsável por permitir o aquecimento do cartucho até a temperatura desejada e, o termopar ao perceber essa temperatura, se dá o desligamento cartucho até que seja necessário religá-lo.

3.4. REFRIGERAÇÃO

Uma vez extrudado o filamento, é interessante submetê-lo a um choque térmico, para que enrijeça e possa ser melhor trabalhado. Por isso, ao sair da matriz de extrusão o filamento receberá um banho de água.

Essa água será bombeada por meio de uma bomba de aquário do tipo submersa, com a da Figura 26, que estará em um recipiente. Tais equipamentos tem capacidade de vazão de 150l/h e uma coluna de água de 600mm. Assim, a água será reutilizada de forma contínua ao longo do processo.



Figura 26 - Bomba Boyu SP-500.

Fonte: www.americanas.com.br

Através do estudo da calorimetria e trocas térmicas, há a necessidade de realizar os cálculos para verificar a quantidade de água circulando necessária para resfriar o filamento. Foi considerado PLA com temperatura inicial de 200°C, e final de 25°C, bem como água a temperatura inicial de 20°C. O estudo foi realizado para 1000 gramas de material, e o resultado obtido indica a necessidade de aproximadamente 400 gramas de água a temperatura ambiente, considerando-se o calor específico do PLA como sendo 0,04538 cal/g °C, e da água sendo 1 cal/g°C. Dessa forma, é possível utilizar como reservatório um pote de sorvete com capacidade de 1000 mililitros.

Para realizar o cálculo, utilizou-se a seguinte equação de calorimetria:

$$\text{Equação 2 - } Ma * Ca * \Delta Ta + Mp * Cp * \Delta Tp = 0$$

Em que:

Ma – Massa de água;

Ca – Calor específico da água;

ΔTa – Variação de temperatura da água;

Mp – Massa de polímero;

Cp – Calor específico do polímero;

ΔTp – Variação de temperatura do polímero.

3.5. LAMINAÇÃO

Já resfriado, o material perde parte de sua maleabilidade, porém ainda é possível conformá-lo. Por conta disso, essa etapa se torna essencial na garantia da qualidade do filamento produzido, essa será o último sistema antes do bobinamento.

Considerando o exposto acima, o filamento deverá passar por dois cilindros horizontais de Nylon 6.6 usinados para um diâmetro de 1,75mm. Uma vez que o material mais duro entre os estudados é o PLA com dureza Shore D85, esse nylon se torna ideal, por possuir dureza Rockwell R115, como observado na Figura 27.

Hardness Scales			
Durometer (Shore) A	Durometer (Shore) D	Rockwell R	Rockwell M
		130 —	110 —
		120 —	70 —
	90 —	110 —	30 —
	80 —	100 —	
	70 —	90 —	
	60 —	70 —	
95 —	50 —	50 —	
90 —	40 —		
80 —			
70 —			
60 —			
50 —			

Figura 27 - Conversão de Escala de Dureza.

Fonte: www.plastics.ulprospector.com.

Os dois cilindros de laminação deverão estar conectados a motores de passo, para realizarem a movimentação de forma ativa, além de puxarem de forma a tencionar o material extrudado.

3.6. BOBINAMENTO

Um dos grandes desafios de extrudar filamento para impressão 3D é garantir que o produto estará organizado no carretel, ou seja, que não há filamento sobre filamento causando nós. A presença de nós pode resultar na perda total de uma impressão, acarretando um prejuízo de material e tempo.

Dessa forma, foi pensado em se utilizar um conjunto de mecanismos capazes de bobinar de forma ordenada o filamento no carretel. Levando-se em consideração que o projeto tem como objetivo atender as necessidades de usuários de uma impressora 3D, algumas peças desse mecanismo foram desenhadas e pensadas para serem impressas, porém poderiam ser facilmente feitas de outros materiais e usinadas. A Figura 28 ilustra o mecanismo.

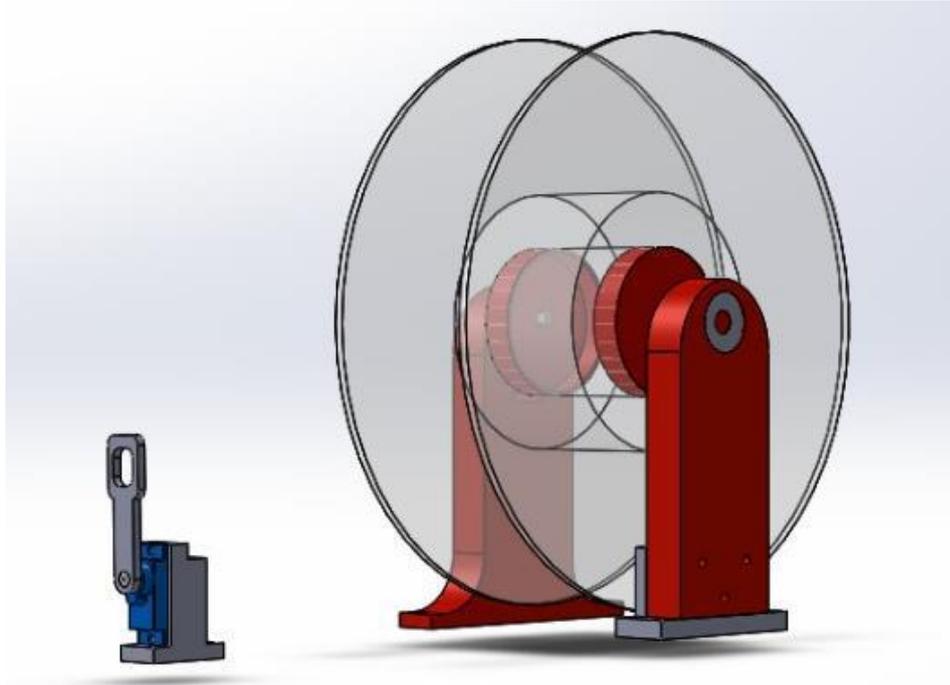


Figura 28 - Mecanismo de bobinamento modelado no Solidworks.

Fonte: Autor.

Os suportes foram dimensionados para o carretel comum de 1kg de filamento para impressão 3D. Com isso, pensou-se em utilizar o mínimo de material para garantir que o carretel estivesse em uma altura mínima o suficiente para perder o contato à base.

Um servo motor do modelo SG90 foi escolhido para acoplado a ele uma guia, com angulação de trabalho limitada, auxiliar nessa organização da alimentação do carretel.

Na sequência desse servo motor, encontra-se o carretel de filamento padrão biapoado em dois suportes semelhantes. Sendo um suporte fixo na base e instalado um motor de passo do tipo 28BYJ-48, que por sua vez, tem um adaptador que faz a conexão do motor com carretel. No outro suporte, móvel, há um adaptador semelhante que gira em rolamentos rígidos de esferas 608Z, que possuem diâmetro interno de 8mm e externo de 22m. Esse suporte móvel é aparafusado em uma base que deve ser fixada na placa base. Tal mobilidade se dá para que seja feita a instalação do carretel no mecanismo.

CAPÍTULO 4

4. PROTÓTIPOS

4.1. PRIMEIRA VERSÃO

Para a execução da primeira versão do protótipo, a metodologia aplicada foi a desenvolvida e explicada no livro *Startup Enxuta* do Eric Ries, que traz o conceito de MVP, *minimum viable product*, ou produto viável mínimo. Assim, tentou-se fazer algo funcional e de baixo custo para que testes fossem executados a fim de se obter melhorias constantes e trocas pontuais de partes.

Com isso, o objetivo era de construir a extrusora, visto que ela seria a parte fundamental do sistema. De nada adiantaria a trituradora e a bobinadora funcionarem se a extrusora não se apresentasse em bom estado. Dessa forma, iniciou-se então o processo de estudo e construção desse primeiro elemento do sistema.

O motor escolhido foi o JGY 370 de 12V e 10 rpm, por apresentar uma boa robustez e torque suficiente para movimentar o fuso, que por sua vez, a broca de concreto da marca Bosch de modelo SDS Plus-5X 14x200x260, mostrada na Figura 29, foi escolhida para essa finalidade. Como essa broca é destinada a perfuração de concreto, onde o atrito é muito intenso e, portanto, muito calor é gerado, o projeto cobre o requisito de resistente ao calor, além disso, os sulcos presentes em sua geometria favorecem o trânsito das partes sólidas. É válido lembrar também que, para que esse trânsito seja feito no sentido de avanço, a broca deve girar no sentido anti-horário, para isso, o motor foi polarizado de forma invertida.



Figura 29 - Broca SDS Plus-5X.

Fonte: www.bosch.com.br.

Para o barril, foi utilizado um trecho de tubo de ferro fundido galvanizado, amplamente aplicado na indústria de construção civil. Embora nele contenha uma rugosidade interna nada desprezível, a fim de se testar como MVP e ter sido doado por uma loja de material de construção, o protótipo foi levado adiante nessas condições. Para a alimentação desse barril, um rasgo foi usinado em uma das faces, conforme é possível ver na Figura 30.



Figura 30 - Rasgo de alimentação.

Fonte: Autor.

Nesse rasgo, uma peça impressa em 3D, mostrada na Figura 31, realiza a interface entre o funil alimentador e o barril, como é visto na Figura 32.

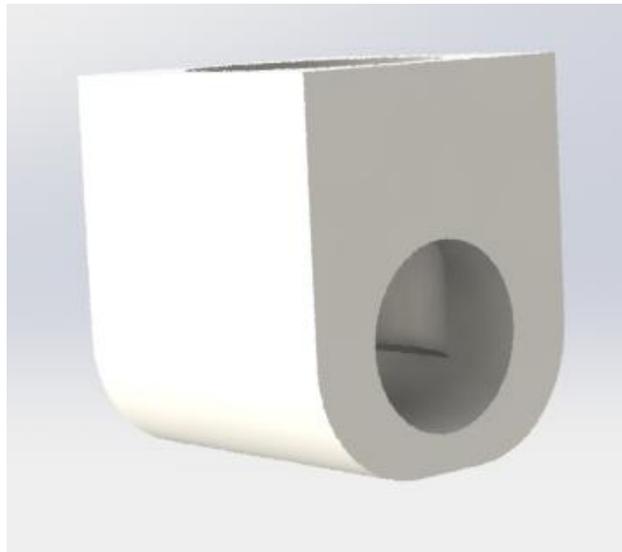


Figura 31 - Interface de alimentação modelada no Solidworks.

Fonte: Autor.



Figura 32 - Sistema de alimentação.

Fonte: Autor.

Sabendo-se que esse ferro fundido pode ser usinado com facilidade, o bico extrusor utilizado foi um bujão de mesmo material e um furo de 1,5mm feito em sua parte central, mostrado na Figura 33.



Figura 33 - Matriz extrusora.

Fonte: Autor.

A integração entre as partes foi realizada em sua totalidade por um Arduino Uno e o código dessa automatização pode ser visto no ANEXO C – CÓDIGO DO ARDUINO PARA A QUARTA VERSÃO DO PROTÓTIPO ANEXO B – .

A primeira versão do protótipo é observada na Figura 34 e na Figura 35.

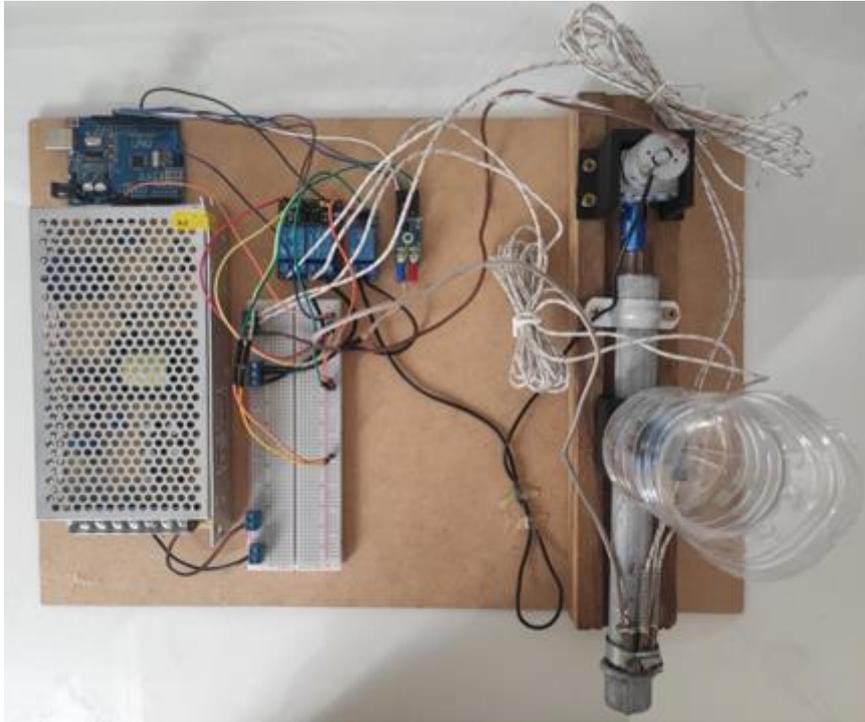


Figura 34 - Montagem do protótipo (vista superior).

Fonte: Autor.

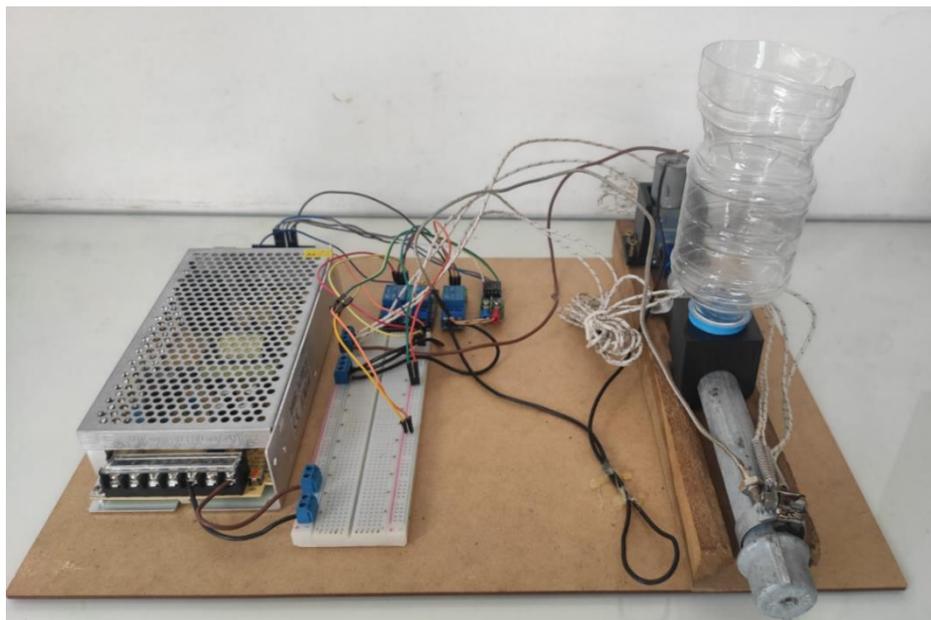


Figura 35 - Montagem do protótipo (vista frontal).

Fonte: Autor.

Alguns testes foram efetuados no modelo inicial, a fim de validar o layout e as funcionalidades do sistema como um todo. Para testar o tempo de aquecimento da zona quente, foram feitos dois testes, um com apenas um cartucho acoplado e outro com dois cartuchos acoplados na mesma área. Em ambos os casos, não havia isolamento térmico e a temperatura objetivo era de 170°C, utilizando a mesma fonte de 12V e 15A.

No primeiro caso, o sistema demandou 10 min para atingir a temperatura, já no segundo precisou de 8 min. As configurações de montagem podem ser vistas na Figura 36



Figura 36 - Configuração com 2 cartuchos.

Fonte: Autor.

Alguns testes para extrusão de material foram efetuados, porém não foi possível obter nenhum filamento extrudado. Certos pontos podem ser levantados como cruciais para esse resultado insatisfatório, são eles: a broca utilizada é de 14mm de diâmetro, enquanto o tubo usado para o barril é de 16mm de diâmetro interno. Tal diferença, representada pelo “h” na Figura 37 pode causar um torque resultante dos pedaços sólidos entre a parede do barril a broca, fazendo com que todo o mecanismo gire em seu eixo, mesmo que houvesse uma abraçadeira fixando o barril no caibro de madeira.



Figura 37 - Diferença entre a broca e parede interna do tubo.

Fonte: Autor.

4.2. SEGUNDA VERSÃO

Com os aprendizados adquiridos do primeiro protótipo, foi-se em busca de reduzir o torque transmitido ao tubo, que impedia então que o fuso movimentasse a carga dentro do barril. Para isso, uma solução personalizada foi feita. Dessa vez, o tubo utilizado para o barril foi fabricado a partir de um tarugo de 7/8" de aço inoxidável 316 e a matriz em aço inoxidável 304 de 5", que seria posteriormente usinado para o tamanho adequado.

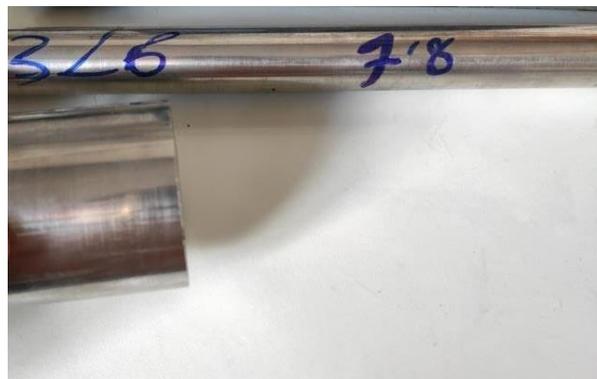


Figura 38 - Tarugos em Aço Inoxidável

Fonte: Autor.

Outro ponto a ser melhorado que foi observado na primeira versão, foi a fixação dos elementos de aquecimento e controle de temperatura. Enquanto a abraçadeira não transmitia segurança quando o sistema estava aquecido, a rosca feita para o termopar não permitia uma medição adequada, visto que o espaço para a rosca era insuficiente para sua fixação sem que houvesse interferência com o fuso. Por conta dessas observações, foi feita uma nova matriz extrusora que permite o acoplamento dos cartuchos e do termopar rosqueado de forma adequada, como é visto na Figura 39.

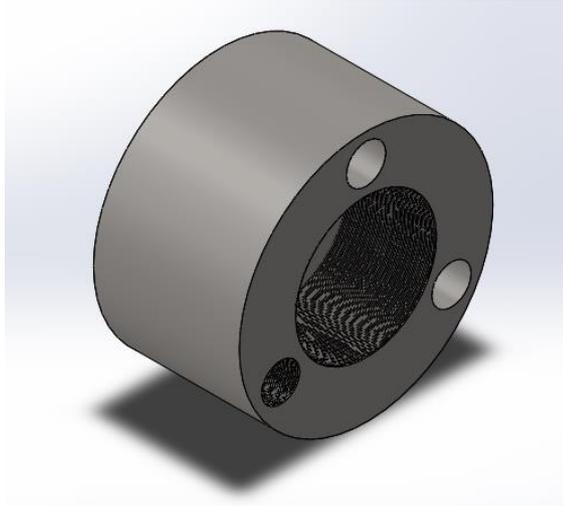


Figura 39 - Matriz com acoplamentos

Fonte: Autor.

Visando eliminar as oportunidades de o torque do motor ser transferido para que o barril girasse em seu eixo, foi soldado um flange ao fim do tubo para que ele fosse melhor fixado a base, como pode ser observado na Figura 40.



Figura 40 - Montagem do flange

Fonte: Autor.

Levando em consideração que o projeto como um todo tem o objetivo de ser alinhado com a filosofia DIY, foi idealizado uma identidade para que a estrutura fosse montada com folhas de MDF de 3mm, material bastante utilizado em projetos desse tipo, visto que é um material bastante fácil de trabalhar e pode ser usado como partes estruturais de pequenos esforços. A Figura 41 revela o layout da segunda versão do protótipo.

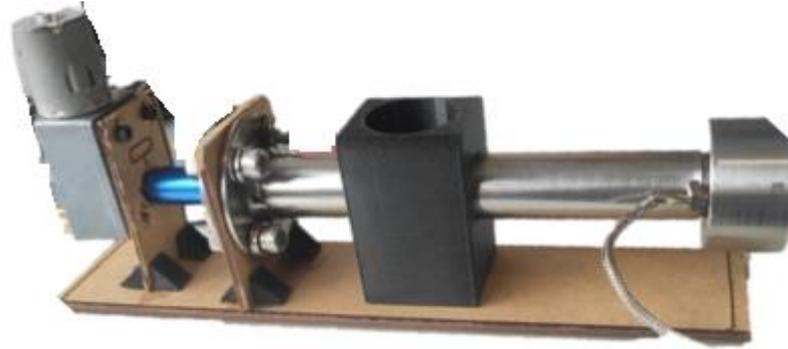


Figura 41 - Montagem Segunda Versão

Fonte: Autor.

Com a adição do flange no projeto, o tubo não mais rodou em seu eixo, o que permitiu que novos testes fossem realizados na tentativa de extrudar filamento. A faixa de temperatura escolhida foi a de fusão do material, ou seja, a 180°C, porém o resultado foi um gotejamento ao invés de um filamento. A Figura 42 mostra como o material foi expelido da matriz e a Figura 43 revela o produto de extrusão.



Figura 42 - Material escorrido

Fonte: Autor.



Figura 43 - Resultado do gotejamento

Fonte: Autor.

4.3. TERCEIRA VERSÃO

Após a falha conduzida na segunda versão, buscou-se soluções para combater o gotejamento na matriz, foi pensado então, em como aumentar a troca de calor entre o filamento e o meio externo. Então uma peça em latão foi instalada ao fim da matriz. Essa peça tem função de alongar a matriz, permitindo mais tempo para o material se conformar em filamento, como pode ser visto na Figura 44. O latão foi o material escolhido uma vez que possui calor específico de 0,092 cal/g°C contra 0,12 cal/g°C do aço inox 304, uma diferença que representa aproximadamente 30% de eficiência.

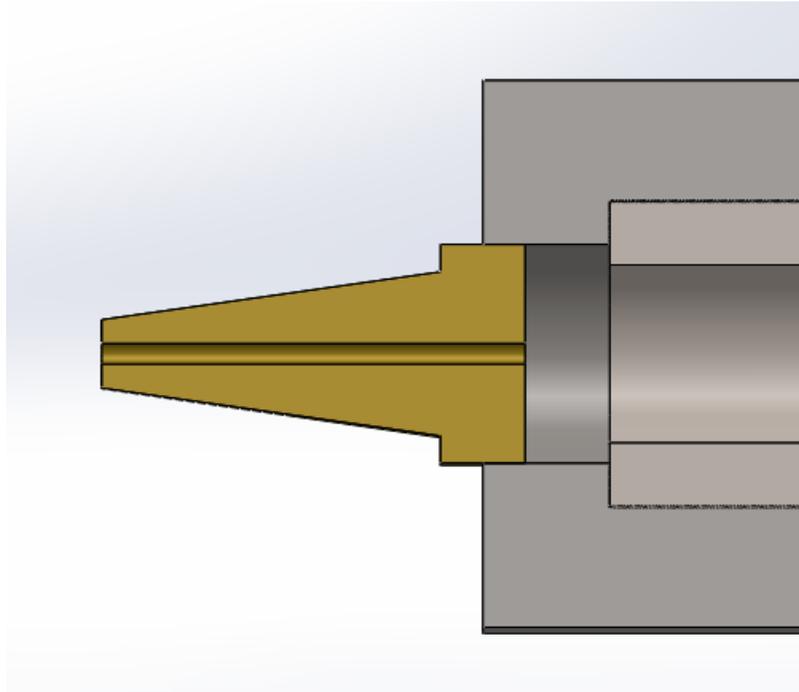


Figura 44 - Ponta extrusora em latão

Fonte: Autor.

Com a instalação dessa nova peça, novos testes foram conduzidos para dessa vez encontrar também a temperatura ideal de operação do equipamento. Sabendo-se que a temperatura de fusão (T_f) não era satisfatória para esse experimento, buscou-se inicialmente trabalhar perto da temperatura de transição vítrea do material, que por testes conduzidos pela SD3D, encontrou as temperaturas observadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Temperatura de Transição Vítrea PLA. Adaptado de SD3D

Propriedades Térmicas	
Transição Vítrea por DSC, ASTM E1356	57 °C
Transição Vítrea por DMA, ASTM D792	63 °C

O fato pelo qual a temperatura de transição vítrea (T_g) serviu como balizador do teste, se dá porque nela o material tem sua estrutura cristalográfica transformada e por consequência suas propriedades mecânicas também são alteradas, como é visto na Figura 45. Por tentativa e erro de encontrar a temperatura ideal de extrusão, iniciar os testes na temperatura de transição vítrea é uma proposta interessante, visto que se gasta menos energia para aquecer o mecanismo e o material já está mais maleável.

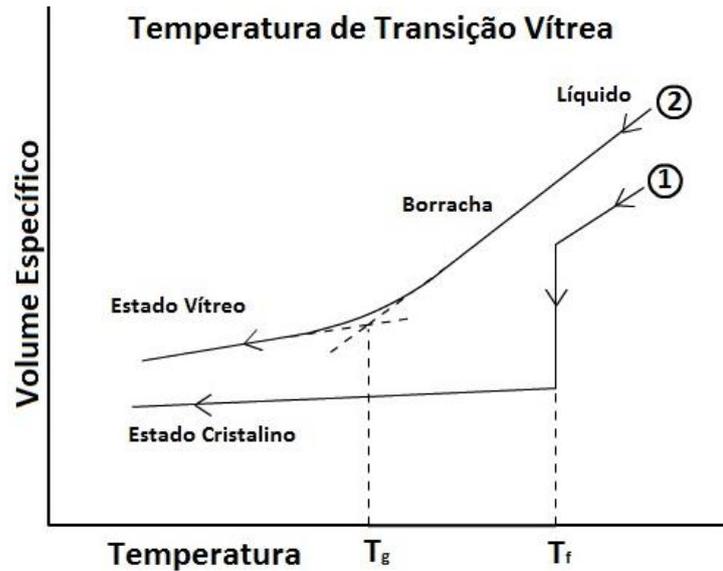


Figura 45 - Gráfico de transição vítrea dos materiais

Fonte: Amorim, Felipe,

Influência da temperatura no comportamento mecânico do polímero DGEBA (Diglicidil Éter Bisfenol A)

Entretanto, os testes a 60°C não foram bem-sucedidos, pois o material não se conformava a essa temperatura, impossibilitando sua extrusão. Com isso, outros testes foram feitos elevando a temperatura previamente configurada, até que a 130°C na ponta da extrusora o material pode ser extrudado, como é observado na Figura 46.



Figura 46 - Filamento extrudado a 130°C

Fonte: Autor.

Na Figura 47 é possível comparar o filamento extrudado com um outro vendido comercialmente pela 3DProcer. Quando comparado, observa-se que a cor e brilho são bastante semelhantes, entretanto, a uniformidade do diâmetro não foi garantida. Outro ponto que pode ser observado é a dureza do material extrudado, tornando-o bastante frágil e impossibilitando-o de ser bobinado.

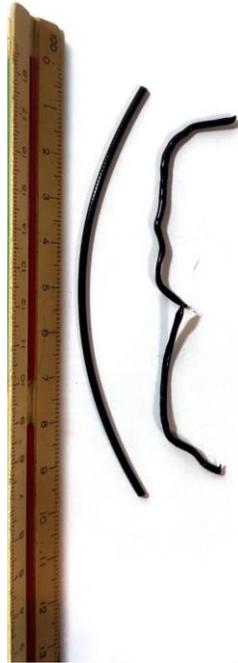


Figura 47 - Comparação de filamento da 3DProcer à esquerda e o extrudado à direita

Fonte: Autor.

Nessa terceira versão do equipamento, foi testada também a utilização de um isolamento térmico na área quente do barril, para que assim pudesse observar o comportamento do aquecimento e seus efeitos no material. Então, uma manta de lã de vidro com uma manta de alumínio autoadesiva foi adicionada na primeira parte do tubo. Esse material possui um calor específico de $0,201 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e é bastante utilizado em tubulações de ar condicionado. Por ser um material barato, de fácil manuseio e boa aplicação, foi escolhido para ser o isolante térmico do equipamento. A manta de lã de vidro com manta de alumínio pode ser vista na Figura 48.



Figura 48 - Manta térmica

Fonte: Autor.

Para entender a eficiência do isolamento térmico foi medido por um período de uma hora com auxílio de instrumentação, quantos ciclos de aquecimento o sistema era submetido. É

importante saber que o Arduino é configurado para uma temperatura alvo, porém a inércia térmica permite uma janela de aproximadamente 20°C. Nesse estudo, em ambos os casos, a temperatura configurada era de 130°C, tendo picos de 146°C e quando estabilizado, mínimas de 123,5°C. Na Figura 49, é possível perceber que para o mesmo período de teste, o equipamento sem isolamento efetua um ciclo a mais de aquecimento quando comparado ao com isolamento térmico. Outro fato interessante de se observar nesse gráfico é que a defasagem aumenta conforme o sistema é aquecido.

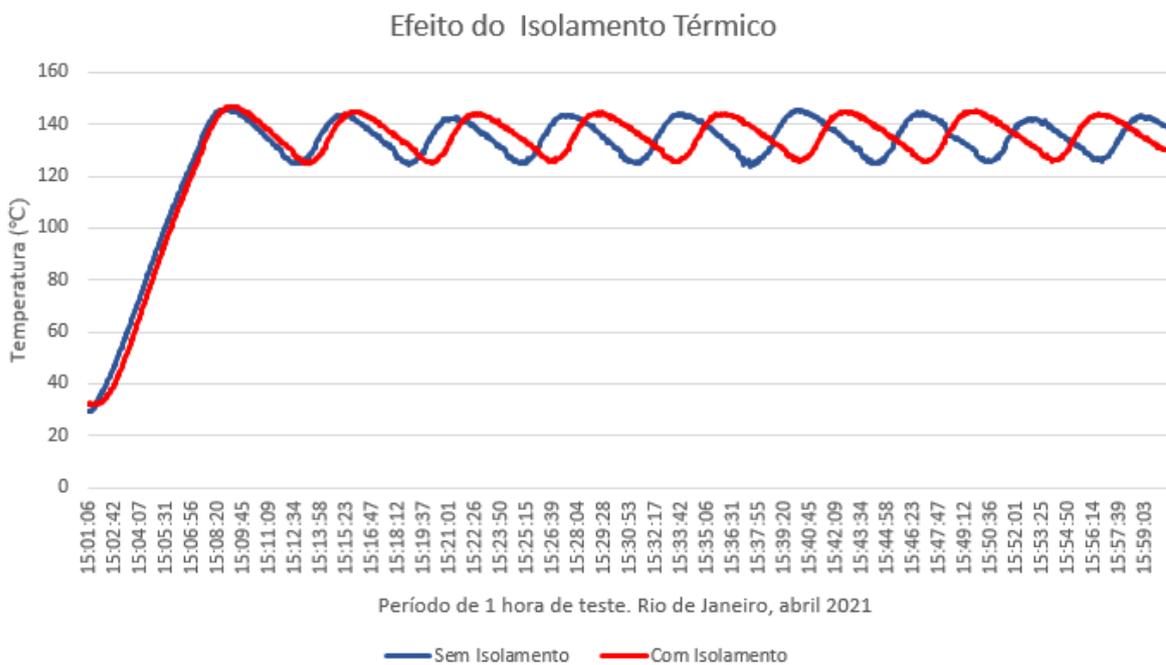


Figura 49 - Gráfico Efeito do Isolante Térmico

Fonte: Autor.

Vale ressaltar que para a segunda versão do protótipo não houve qualquer alteração nos componentes eletrônicos quando comparado com a primeira. Para a terceira versão, o relé que controlava o motor foi substituído por um interruptor tipo gangorra de três estágios, transformando assim, em um acionamento manual, e não mais relacionado a temperatura de trabalho. Isso foi realizado para facilitar a manutenção e, além disso, foi observado que por conta da granulometria irregular da carga, o movimento do fuso por vezes era interrompido e os suportes do motor com a base quebravam devido ao alto torque. Assim, com a instalação desse interruptor, o acionamento só é realizado uma vez que a temperatura do barril permite a movimentação do fuso e, uma vez que o fuso tem seu movimento travado, é possível inverter a direção de rotação para que possa transmitir melhor essa carga.

O layout e montagem da terceira versão do protótipo é visto na Figura 50 e Figura 51.

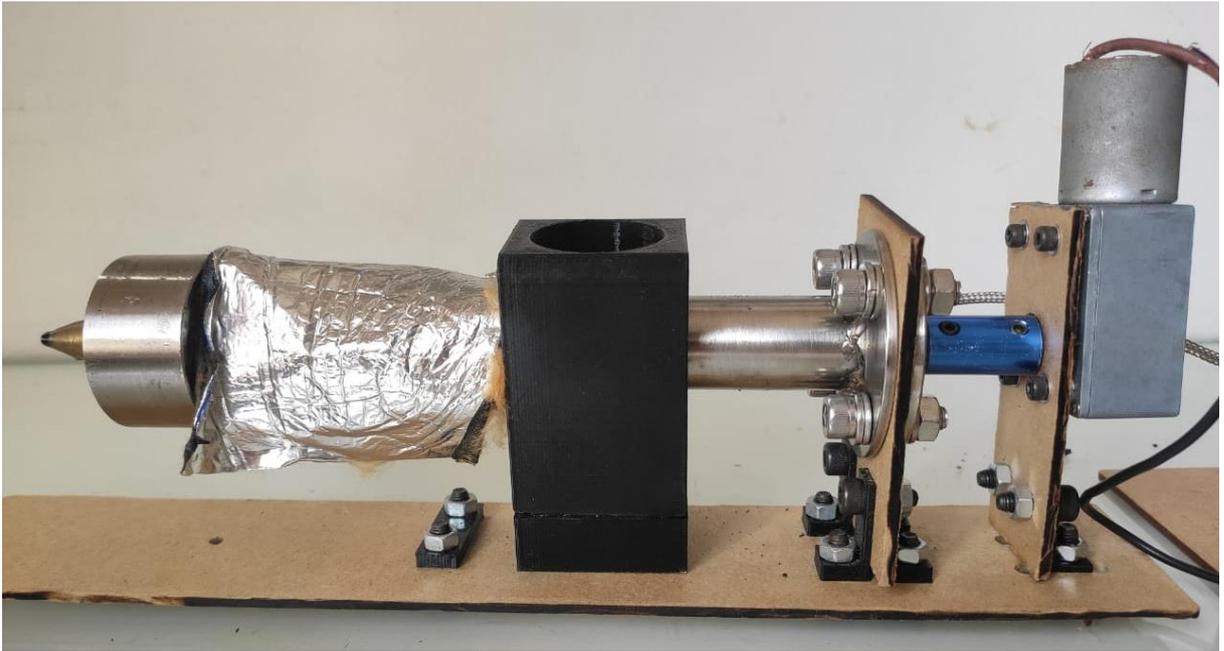


Figura 50 - Terceira versão, vista lateral

Fonte: Autor.

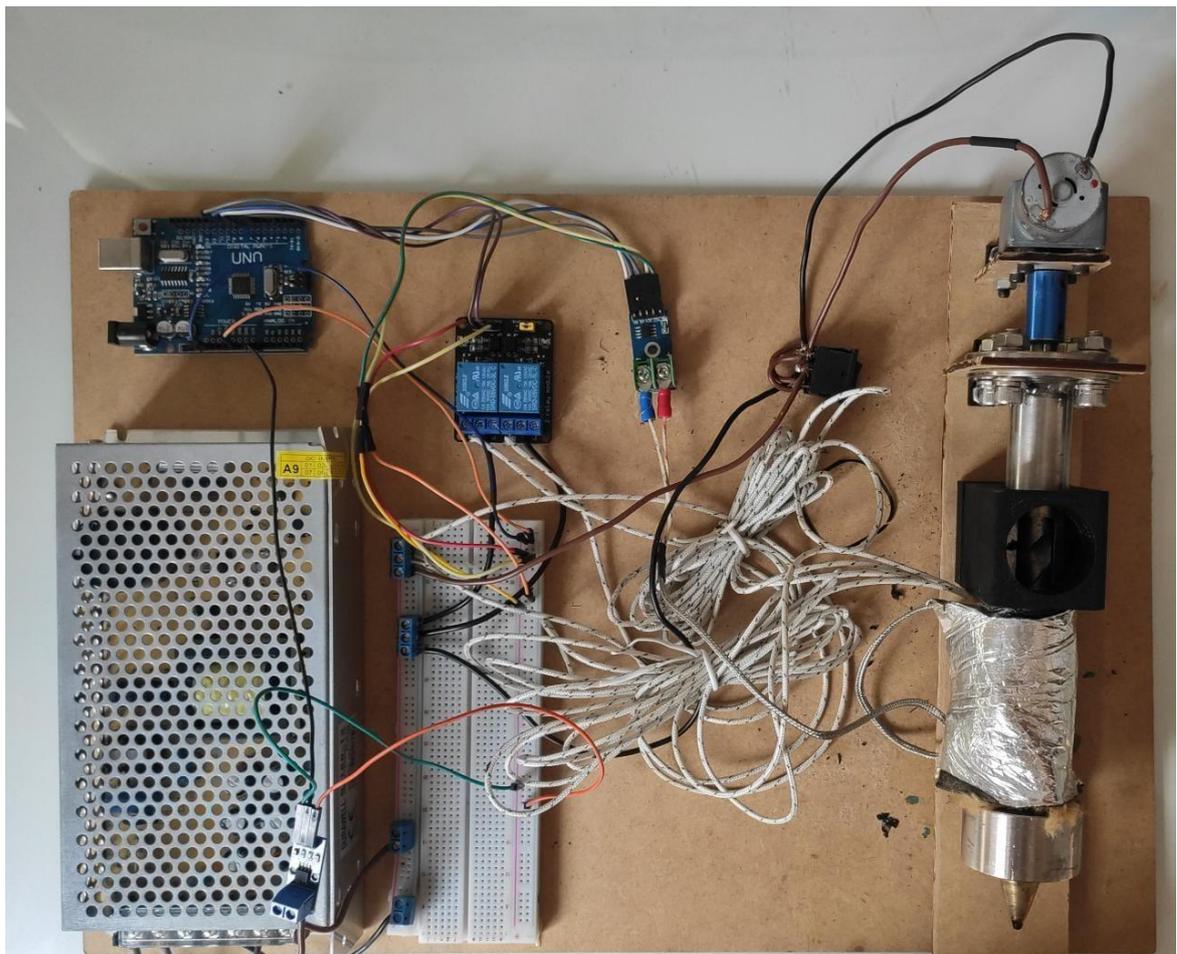


Figura 51 - Terceira versão, vista superior

Fonte: Autor.

4.4. QUARTA VERSÃO

A quarta versão do protótipo buscou o aperfeiçoamento estético do equipamento, dando a ele uma roupagem mais adequada ao protótipo. Para isso, todos os componentes eletrônicos foram postos juntos em um display que contempla também um painel de controles, onde foi instalado uma tela LCD para a leitura e acompanhamento da temperatura. Essas mudanças são observadas na Figura 52.



Figura 52 - Quarta versão do protótipo

Fonte: Autor.

Com o auxílio do Arduino foi possível medir a corrente média do equipamento durante uma hora de operação. O módulo ACS712, mostrado na Figura 53, é capaz de detectar o campo magnético gerado pela corrente através do Efeito Hall. Para realizar essa medição, o sensor foi acoplado ao sistema entre a fonte e o borne de alimentação da protoboard. Assim, foi viável a

compreensão de como o sistema elétrico se comportava durante os ciclos de aquecimento. O gráfico mostrado na Figura 54.



Figura 53 - Módulo ACS712 30A

Fonte: Disponível em <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-corrente-ac712-30a-a-30a/>. Acesso 19/04/2021 .

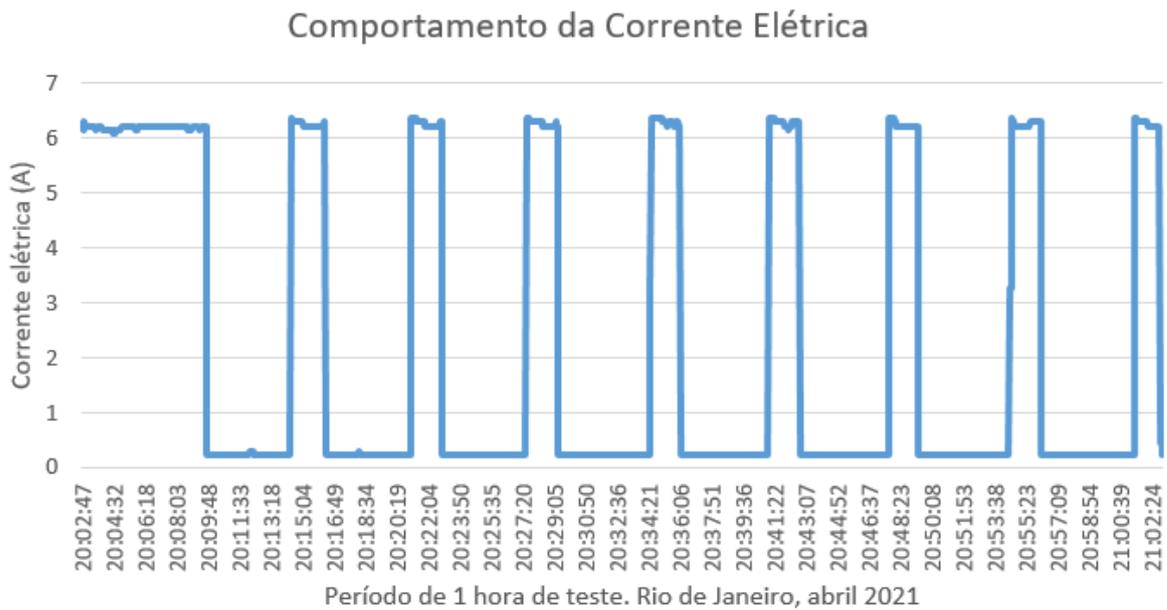


Figura 54 - Gráfico da Corrente no Sistema

Fonte: Autor.

A partir da compreensão do comportamento da corrente elétrica no sistema é possível calcular a potência do equipamento. Utilizando a Fórmula da Potência, mais uma vez:

$$\text{Equação 1 - } P = U \cdot I$$

Em que:

P = Potência elétrica

U = Tensão

I = Corrente

Em que a tensão fornecida pela fonte é de 12V e a média da corrente em uma hora de funcionamento é de 2,28A, a potência do sistema é de 27W.

Com isso, o protótipo final possui uma massa de 2,0kg e 27W de potência.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSÃO

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas ao final do estudo aqui conduzido, assim como recomendações e observações para trabalhos futuros a serem conduzidos na área de reciclagem de resíduos de impressão 3D.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em visto o estudo aqui apresentado, o protótipo criado atendeu parcialmente as expectativas iniciais do projeto. Analisando a Tabela 5, é possível ver que o projeto cumpriu o objetivo econômico, visto que o custo estimado que é exposto no ANEXO A – , e o consumo energético são bastante inferiores aos modelos apresentados no mercado.

Tabela 5 - Comparativo de Equipamentos

Equipamento	Preço	Potência	Massa
FilMaq	R\$3.490,00	500W	-
FelFil	€490,98 (~R\$3.000)	-	5kg
Protótipo	R\$877,30	27W	2kg

O fato de o insumo usado como matéria prima não ser de granulometria uniforme pode ser visto como um empecilho para a extrusão contínua e uniforme de material. Já que causa lacunas na alimentação do fuso extrusor.

Como o material extrudado não adquiriu as propriedades mecânicas esperadas, principalmente a tenacidade do polímero, não foi possível conduzir testes de impressão com esse filamento frágil, embora visualmente muito se parecia com os modelos comerciais.

5.2. SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Devido à pandemia do COVID-19 e por consequência o fechamento das instalações do CEFET/RJ, os métodos de pesquisa para esse trabalho precisaram ser adaptados. Por conta disso, alguns testes não puderam ser executados e certas montagens adiadas, como a prototipação dos sistemas associados. Para trabalhos futuros, o autor sugere:

- Que se faça um melhor controle da granulometria da carga, seja com um triturador de peças, ou ainda que com peneiras;
- Que se utilize uma broca de pua para que mais material possa ser carregado pela broca até a matriz extrusora, aproveitando assim, sua geometria mais favorável se comparada as brocas de concreto;

- Que se utilize um mecanismo de acoplamento dos cartuchos que permita uma melhor distribuição de calor, que não apenas na ponta extrema da extrusora.
- Que se faça um estudo teórico a respeito das perdas de calor associadas ao experimento, afim de se obter a temperatura teórica ideal para a extrusão do polímero.
- Que se instale um módulo regulador de tensão, para que o Arduino seja alimentado em 5V. Assim, o equipamento pode ser operado de forma independente do cabo USB.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT NBR 15107:2017, **Máquinas fragmentadoras para plásticos — Requisitos de segurança para moinhos granuladores e trituradores**, 2017

Acevedo, Carlos A. G., **Diseño De Una Extrusora Para Filamento De Impresión 3D**, Universidad de Chile, 2015.

Amorim, Felipe do Carmo, **Influência da Temperatura no Comportamento Mecânico do Polímero Dgeba (Diglicidil Éter Bisfenol A)**, UFF, 2015.

Callister Jr., W.D., **Ciência e Engenharia dos Materiais, uma Introdução**, 8ª Edição, Ed. Guanabara, 2008. Askeland, Donald R, Phulé, P.P.;

Grooms, Mark D, **Filament Extruder for Recycling 3D Printer Scrap**, University of Cincinnati, 2016

Pessi, Fernando, Pagliosa, Thiago A., **Projeto E Construção de uma Mini Extrusora de Filamentos**, UTFP, 2018.

Silva, Fabio M. R. da, **Projeto de Extrusora de Filamento para Impressora 3D**, UTFP, 2018.

UNEP, **Life Cycle Approaches**, The road from analysis to practice, 2005

3DLAB, **Propriedades-dos-Materiais-para-Impressora-3D**. Disponível em <https://3dlab.com.br/propriedades-dos-materiais-para-impressora-3d/>. Acesso em 20/05/2021.

ANEXO A – LISTA DE MATERIAIS

BOM do Protótipo				
Item	Descrição	Quantidade	Custo Unit.	Custo Total
1	Barril de extrusão	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00
2	Broca	1	R\$ 45,00	R\$ 45,00
3	Motor JGY370 12V10RPM	1	R\$ 99,90	R\$ 99,90
4	Funil de alimentação	1	R\$ 4,00	R\$ 4,00
5	Arduino Uno	1	R\$ 50,00	R\$ 50,00
6	Cartucho aquecedor	2	R\$ 20,00	R\$ 40,00
7	Termopar + MAX6675	1	R\$ 55,00	R\$ 55,00
8	Matriz de extrusão	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00
9	Ponta de latão	1	R\$ 80,00	R\$ 80,00
10	Fonte Chaveada 12V/15A	1	R\$ 75,00	R\$ 75,00
11	Parafusos Inox M6	4	R\$ 2,00	R\$ 8,00
12	Arruelas Inox M6	8	R\$ 0,50	R\$ 4,00
13	Arruelas de pressão Inox M6	4	R\$ 0,80	R\$ 3,20
14	Parafusos SAE1020 M5	8	R\$ 1,50	R\$ 12,00
15	Parafusos SAE1020 M3	4	R\$ 1,00	R\$ 4,00
16	Arruela SAE1020 M3	4	R\$ 0,30	R\$ 1,20
17	Acoplador	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00
18	Relé duplo	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
19	LCD + I2C	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00
20	ACS712	1	R\$ 28,00	R\$ 28,00
21	Folhas A3 MDF 3mm	1	R\$ 3,00	R\$ 3,00
Custo Total				R\$ 877,30

ANEXO B – CÓDIGO DO ARDUINO COM LEITOR DE CORRENTE

```

#include "max6675.h" //INCLUSÃO DE BIBLIOTECA
#define pin1 6 // cartucho
#define pin2 7 // cartucho

int ktcSO = 8; //PINO DIGITAL (SO)
int ktcCS = 9; //PINO DIGITAL (CS)
int ktcCLK = 10; //PINO DIGITAL (CLK / SCK)

//leitor de corrente ACS712 30A
float corrente;
float sensibilidade = 0.066; //- Para 30A, sensibilidade = 0.066;

MAX6675 ktc(ktcCLK, ktcCS, ktcSO); //CRIA UMA INSTÂNCIA UTILIZANDO OS PINOS
(CLK, CS, SO)

void setup() {
  pinMode (pin1, OUTPUT);
  Serial.begin(9600); //INICIALIZA A SERIAL
  delay(2000);

  pinMode (pin2, OUTPUT);
  Serial.begin(9600); //INICIALIZA A SERIAL
  delay(2000);

}

void loop() {
  corrente = calculoCorrente(filtroDaMedia()); //Calcula a corrente

  Serial.print("Temperatura: "); //IMPRIME O TEXTO NO MONITOR SERIAL
  Serial.print(ktc.readCelsius()); //IMPRIME NO MONITOR SERIAL A
TEMPERATURA MEDIDA
  Serial.print("°C"); //IMPRIME O TEXTO NO MONITOR SERIAL
  Serial.print("Corrente: ");
  Serial.print(corrente,3);
  Serial.println(" A");
  delay(2000);

  if (ktc.readCelsius()<130){digitalWrite (pin1,LOW);}
  if (ktc.readCelsius()>131){digitalWrite (pin1,HIGH);}

  if (ktc.readCelsius()<130){digitalWrite (pin2,LOW);}
  if (ktc.readCelsius()>131){digitalWrite (pin2,HIGH);}

}

// A função "calculoCorrente" vai converter o sinal recebido pelo arduino
em A0 em valor de corrente.
float calculoCorrente(int sinalSensor) {
  return (float) (sinalSensor-508)*(5.000)/(1023.000*sensibilidade);
}
// A função "filtroDaMedia" serve para retirar o ruído do sinal do sensor.
// Nessa função, o sinal do sensor é captado mil vezes, somamos essas
amostras e dividimos por 1000. Obtemos assim a média aritmética de 1000
amostras.
int filtroDaMedia(){

```

```
long somaDasCorrentes=0, mediaDasCorrentes;
for(int i=0; i<1000; i++){
    somaDasCorrentes+=analogRead(A0);
    delay(1);
}
mediaDasCorrentes=somaDasCorrentes/1000;
return mediaDasCorrentes;
}
```

ANEXO C – CÓDIGO DO ARDUINO PARA A QUARTA VERSÃO DO PROTÓTIPO

```

#include "max6675.h" //INCLUSÃO DE BIBLIOTECA
#include <Wire.h> //INCLUSÃO DE BIBLIOTECA
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //INCLUSÃO DE BIBLIOTECA

#define pin1 6 // cartucho
#define pin2 7 // cartucho

int ktcSO = 8; //PINO DIGITAL (SO)
int ktcCS = 9; //PINO DIGITAL (CS)
int ktcCLK = 10; //PINO DIGITAL (CLK / SCK)

LiquidCrystal_I2C lcd(0x03F,2,1,0,4,5,6,7,3, POSITIVE); //ENDEREÇO DO I2C E
DEMAIS INFORMAÇÕES
MAX6675 ktc(ktcCLK, ktcCS, ktcSO); //CRIA UMA INSTÂNCIA UTILIZANDO OS PINOS
(CLK, CS, SO)

void setup() {

    pinMode (pin1, OUTPUT);
    pinMode (pin2, OUTPUT);
    lcd.begin (16,2); //SETA A QUANTIDADE DE COLUNAS(16) E O NÚMERO DE
LINHAS(2) DO DISPLAY
    lcd.setBacklight(HIGH); //LIGA O BACKLIGHT (LUZ DE FUNDO)
}

void loop() {

    lcd.setCursor(0,0); //SETA A POSIÇÃO DO CURSOR
    lcd.print("Temp: "); //IMPRIME O TEXTO NO MONITOR SERIAL
    lcd.print(ktc.readCelsius()); //IMPRIME NO MONITOR SERIAL A TEMPERATURA
MEDIDA
    lcd.print("*C"); //IMPRIME O TEXTO NO MONITOR SERIAL
    delay (2000);

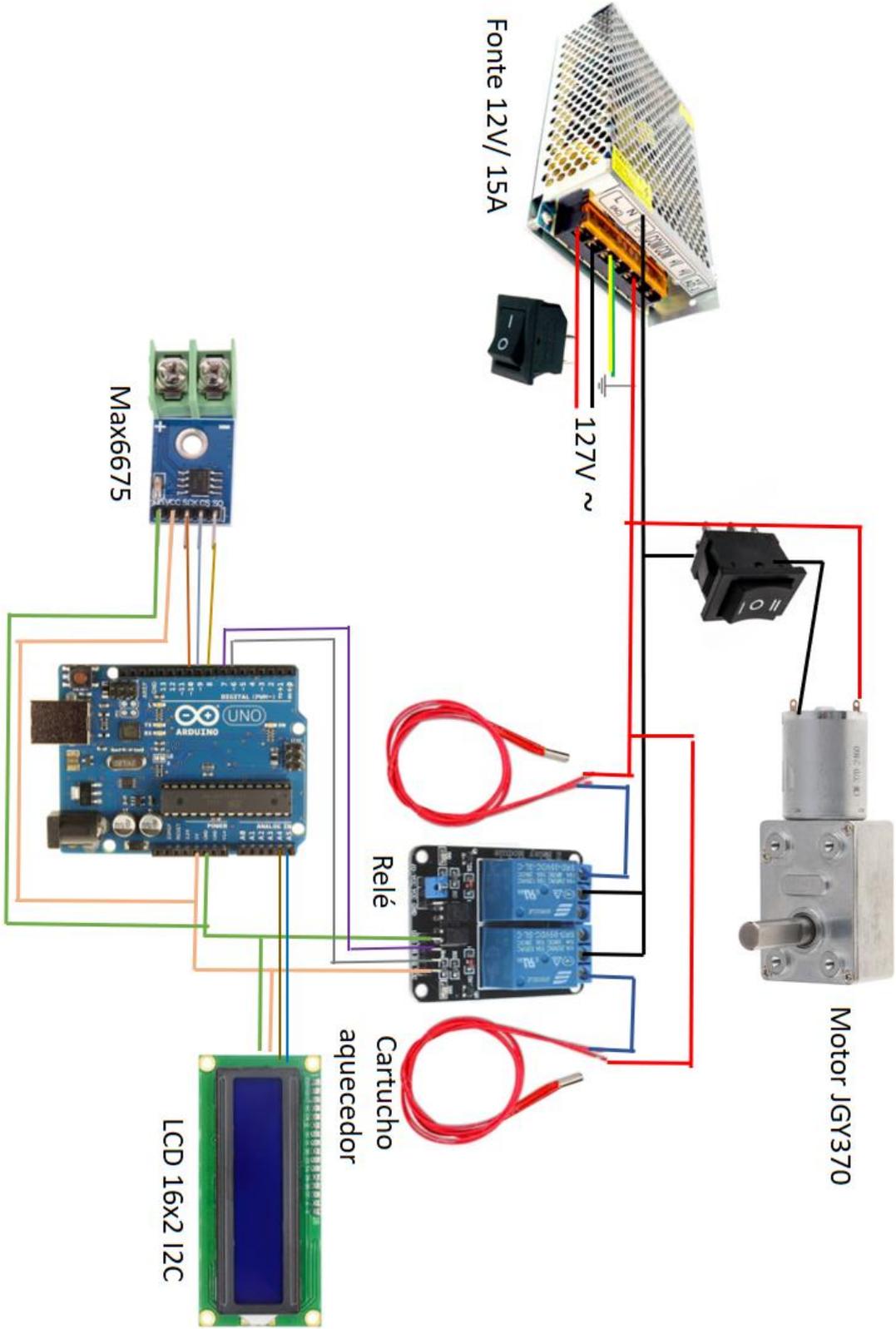
    if (ktc.readCelsius()<130){digitalWrite (pin1,LOW);}
    if (ktc.readCelsius()>131){digitalWrite (pin1,HIGH);}

    if (ktc.readCelsius()<130){digitalWrite (pin2,LOW);}
    if (ktc.readCelsius()>131){digitalWrite (pin2,HIGH);}

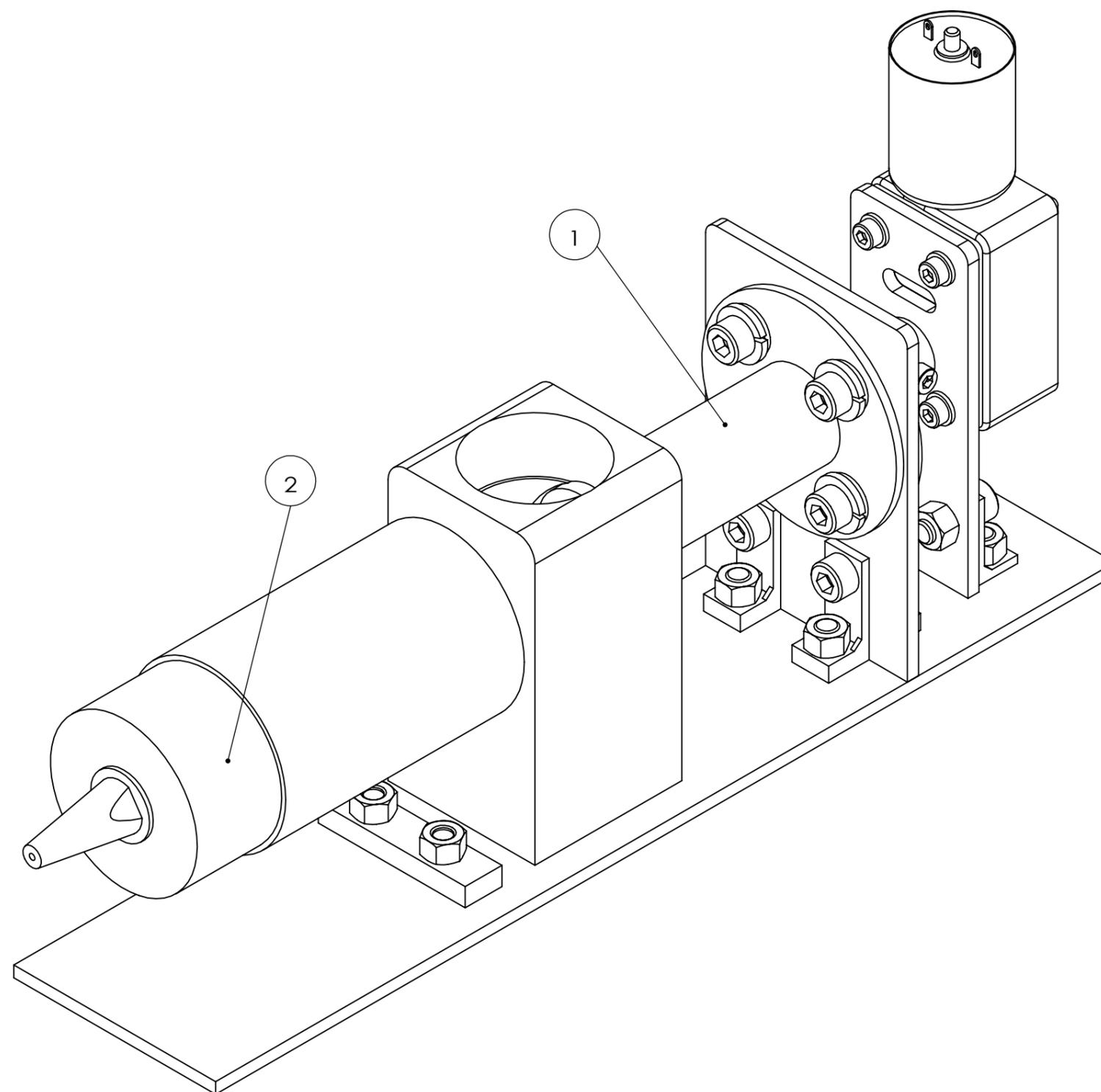
}

```

ANEXO D – ESQUEMA DE LIGAÇÕES DO SISTEMA



ANEXO E – DESENHOS TÉCNICOS



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	QTD.	FOLHA
1	Tubo Flangeado	1	4
2	Alojamento cartuchos	1	5
3	JGY370	1	-
4	Acoplador Motor	1	-
5	Suporte motor	1	6
6	Base	1	7
7	Suporte alimentador	1	8
8	Isolamento térmico	1	-
9	Matriz extrusora	1	9
10	Flange	1	10
11	Fuso extrusor	1	-
12	Suporte flange	1	11
13	Cantoneira motor	2	12
14	Cantoneira flange	4	13
15	Espaçador	1	-
16	Parafuso sextavado 3 x 0.5 x 5	4	-
17	Parafuso sextavado 5 x 0.8 x 10	2	-
18	Parafuso sextavado 5 x 0.8 x 16	4	-
19	Arruela lisa 3 mm	4	-
20	Arruela lisa 5 mm	8	-
21	Porca M5	12	-
22	Porca M5	4	-
23	Arruela de pressão	4	-
24	Cap m5	8	-
25	Parafuso allen M5	10	

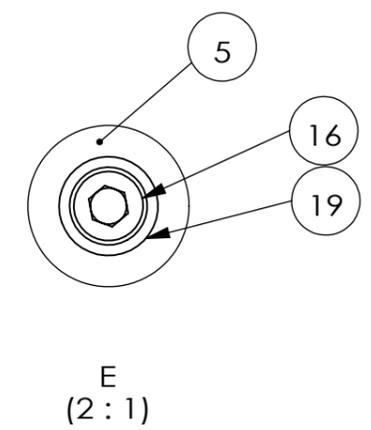
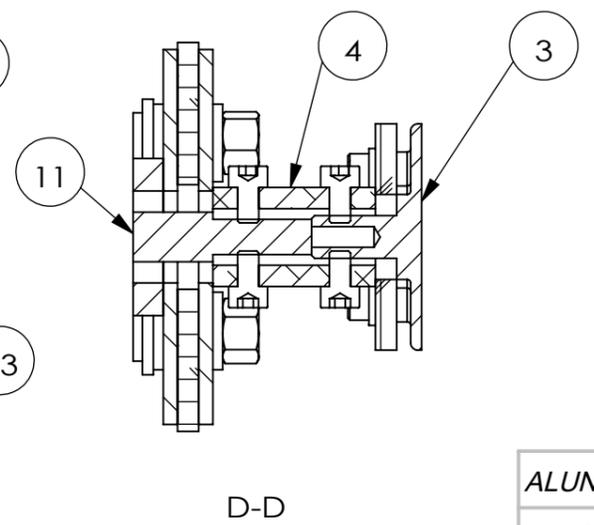
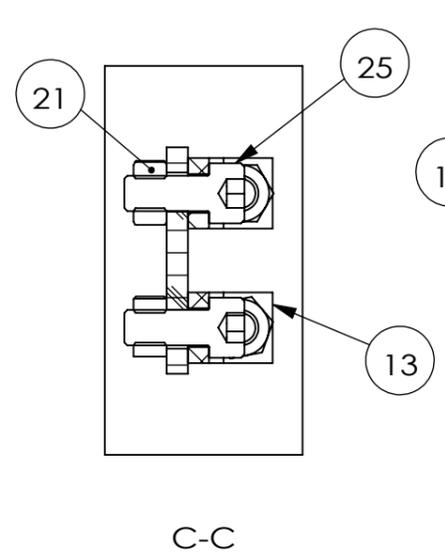
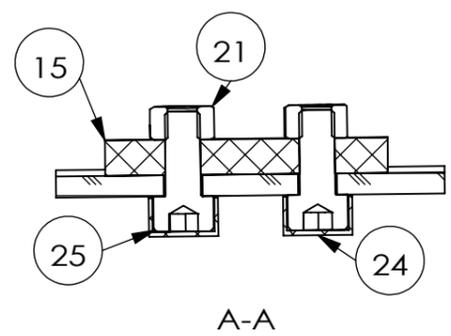
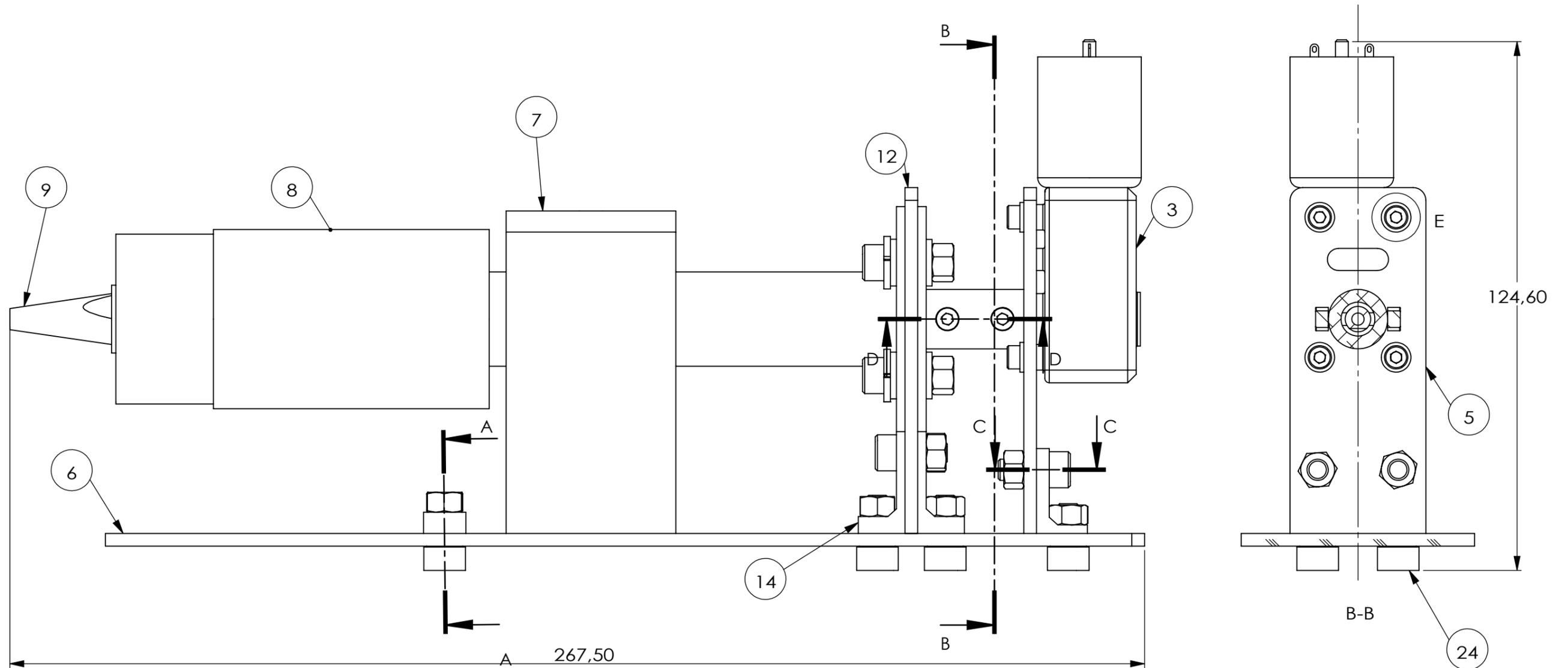
ALUNO *Natan Cytrynbaum*
 PROF *Leydervan de Souza Xavier*
 DATA *Abril/2021* VISTO
 ESC. *TÍTULO*
1:5 *Extrusora de Filamento*



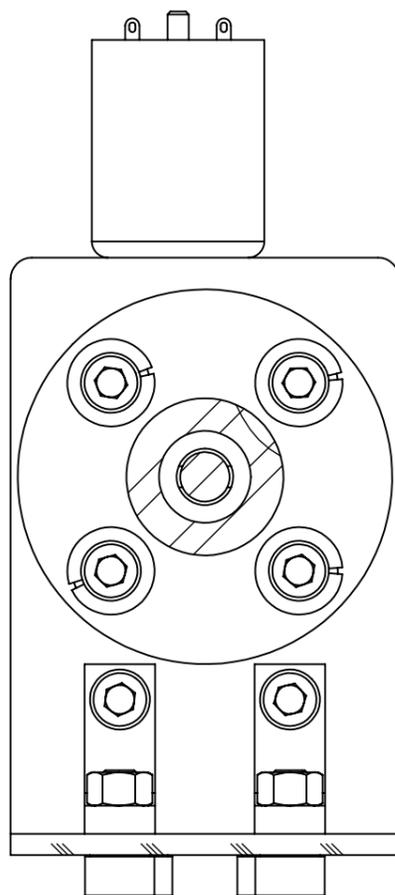
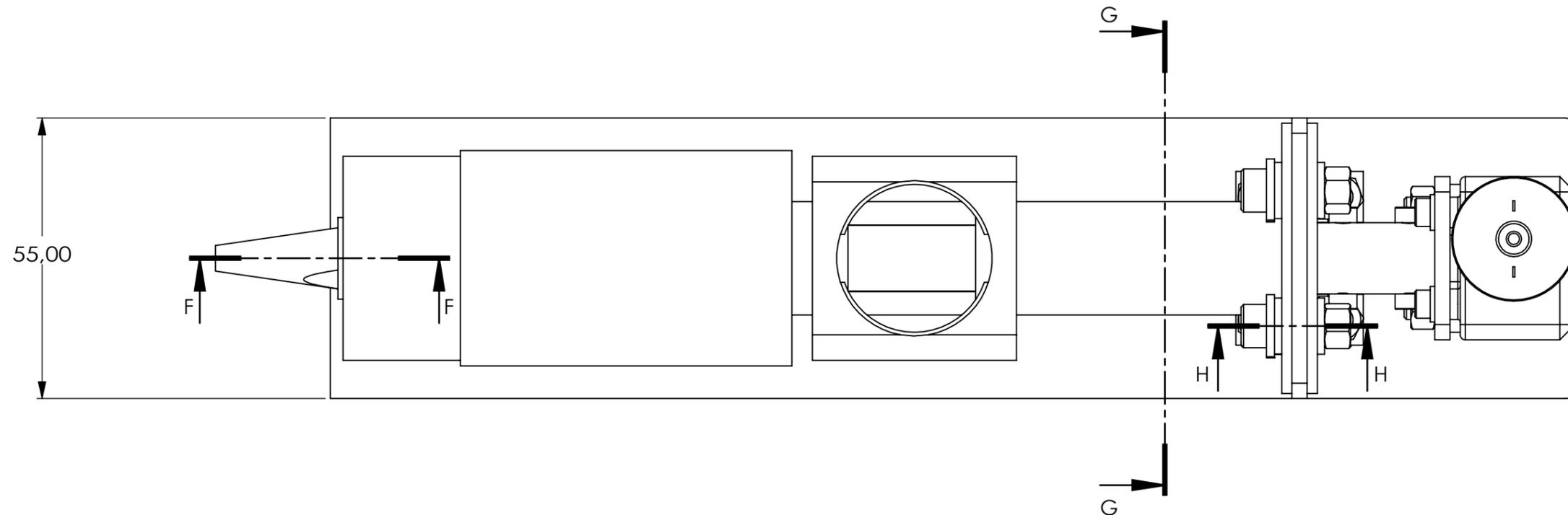
TURMA *190609* NÚMERO FOLHA Nº
1

NÚMERO DO DESENHO

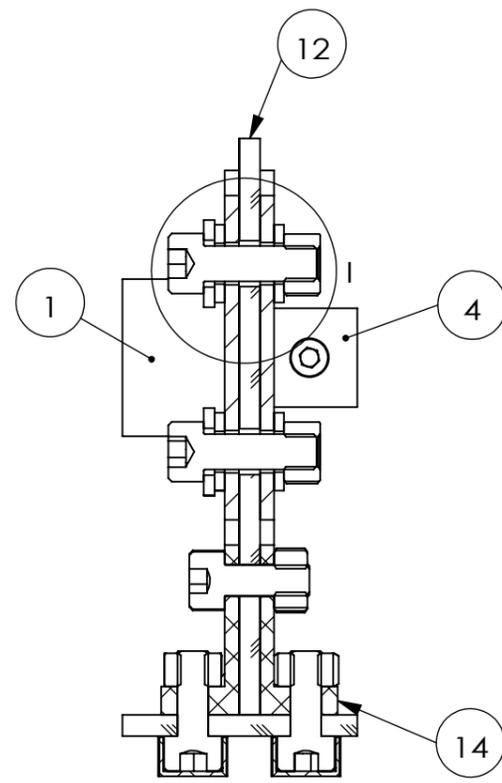




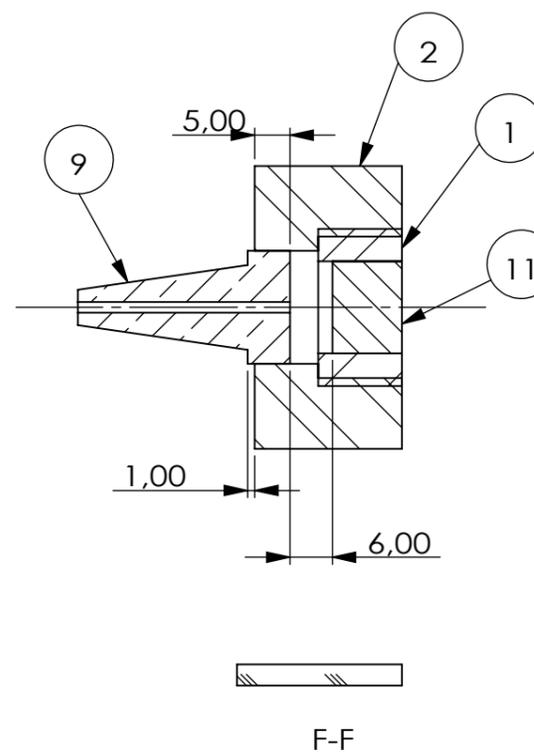
ALUNO	Natan Cytrynbaum				
PROF	Leydervan de Souza Xavier				
DATA	Abril/2021	VISTO			
ESC.	TÍTULO		TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
1:5	Extrusora de Filamento		190609		2
			NÚMERO DO DESENHO		



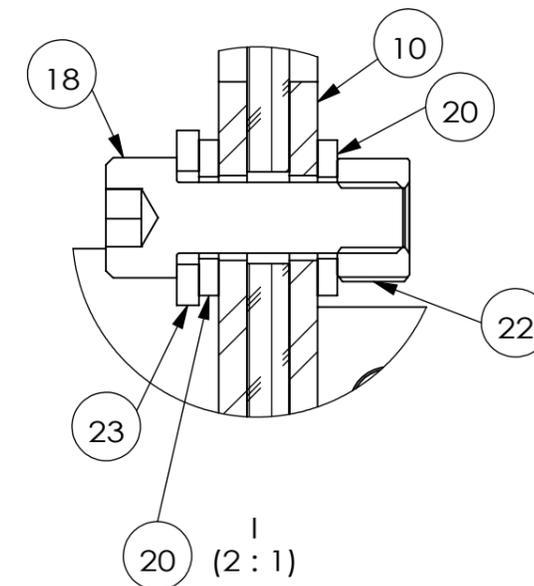
G-G



H-H



F-F

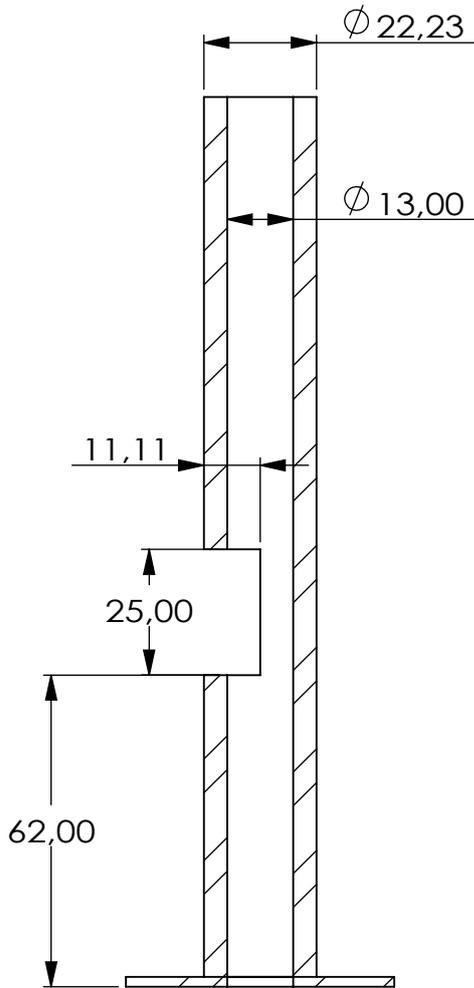


I-I
(2:1)

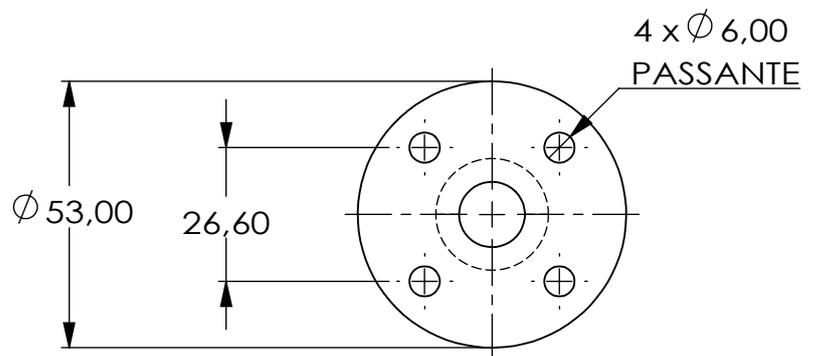
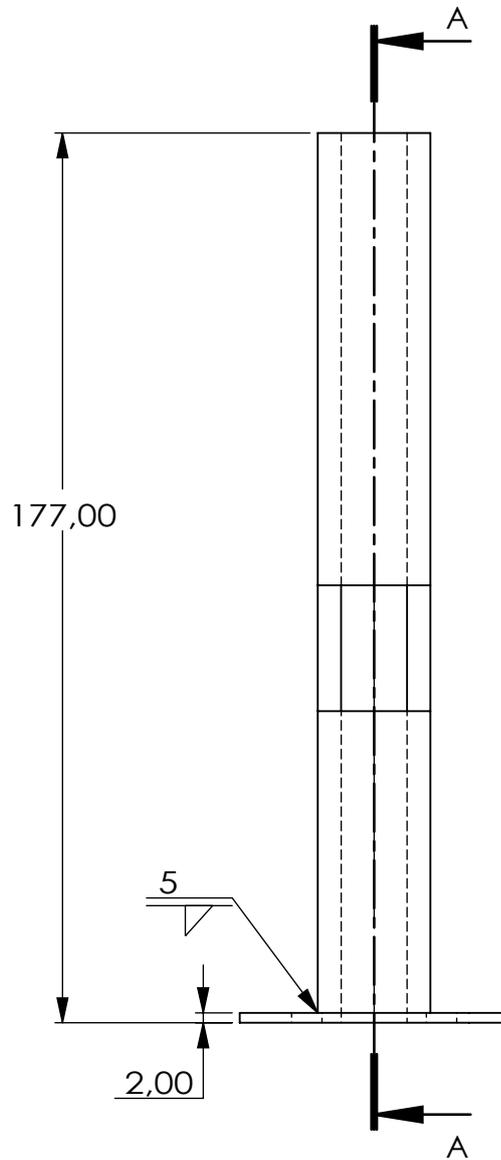
ALUNO	Natan Cytrynbaum		
PROF	Leydervan de Souza Xavier		
DATA	Abril/2021	VISTO	
ESC.	TÍTULO		
1:5	Extrusora de Filamento		



TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
190609		3
NÚMERO DO DESENHO		



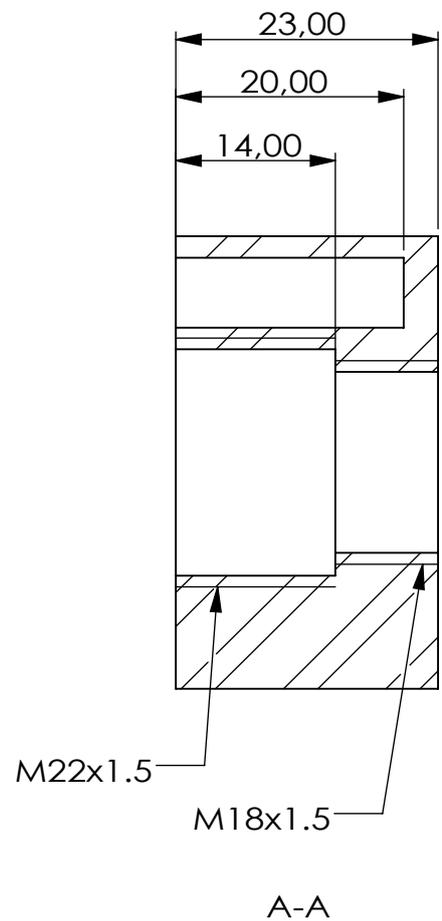
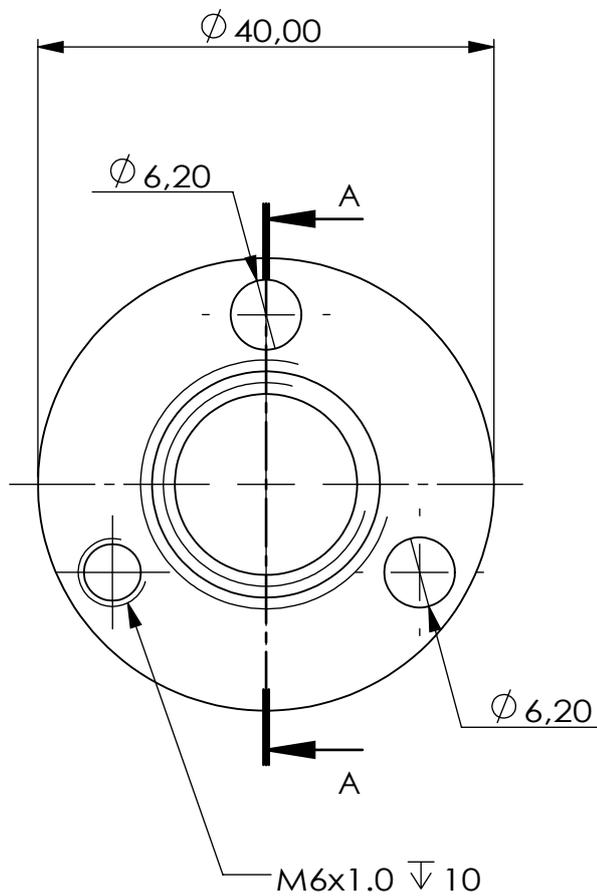
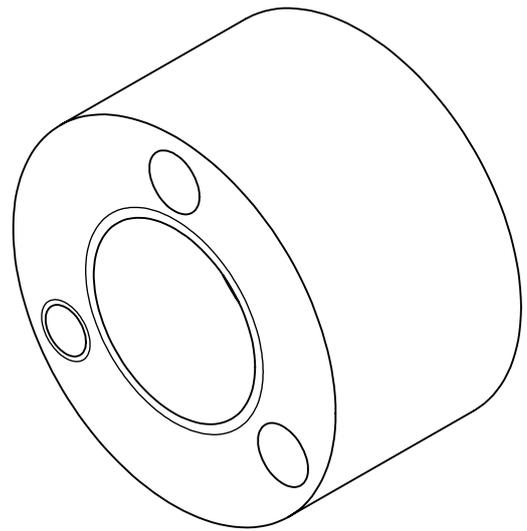
Seção A-A



ALUNO	Natan Cytrynbaum		
PROF	Leydervan de Souza Xavier		
DATA	Abril/2021	VISTO	
ESC.	TÍTULO		
1:1	Tubo flangeado		



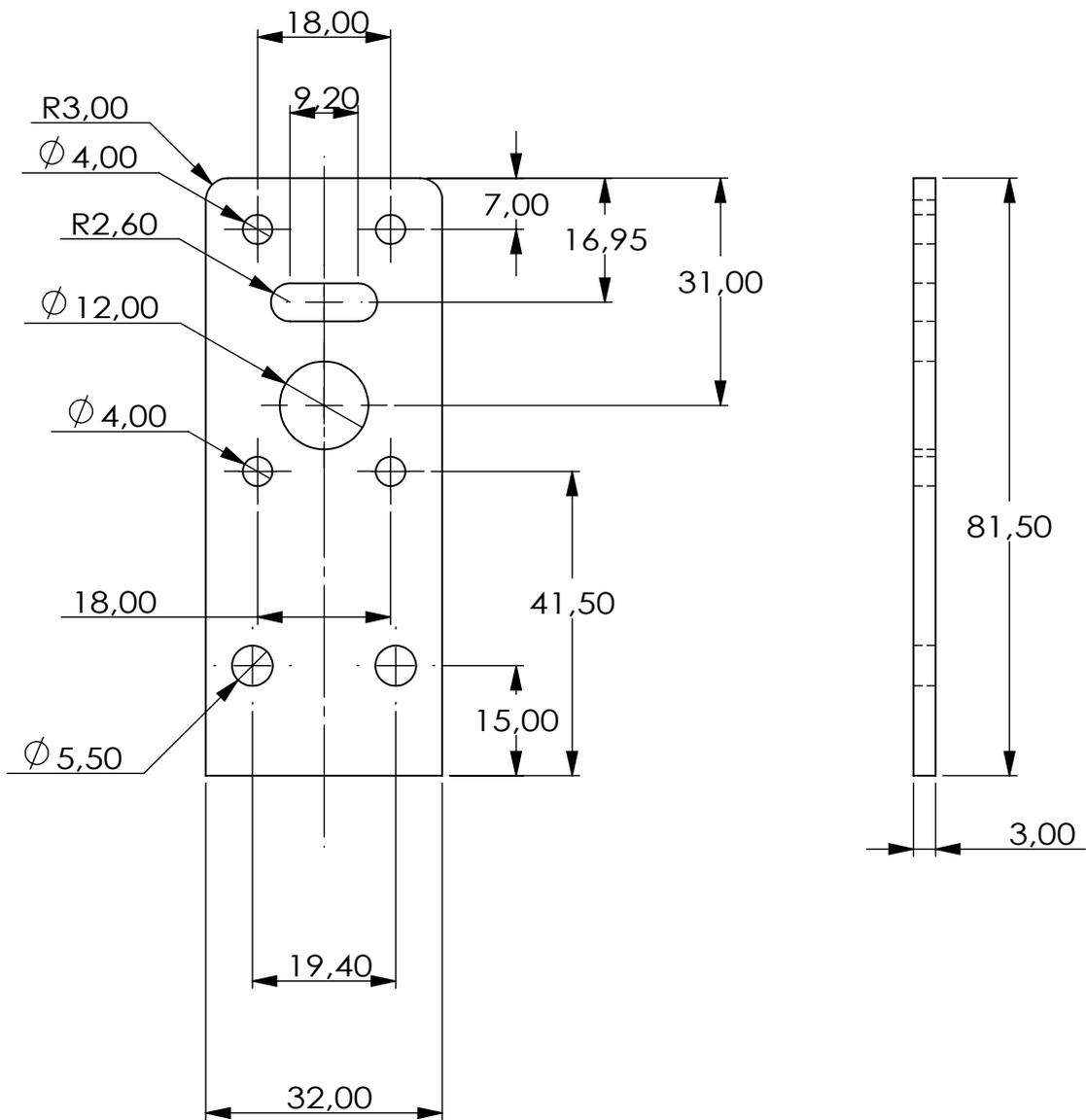
TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
190609		4
NÚMERO DO DESENHO		
1		



ALUNO	Natan Cytrynbaum		
PROF	Leydervan de Souza Xavier		
DATA	Abril/2021	VISTO	
ESC.	TÍTULO		
3:2	Alojamento cartuchos - Inox 304		



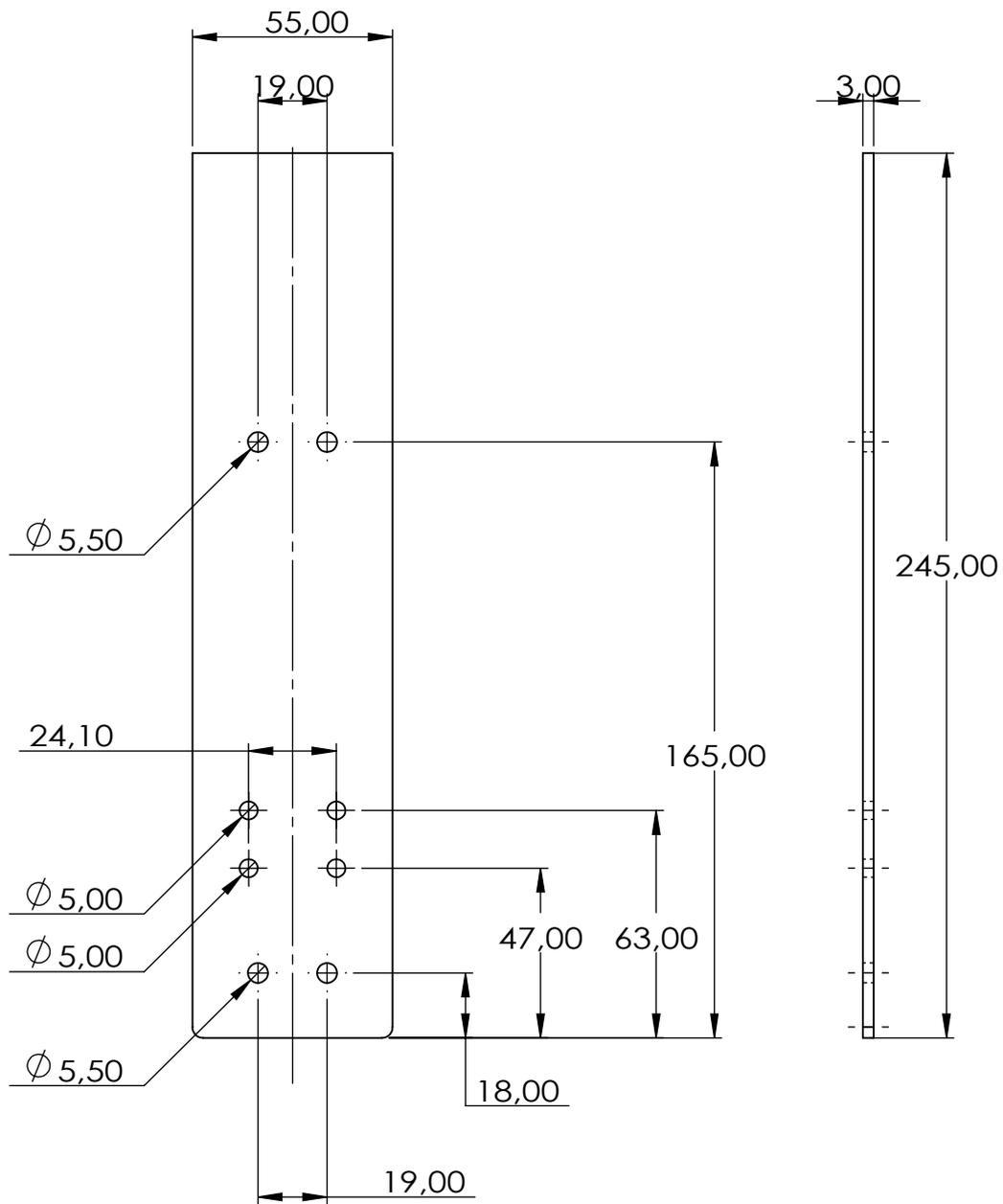
TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
190606		5
NÚMERO DO DESENHO		
2		



ALUNO	Natan Cytrynbaum		
PROF	Leydervan de Souza Xavier		
DATA	Abril/2021	VISTO	



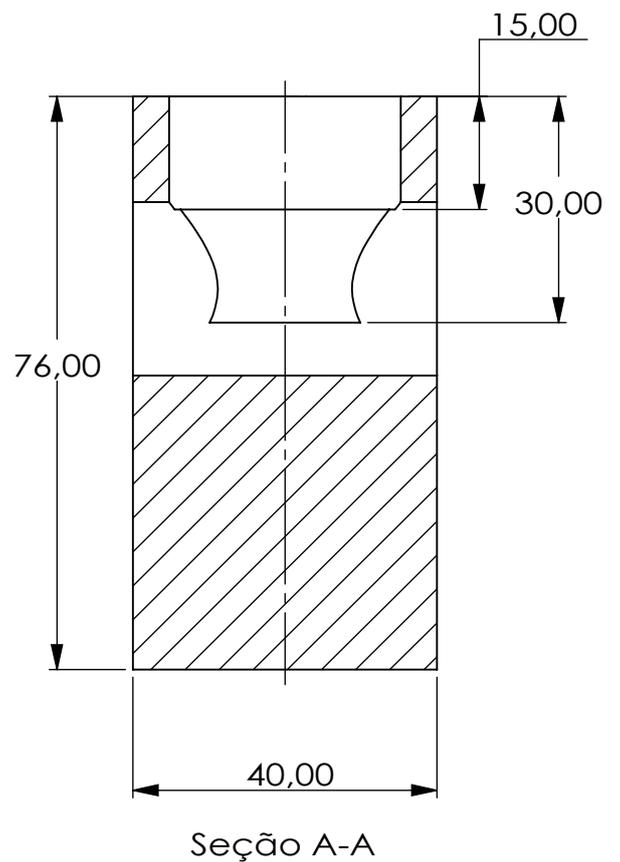
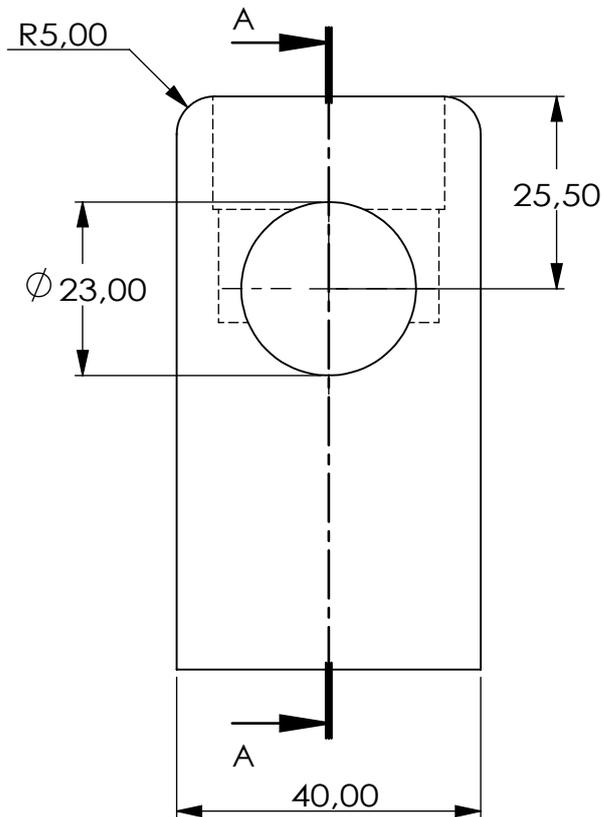
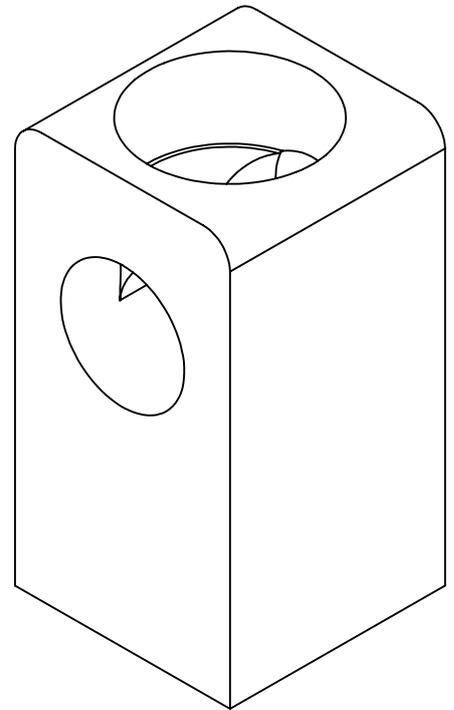
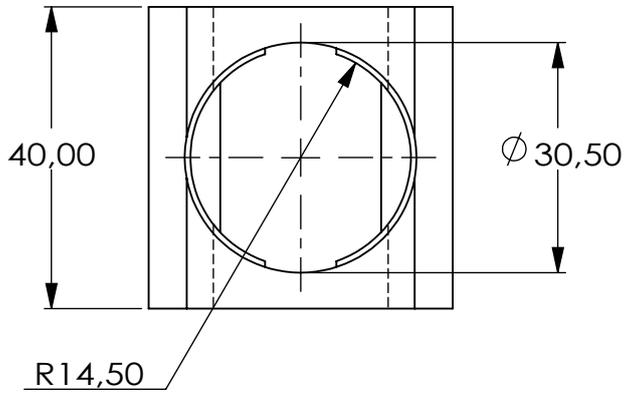
ESC.	TÍTULO	TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
1:1	Suporte motor - MDF 3mm	190606		6
		NÚMERO DO DESENHO		
		5		



ALUNO	Natan Cytrynbaum		
PROF	Leydervan de Souza Xavier		
DATA	Abril/2021	VISTO	



ESC.	TÍTULO	TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
1:2	Base - MDF 3mm	190606		7
		NÚMERO DO DESENHO		
		6		

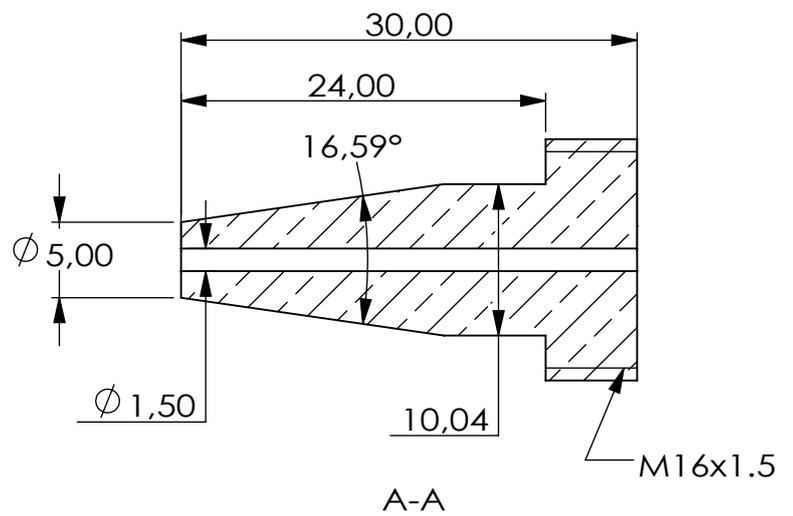
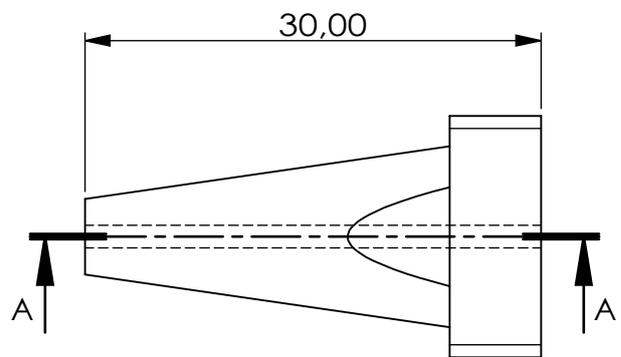
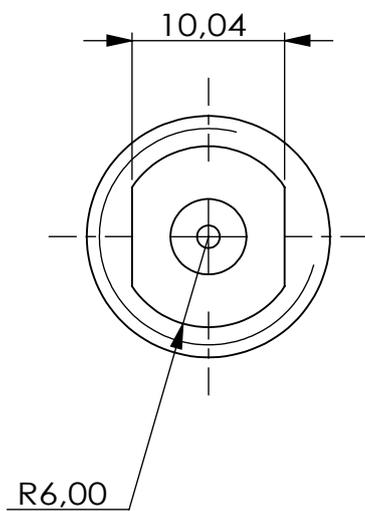
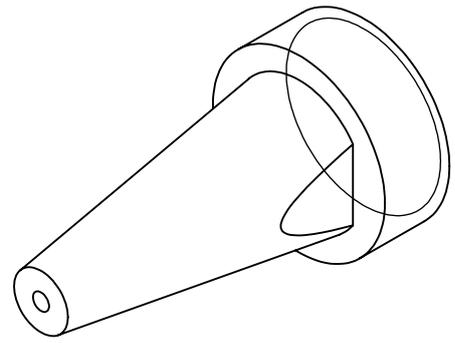


ALUNO	Natan Cytrynbaum		
PROF	Leydervan de Souza Xavier		
DATA	Abril/2021	VISTO	



ESC.	TÍTULO		
1:1	Suporte alimentador - PLA		

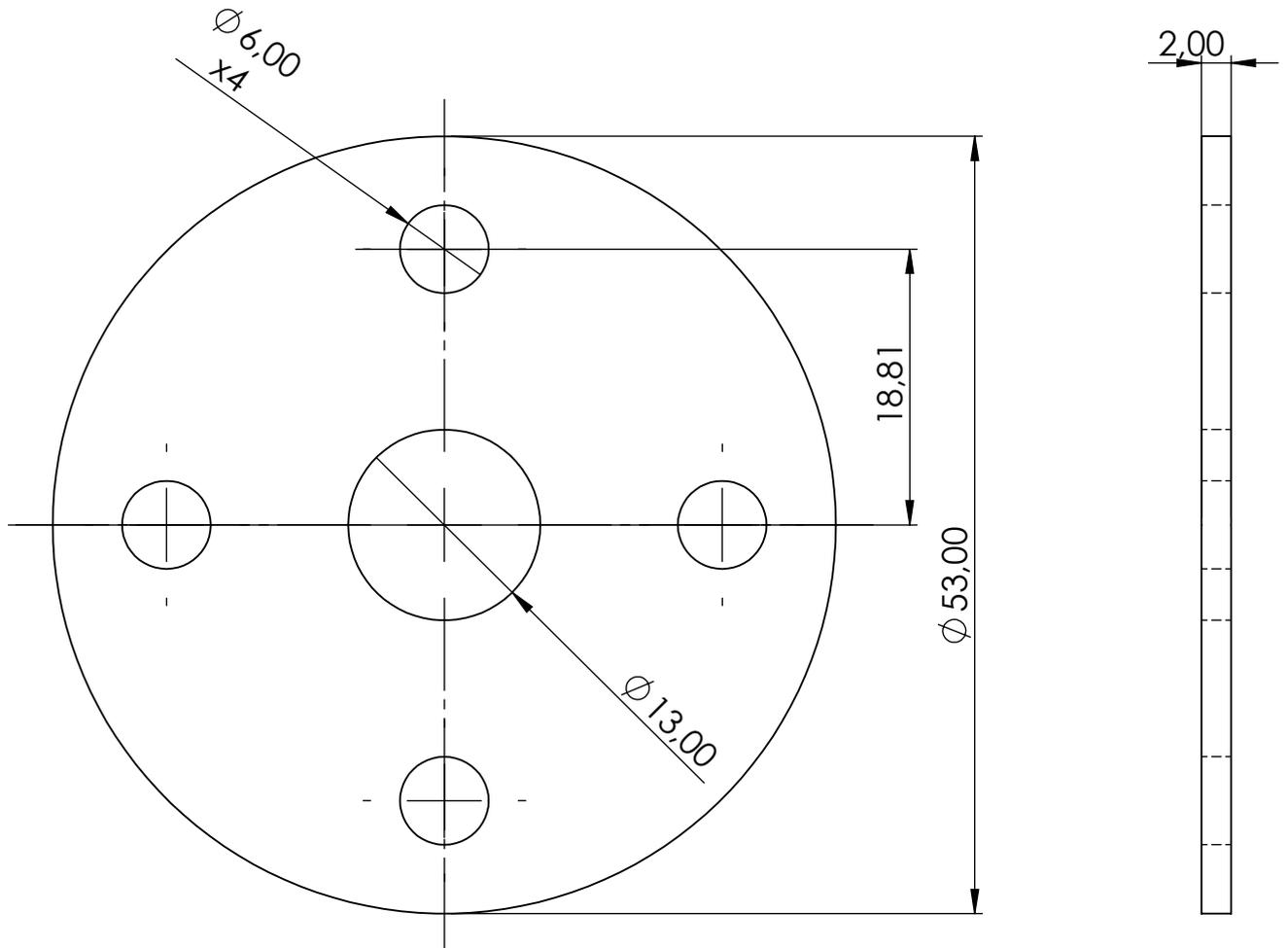
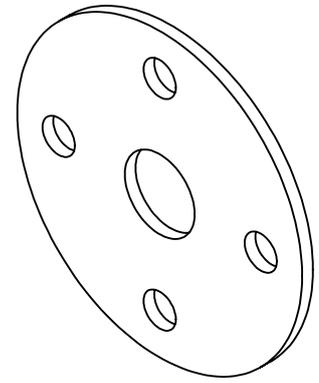
TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
190606		8
NÚMERO DO DESENHO		
7		



ALUNO	Natan Cytrynbaum		
PROF	Leydervan de Souza Xavier		
DATA	Abril/2021	VISTO	
ESC.	TÍTULO		
2:1	Matriz Extrusora - Latão		



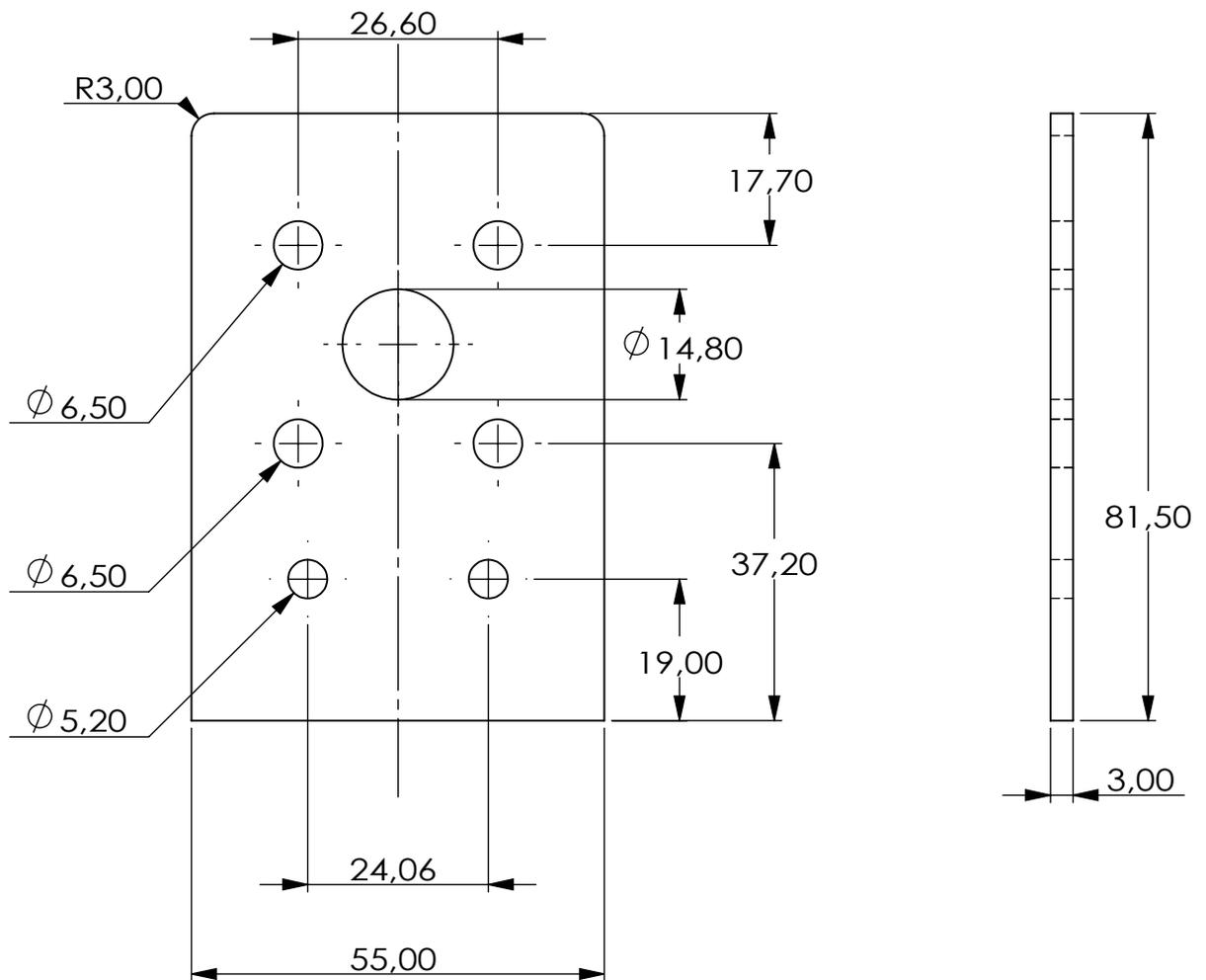
TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
190606		9
NÚMERO DO DESENHO		
9		



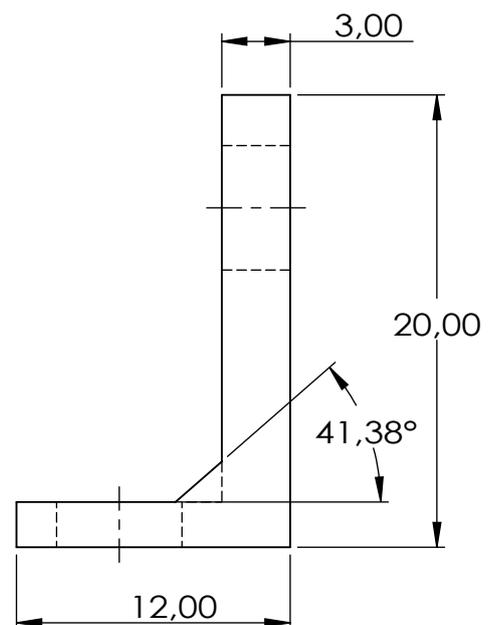
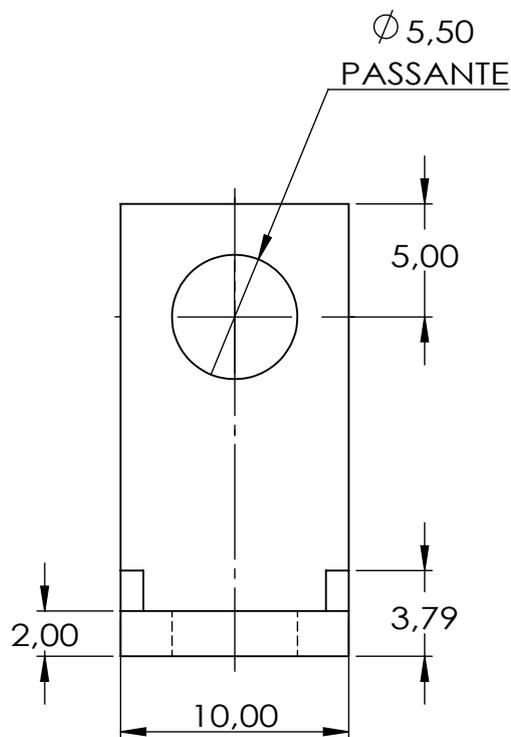
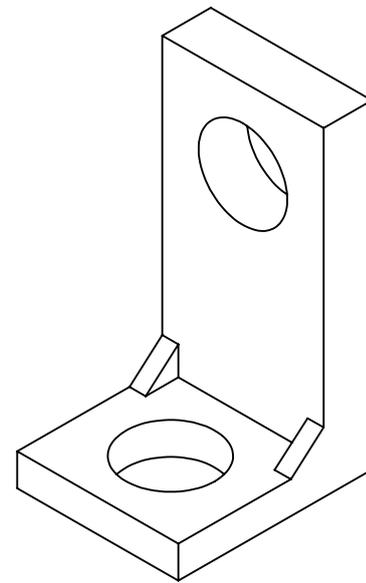
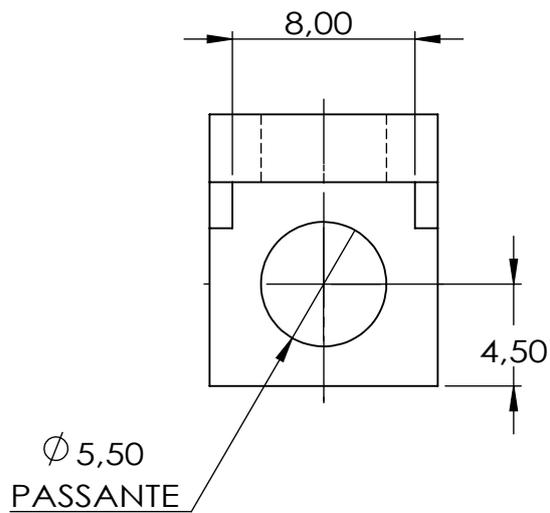
ALUNO	Natan Cytrynbaum		
PROF	Leydervan de Souza Xavier		
DATA	Abril/2021	VISTO	



ESC.	TÍTULO	TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
2:1	Flange - Aço Inox 304	190606		10
		NÚMERO DO DESENHO		
		10		



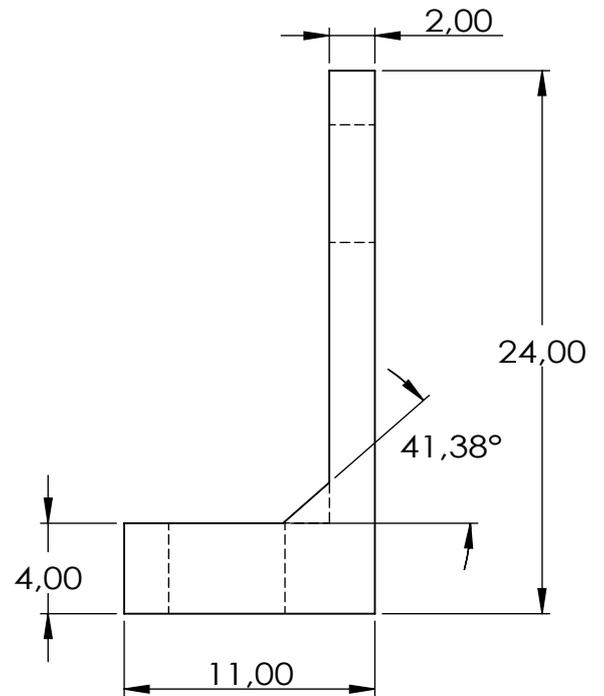
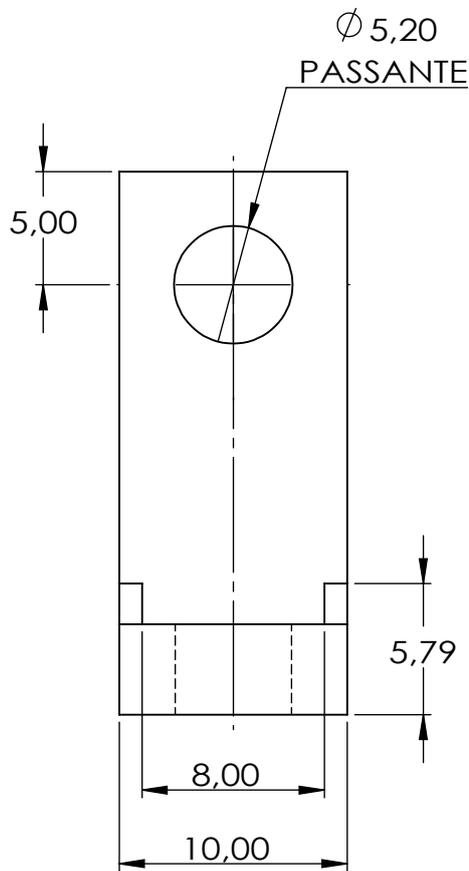
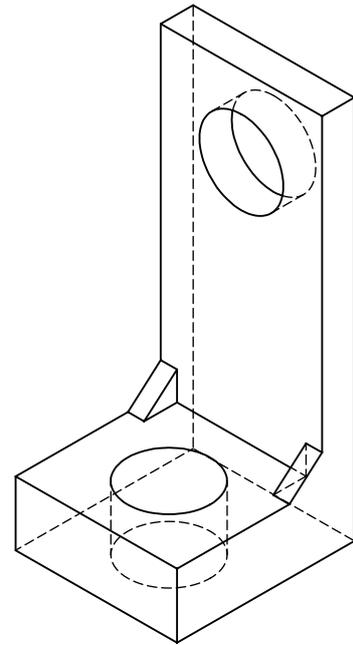
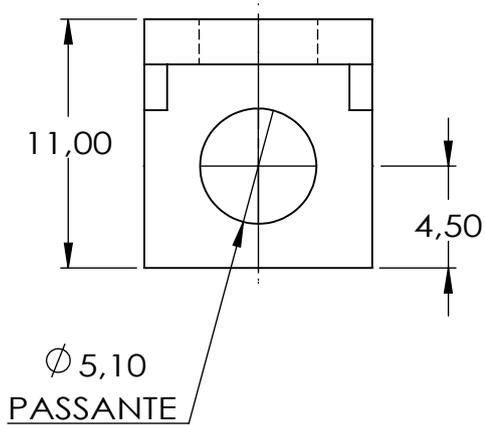
ALUNO	Natan Cytrynbaum			
PROF	Leydervan de Souza Xavier			
DATA	Abril/2021	VISTO		
ESC.	TÍTULO	TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
1:1	Suporte Flange - MDF 3mm	190606		11
		NÚMERO DO DESENHO		
		12		



ALUNO	Natan Cytrynbaum		
PROF	Leydervan de Souza Xavier		
DATA	Abril/2021	VISTO	
ESC.	TÍTULO		
2:1	Cantoneira motor - PLA		



TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
190606		12
NÚMERO DO DESENHO		
13		



ALUNO	Natan Cytrynbaum		
PROF	Leydervan de Souza Xavier		
DATA	Abril/2021	VISTO	



ESC.	TÍTULO
2:1	Cantoneira flange - PLA

TURMA 190606	NÚMERO	FOLHA Nº 13
NÚMERO DO DESENHO 14		