


**unesp**  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**CAMPUS DE GUARATINGUETÁ**

**MAURÍCIO DE OLIVEIRA FILHO**

**EXTRUSORA DE polímeros MODULAR, *OPEN-SOURCE* E DE BAIXO CUSTO PARA ATIVIDADES DE PESQUISA**

Guaratinguetá, SP  
2022

**Maurício de Oliveira Filho**

**Extrusora de polímeros modular, *open-source* e de baixo custo para atividades de pesquisa**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica na área de Materiais

Orientador: Prof. Dr. Luis Rogerio de Oliveira Hein

Guaratinguetá, SP

2022

|      |  |
|------|--|
| O48e | <p>Oliveira Filho, Maurício de</p> <p>Extrusora de polímeros modular, <i>Open-Source</i> e de baixo custo para atividades de pesquisa / Maurício de Oliveira Filho – Guaratinguetá, 2022.<br/>115 f : il.<br/>Bibliografia: f. 89-95</p> <p>Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2022.<br/>Orientador: Prof. Dr. Luis Rogério de Oliveira Hein</p> <p>1. Polímeros. 2. Processo de extrusão. 3. Planejamento dos recursos de manufatura. I. Título</p> <p>CDU 67.02(043)</p> |
|------|--|

Luciana Máximo


Bibliotecária CRB-8/3595

**MAURICIO DE OLIVEIRA FILHO**


ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
“DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA”


PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO: DOUTORADO

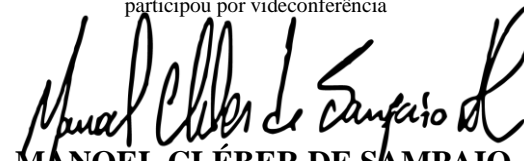
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

  
Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves  
Coordenador

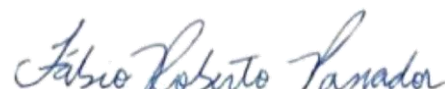
**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. LUIS ROGERIO DE OLIVEIRA HEIN  
Orientador - UNESP  
participou por videoconferência

  
Dr. BRUNO RIBEIRO  
Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
participou por videoconferência

  
Prof. Dr. MANOEL CLÉBER DE SAMPAIO ALVES  
UNESP  
participou por videoconferência

  
Prof.<sup>ta</sup>. Dr.<sup>a</sup>. MICHELLE LEALI COSTA  
UNESP  
participou por videoconferência

  
Prof. Dr. FÁBIO ROBERTO PASSADOR  
UNIFESP/SJC  
participou por videoconferência

AGOSTO de 2022

## **DADOS CURRICULARES**

### **MAURÍCIO DE OLIVEIRA FILHO**

|                   |   |
|-------------------|---|
| <b>NASCIMENTO</b> | 07.07.1987 – RESENDE/RJ   |
| <b>FILIAÇÃO</b>   | Aldair Reis Oliveira<br>Maurício de Oliveira  |
| <b>2009/2015</b>  | Curso de Graduação<br>Bacharelado em Engenharia Mecânica, na Universidade Federal Fluminense do Campus da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda. |
| <b>2015/2017</b>  | Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.              |
| <b>2017/2022</b>  | Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, nível de Doutorado, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.             |

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a minha família, meu eterno porto seguro;  
aos técnicos pelos conselhos e pela disposição em ajudar e por viabilizarem o projeto com tamanha qualidade;  
ao amigo e aluno de IC *Matheus*, pela força sempre, por acreditar e aceitar a missão.  
Aos meus amigos *Marcelo Yuzo, Anderson, Julio, Samia e Luis* pela amizade de sempre.  
ao meu orientador *Prof. Dr. Luis Rogerio de Oliveira Hein*, pela confiança, pelas enormes contribuições, disposição em ajudar e pela amizade de sempre.  
a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para essa tese.

Obrigado!

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – número de processo 168694/2018-2 e 305959/2017-4, e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) - número do processo 2019/14694-0

*"O otimista é um tolo. O pessimista, um chato. Bom mesmo é ser um realista  
esperançoso"*

**(Ariano Suassuna)**

*Fiz o que quis e fiz com paixão. Se a paixão estava errada, paciência.*

*Não tenho frustrações porque vivi como em um espetáculo.*

*Não fiquei vendo a vida passar, sempre acompanhei o desfile.*

**(Mário Lago)**

## RESUMO

O sucateamento das universidades públicas associado ao grande descarte de plásticos de uso único são problemas da sociedade atual. A redução dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, no Brasil, acontece tanto nas esferas estaduais como nas federais. O descarte de resíduos polui nossos solos e mares, causando graves problemas ao nosso meio ambiente. Unir estes dois problemas atuais para encontrar uma solução em comum é necessário. A comunidade maker, associada à conduta Open Source, desenvolveu e barateou inúmeros equipamentos. Esses equipamentos são normalmente utilizados em FabLabs, que são centros de desenvolvimento e pesquisa. Neste, a manufatura aditiva impera e ajuda a resolver demandas da sociedade. Somando-se a isto, a impressão 3D é cotada com uma ótima solução para reuso de polímeros. Portanto, este trabalho visa projetar, construir e testar uma extrusora de bancada, monorosca, com L/D de 23 e com temperatura máximo de 400°C. A máquina tem que ser de baixo custo, Open Source e desenvolvida para pesquisa. A extrusora de bancada será desenvolvida para fabricação de filamentos para impressoras 3D. Para validação do equipamento, o copolímero Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) foi testado a partir de filamentos comerciais provenientes de fabricante nacional. Os filamentos foram peletizados e o equipamento foi validado para diferentes temperaturas de processo, 205, 210, 215, 220 e 225°C, com diferentes vazões, variando o sinal para o motor, com 40, 50 e 60 de PWM. A validação foi feita por análise térmica dos componentes. Durante o processo, foi obtido a variação do diâmetro do filamento, utilizando um sistema com paquímetro digital, com aquisição em tempo real dos dados. As temperaturas em quatro posições radiais distintas no tambor, a zero, três, nove e quinze milímetros. Todos posicionados no mesmo plano perpendicular ao eixo da rosca. A rotação do motor extrusor, e a corrente consumida pelo motor e pelas resistências também foram analisados. Os filamentos produzidos também foram analisados quanto à rugosidade do material, quantitativa e qualitativamente, utilizando microscopia confocal e microscopia eletrônica de varredura. Após análise estatística, por análise de variância e Tukey, conclui-se que a temperatura de processamento é o fator mais importante para a qualidade dos filamentos para este material neste tipo de extrusora.

**PALAVRAS-CHAVE:** Green-*FabLab*. Extrusão. Manufatura aditiva. Economia circular.

## ABSTRACT

The scrapping of public universities, associated with the large disposal of single-use plastics, are problems of today's society. The reduction of investments in research and development, in Brazil, happens both at the state and federal levels. The disposal of waste pollutes our soils and seas, causing serious problems in our environment. Bringing these two current problems together to find a common solution is necessary. The maker community associated with Open-Source conduct has developed and cheapened numerous pieces of equipment. This equipment is typically used in FabLabs, which are development and research centers. Here, additive manufacturing reigns supreme and helps solve societal demands. Adding to this, 3D printing is quoted as a great solution for polymer reuse. Therefore, this work aims to design, build and test a benchtop, single-screw extruder, with L/D of 23 and a maximum temperature of 400°C. The machine has to be low cost, Open Source and developed for research. The benchtop extruder will be developed for filament manufacturing for 3D printers. To validate the equipment, the Acrylonitrile Butadiene Styrene copolymer (ABS) was tested from commercial filaments from a national manufacturer. The filaments were pelleted and the equipment was validated for different process temperatures, 205, 210, 215, 220 and 225°C, with different flow rates, varying the signal to the motor, with 40, 50 and 60 of PWM. Validation was done by thermal analysis of the components. During the process, the variation of the filament diameter was obtained, using a digital caliper system, with real-time data acquisition. The temperatures in four different radial positions in the drum, at zero, three, nine and fifteen millimeters. All positioned in the same plane perpendicular to the screw axis. The rotation of the extruder motor, and the current consumed by the motor and the heaters were also analyzed. The filaments produced were also analyzed for material roughness, quantitatively and qualitatively, using confocal microscopy and scanning electron microscopy. After statistical analysis, by analysis of variance and Tukey, it is concluded that the processing temperature is the most important factor for the quality of the filaments for this material in this type of extruder.

**KEYWORDS:** *Green-FabLab*. Extrusion. Additive manufacture. Circular economy.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Crescimento do conceito de material reciclado em manufatura aditiva. (a) Ambientes no qual a manufatura aditiva permeia, por tipo de trabalho.....  | 19 |
| Figura 2 - Vista esquemática básica de uma extrusora comercial com rosca única .....   | 22 |
| Figura 3 - Extrusoras comerciais, para produção de filamentos de impressora 3D. (a) Factory Supply Attractive Price Lab Scale Mini 3D Filament Plastic Extruder Machine, (b) 1.75mm ABS PP PE PLA PC Mini 3D Printer Plastic Filament Extruder for Laboratory, (c) Hig ..... | 23 |
| Figura 4 - Esquema de uma extrusora com matriz para confecção de tubos, com suas diversas partes funcionais .....  | 25 |
| Figura 5 - Variação do perfil de pressões ao longo do comprimento da rosca, (A) com barril e roscas comuns, (B) com barril comum e rosca mais rasa, (C) com refrigeração de barril e (D) com refrigeração do barril e com ranhuras na zona de alimentação... ..              | 25 |
| Figura 6 - Instalação de mecanismos de distribuição e dispersão .....  | 26 |
| Figura 7 - Sistema de homogeneização e dispersão, torpedos .....   | 27 |
| Figura 8 - Fluxo de escape através da folga existente entre o filete da rosca e o barril. Isso normalmente ocorre quando a rosca está desgastada .....   | 29 |
| Figura 9 - Sistema de degasagem entre a rosca e o barril .....   | 29 |
| Figura 10 - Fluxo de energia durante o processo de extrusão .....  | 29 |
| Figura 11 - Extrusora, home made, de polímeros feita por Russ .....  | 30 |
| Figura 12 - Análise radial da temperatura no cabeçote .....  | 32 |
| Figura 13 - Sistema de resfriamento dos barris de extrusora .....  | 32 |
| Figura 14 - Sistema de adição de particulado, quinta versão da máquina de Lyman.....   | 33 |
| Figura 15 - Análise de vazão, por aumento de velocidade da rosca e por temperatura.....  | 34 |
| Figura 16 - Extrusora da empresa Hartek.....   | 34 |
| Figura 17 - Sistemas de resfriamento de polímeros extrudados. Em (a) resfriamento a ar e (b) resfriamento a água.....  | 35 |
| Figura 18 - Sistemas puxadores. (a) sem guia de filamento e (b) com guia de filamento .....  | 36 |
| Figura 19 - Utilização de fotosensor em extrusora.....   | 37 |
| Figura 20 - Guia para enrolar corretamente o filamento no carretel .....   | 37 |
| Figura 21 - Efeito de homogeneização do material durante o processo, no qual (a) Desenho representando a fusão do polímero na rosca, (b) imagem com com diferentes regiões por falta de mistura e (c) com material impregnado.....   | 39 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 22 - Exemplo de diferentes formas de extrusão de PP durante instabilidades de processo .....   | 40 |
| Figura 23 - Exemplos de instabilidade do processo, associando pressão e taxa de cisalhamento aparente.....  | 41 |
| Figura 24 - Perfil de temperatura e energia consumida pelo extrusor.....  | 42 |
| Figura 25 - Efeito da variação de na temperatura do fluido .....  | 43 |
| Figura 26 - Parte estrutural da extrusora .....   | 48 |
| Figura 27 - Parte de extrusão da extrusora .....  | 50 |
| Figura 28 - Sistema resfriador .....  | 52 |
| Figura 29 - Sistema puxador e análise de diâmetro.....  | 55 |
| Figura 30 - Sistema bobinador, onde (a) parte mecânica do bobinador e (b) parte estrutural..  | 57 |
| Figura 31 - Prompt de comando com os dados obtidos do processo.....   | 59 |
| Figura 32 - Análise de rugosidade de filamentos por técnica confocal, (A) microscópio e análise realizada e (B) suporte com filamento analisado.....                      | 60 |
| Figura 33 - Sistema extrusor, (a) projeto renderizado e (b) foto do sistema montado .....   | 62 |
| Figura 34 - Desenho dos sistemas renderizados, (a) de resfriamento com puxador e (b) bobinador .....  | 63 |
| Figura 35 - Sistema de resfriamento, puxador e bobinador durante o processo.....  | 64 |
| Figura 36 - Circuito modular e integrado, versão 2.0.....   | 64 |
| Figura 37 - Extrusora com todos os componentes montados .....   | 65 |
| Figura 38 - Análise térmica entre a zona quente e de alimentação da extrusora, no qual (A) foto com análise térmica em três pontos e (B) análise térmica geral .....      | 66 |
| Figura 39 - Análise térmica do sistema de transmissão e torque, no qual (a) foto com análise térmica em três pontos e (b) análise térmica geral .....                     | 67 |
| Figura 40 - Análise térmica do sistema bobinador, no qual (a) foto com análise térmica em três pontos e (b) análise térmica geral .....                                   | 68 |
| Figura 41 - Análise térmica do sistema bobinador, no qual (B) foto com análise térmica em três pontos e (b) análise térmica geral .....                                   | 69 |
| Figura 42 - Análise térmica do circuito integrador, no qual (a) foto com análise térmica com cinco pontos e (b) análise térmica geral .....                               | 70 |
| Figura 43 - Processamento e análise do diâmetro de grânulos, (a) foto adquirida por celular, (b) threshold e fill holes e (c) Distribuição de particulado .....           | 70 |
| Figura 44 - Comportamento da temperatura no polímero por diferentes velocidades de rotação do motor extrusor, (A) comparativo de todas as temperaturas e velocidades, (B) |    |

|  |    |
|--|----|
| comparativo de velocidades para temperatura de 205°C, comparativo de velocidades para temperatura de 210°C, (D) comparativo de velocidades para temperatura de 215°C, (E) comparativo de velocidades para temperatura de 220°C e (F) comparativo de velocidades para temperatura de 225°C.....   | 72 |
| Figura 45 - Comparativo de rotação do motor extrusor X tempo X temperatura, (A) temperatura de 205°C e (B) temperatura de 225°C.....   | 73 |
| Figura 46 - Comportamento da corrente das resistências X tempo X rotação do motor extrusor, (A) 205°C e (B)225°C .....   | 73 |
| Figura 47 - Posicionamento dos termopares durante a análise.....   | 74 |
| Figura 48 - Comportamento radial de temperatura do barril por diferentes rotações do motor extrusor, (a) 205°C de temperatura setada e (b) 225°C de temperatura setada .....   | 75 |
| Figura 49 - Comportamento do diâmetro X tempo, (a) 210/60, (b) 215/50, (c) 215/60, (d) 220/50 e (e) 220/60.....  | 76 |
| Figura 50 - Superfícies das amostras analisadas no Gwyddion, (a) filamento industrial, (b) 210/60, (c) 215/50, (d) 215/60, (e) 220/50 e (f) 220/60 .....   | 77 |
| Figura 51 - Imagens de MEV, no qual (a) é o material do fabricante com ampliação de 100X, (b) material do fabricante com ampliação de 500X, (c) 210/60 com 100X, (d) 210/60 com 500X, (e) 215/50 com 100X, (f) 215/50 com 500X, (g) 215/60 com 100X, (h) 215/60 com 500X, (i) 220/50 com 100X, (j) 220/50 com 500X, (l) 220/60 com 100X e (m) 220/60 com 500X..... | 78 |
| Figura 52 - Gráfico do efeito da temperatura e do PWM no diâmetro médio.....   | 82 |
| Figura 53 - Gráfico da interação pelo diâmetro.....  | 82 |
| Figura 54 - Efeito da temperatura e PWM na razão de área.....  | 85 |
| Figura 55 - Gráfico da interação de temperatura e PWM na razão de área.....  | 85 |

## **LISTA DE QUADROS**

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1 - Propriedades dos materiais para impressora 3D .....                              | 21 |
| Quadro 2 - Diâmetros padrão e faixas de produção típicas para extrusoras de parafuso único. | 28 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Lista de componentes da parte estrutural da extrusora.....   | 47 |
| Tabela 2 - Lista de componentes da parte de extrusão da extrusora.....  | 49 |
| Tabela 3 - Lista dos componentes do sistema resfriador. ....  | 52 |
| Tabela 4 - Lista dos componentes do Sistema puxador e análise de diâmetro. ....   | 53 |
| Tabela 5 - Lista de componentes do Sistema bobinador .....  | 56 |
| Tabela 6 - Custo dos sistemas da máquina e custo geral .....  | 66 |
| Tabela 7 - Corrente média e máxima do motor extrusor por parâmetro de processo.....   | 67 |
| Tabela 8 - Análise de rugosidade, vazão, diâmetro médio, coeficiente de variação de diâmetro dos filamentos e velocidade do motor puxador. .... | 75 |
| Tabela 9 - Análise de variância dos fatores temperatura, PWM e interação no diâmetro. ....  | 81 |
| Tabela 10 - Análise de Tukey do fator temperatura na média do diâmetro. ....  | 83 |
| Tabela 11 - Análise de Tukey do fator PWM na média do diâmetro.....   | 84 |
| Tabela 12 - Análise de variância dos fatores temperatura, PWM e interação na rugosidade... ..   | 84 |
| Tabela 13 - Análise de Tukey do fator temperatura na razão de área.....   | 86 |

## SUMÁRIO

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO</b> .....                                 | 15 |
| 1.1          | OBJETIVOS .....   | 17 |
| <b>1.1.1</b> | <b>Geral</b> .....                                      | 17 |
| <b>1.1.2</b> | <b>Específicos</b> .....                                | 17 |
| 1.2          | CONTRIBUIÇÕES E IMPACTOS .....                          | 17 |
| 1.3          | ORIGINALIDADE / INEDITISMO .....                        | 17 |
| <b>2</b>     | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....                      | 18 |
| 2.1          | AMBIENTES DE INTERAÇÃO .....                            | 18 |
| 2.2          | MANUFATURA ADITIVA .....                                | 20 |
| 2.3          | EXTRUSORA .....   | 22 |
| <b>2.3.1</b> | <b>Rosca</b> .....                                      | 24 |
| <b>2.3.2</b> | <b>Barril ou barril</b> .....                           | 29 |
| <b>2.3.3</b> | <b>Sistema de aquecimento e Nozzle</b> .....            | 30 |
| 2.3.4        | Funil de adição.....                                    | 32 |
| <b>2.3.5</b> | <b>Acoplamento, rolamento e motor</b> .....             | 33 |
| 2.4          | SISTEMAS PERIFÉRICOS .....                              | 34 |
| <b>2.4.1</b> | <b>Sistema de resfriamento</b> .....                    | 35 |
| <b>2.4.2</b> | <b>Sistema puxador</b> .....                            | 35 |
| <b>2.4.3</b> | <b>Análise de diâmetro de filamento</b> .....           | 36 |
| <b>2.4.4</b> | <b>Sistema de bobinamento do carretel</b> .....         | 37 |
| 2.5          | EFEITO NO POLÍMERO DURANTE O PROCESSO DE EXTRUSÃO ..... | 38 |
| 2.6          | ANÁLISE E CONTROLE DE PROCESSO .....                    | 41 |
| 2.7          | ANÁLISE DO MATERIAL PROCESSADO .....                    | 43 |
| <b>3</b>     | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....                        | 44 |
| 3.1          | MATERIAIS E METODOLOGIA DE PROJETO .....                | 44 |
| 3.2          | MATERIAIS E METODOLOGIA DE PROJETO .....                | 44 |
| 3.3          | MATERIAIS E METODOLOGIA DE MONTAGEM.....                | 47 |
| 3.4          | METODOLOGIA DE VALIDAÇÃO DE EQUIPAMENTO.....            | 59 |
| 3.5          | MATERIAIS E METODOLOGIA DE ANÁLISE DE PROCESSO .....    | 59 |
| 3.6          | METODOLOGIA DE ANÁLISE DO MATERIAL UTILIZADO .....      | 60 |
| 3.7          | MÉTODOS ESTATÍSTICOS EMPREGADOS .....                   | 61 |
| 3.8          | INSTRUÇÃO DE USO .....                                  | 61 |
| <b>4</b>     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....                     | 62 |

|     |   |            |
|-----|---|------------|
| 4.1 | ANÁLISE GERAL DA EXTRUSORA .....  | 62         |
| 4.2 | VALIDAÇÃO DOS COMPONENTES DA MÁQUINA POR ANÁLISE<br>TÉRMICA. ....               | 66         |
| 4.3 | PARÂMETROS DE PROCESSO .....  | 70         |
| 5   | CONCLUSÕES.....   | 86         |
| 6   | SUGESTÕES FUTURAS.....  | 86         |
|     | <b>Referência bibliográfica .....</b>   | <b>88</b>  |
|     | <b>Apêndice A – Peças usinadas da parte estrutural da extrusora .....</b>       | <b>95</b>  |
|     | <b>Apêndice B – Peças usinadas do sistema de extrusão.....</b>                  | <b>99</b>  |
|     | <b>Apêndice C – Peça usinada do sistema puxador e análise de diâmetro.....</b>  | <b>104</b> |
|     | <b>Apêndice D – Peças usinadas do sistema bobinador .....</b>                   | <b>105</b> |
|     | <b>Apêndice F – Lista de materiais da parte estrutural da extrusora .....</b>   | <b>108</b> |
|     | <b>Apêndice G - Lista de materiais sistema de extrusão .....</b>                | <b>109</b> |
|     | <b>Apêndice H - Lista de materiais do sistema de resfriamento .....</b>         | <b>110</b> |
|     | <b>Apêndice I – Lista de materiais do sistema puxador e análise de diâmetro</b> | <b>111</b> |
|     | <b>Apêndice J – Lista de materiais do sistema bobinador.....</b>                | <b>112</b> |
|     | <b>Apêndice L – Lista de materiais da parte elétrica da máquina.....</b>        | <b>113</b> |
|     | <b>Apêndice M – Lista de materiais do circuito integrado .....</b>              | <b>114</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O capital destinado para pesquisa e desenvolvimento no Brasil, conforme Diset (2020), tem tido reduções recorrentes desde o ano de 2013. A redução no arrecadamento dificulta o investimento na infraestrutura e manutenção da universidade pública. Portanto, uma necessidade é que a comunidade científica crie a sua própria infraestrutura, para que assim possa conseguir manter a qualidade de pesquisa, inovação e ensino nas universidades públicas brasileiras. Este problema de custo da ciência é reportado em outros países e soluções são propostas pela comunidade, como apresentado por Alicia (2022). Com o surgimento de plataformas de desenvolvimento *Open Source* (plataforma aberta), como Arduino<sup>®</sup>, ocorreu uma redução dos custos de sensores, motores e fontes. Associado a isso, houve uma rápida evolução dos projetos de impressoras 3-D e outros equipamentos, pois estes tiveram suporte da cultura *Open Source*. Tais fatos ajudaram a reduzir o custo de construção das máquinas, resultando na sua popularização. Essa redução viabilizou a construção e instrumentação de vários equipamentos, possibilitando às instituições de ensino, *startups* e profissionais liberais, conhecidos como cultura *Do It Yourself* (DIY) ou *makers*, a criação, com poucos recursos, de laboratórios de análise e de fabricação, conhecidos como *FabLabs* (*Fabrication Laboratory*).

A cultura DIY é uma forma de agir, onde um grupo de pessoas desenvolve soluções de problemas. Esses problemas são discutidos e solucionados e, por fim, entregues à sociedade de forma *Open Source*. Criar uma sociedade mais aberta e fluida, onde o conhecimento não é restrito, mas sim facilmente disseminado, é tema constantemente discutido e promovido por órgãos não governamentais. Outro problema, é buscar soluções para reduzir o descarte de material de uso único. Por consequência disto, conforme ONU (2015), é importante formar profissionais com comportamentos e ideais que se assemelhem aos indicados pela ONU, como mencionado nos seus 17 objetivos propostos. A cultura DIY promoveu o surgimento dos *FabLabs*, que são locais onde a sociedade pode ter acesso fácil a equipamentos, como por exemplo impressoras 3D e *routers*. Os *FabLabs* são ambientes de colaboração e inovação. De acordo com *FabLab* Foundation (2020), atualmente existem 1750 *FabLabs*, em mais de 100 países espalhados no mundo, sendo que 125 estão localizados no Brasil.

A reciclagem vem ganhando um papel importante na sociedade, já que o ritmo atual de consumo não pode ser sustentado. Com isso, a ONU (2015) propôs que as cidades, comunidades sustentáveis, o consumo e a produção responsáveis são objetivos de desenvolvimento sustentável. Conforme reportado no documento Silva et al. (2010), no Brasil há uma Lei que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos desde 2010, e coloca a reciclagem e a sustentabilidade como pilares. Portanto, por consequência desta necessidade de

redução de descarte e com uso mais consciente dos recursos no mundo, surgiu na Espanha o *Green-Lab*, que é um novo conceito de laboratório. Neste local são utilizados materiais poliméricos, normalmente descartados pela sociedade. Conforme reportado por Vasconcelos (2019) e Khoo (2019), os plásticos ou materiais poliméricos são os materiais com grande descarte, sendo que aproximadamente 40% do material produzido é para uso único e, nos países do ocidente que mais reciclam, o peso per capita do reciclado não chega a 50% do consumo. Portanto, para Colorado *et al.* (2020), é necessário encontrar materiais de descartados e utilizá-los em uma estrutura de reuso, como o *Green-Lab*. Como reportado por eles, o equipamento que pode tornar isto possível é a impressora 3D. Essa técnica pode proporcionar, em um ambiente interativo e aberto, sendo uma forma de aumentar a vida útil desses materiais. Associado a isto, de acordo com Liu *et al.* (2016) e Cruz Sanchez *et al.* (2020), a manufatura aditiva é mencionada como uma das melhores vias para prolongar o uso do material polimérico, devido a seu baixo descarte e possibilidade de reprocessamento.

As extrusoras são equipamentos que, com auxílio de uma rosca, transportam, aquecem, amolecem, homogeneiza e extrudam o material a partir de uma matriz. É o equipamento necessário e adequado para gerar os filamentos para a impressora 3D. No entanto, as extrusoras profissionais têm custo elevado, principalmente porque a rosca, normalmente, é projetada especificamente para o material que vai ser extrudado. Entretanto, Lyman (2012a) desenvolveu uma patente via *Creative Commons*, de uma máquina de pequeno porte e, usando uma broca de madeira, como rosca. Conforme reportado por McCracken (2013), a máquina lhe concedeu U\$ 40.000,00 em uma competição em Seattle. Ele conseguiu desenvolver uma máquina de baixo custo, que se compara à industrial e que atende ao processamento de filamentos de impressão 3D. Os projetos desenvolvidos por Lyman e outros de extrusoras *Open Source*, não só seguem os mesmos parâmetros de montagem, mas apresentam problemas como falta de uniformidade dimensional e pouca instrumentação. Essas extrusoras foram desenvolvidas para um público que necessita produzir o próprio material para impressão, não atendendo a atividades de pesquisa ou a um processamento com menor variabilidade.

Portanto, esse projeto visa projetar uma extrusora, nos mesmos moldes da produzida por Lyman, mas com análises de potência consumida pelo motor e resistências, análise radial de temperatura no tambor, que seja robusta, de baixo custo e de fácil modificações de projeto e de parâmetro de processo. A máquina será testada e validada usando e reprocessando o copolímero acrilonitrila butadieno estireno (ABS) em primeiro ciclo de reciclagem, variando

rotação e temperatura. O filamento será testado e validado por análise do diâmetro, por microscopia confocal e microscopia eletrônica de varredura.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Geral

Projetar e montar uma extrusora de bancada modular, *Open Source* e voltada para atividades de pesquisa.

### 1.1.2 Específicos

Projetar e construir uma máquina robusta e de baixo custo, capaz de obter dados para compreender o comportamento do material durante o processo;

Analisar dados gerados pela máquina, associando a efeitos comportamentais de processamento do material;

Comparar as influências no material quando há variação na temperatura e rotação do motor extrusor, durante o processamento;

Analisar a mudança dos parâmetros de processamento na rugosidade dos materiais produzidos.

## 1.2 CONTRIBUIÇÕES E IMPACTOS

Contribuir com o desenvolvimento de um equipamento de fácil manutenção, modular, de fácil modificação, baixo custo e que ficará disponível na Instituição, podendo nuclear novas linhas de pesquisa ou contribuir com as linhas já existentes., que será de fácil manutenção, visto que o projeto é aberto e feito no local;

Analisar parâmetros de processamento durante o reprocessamento de ABS em primeiro ciclo de reciclagem;

Produzir um equipamento capaz de analisar outros tipos de processamentos, como compósitos, já que ela é instrumentada e obtém informações do processo, de forma in situ, com medições radiais de temperatura, corrente consumida pelas resistências e pelo motor e diâmetro do filamento produzido.

## 1.3 ORIGINALIDADE / INEDITISMO

Já existem extrusoras de bancada, *Open Source* e de baixo custo na comunidade, porém não existem equipamentos desenvolvidos para pesquisa, com baixo custo e com tal grau de instrumentação. Outro ponto é graças ao baixo custo e a modularidade da máquina, estes facilitam a modernização e adaptação para outros projetos. Também não existe um protocolo de comparação entre as propriedades da estrutura do material reprocessado e parâmetros de

extrusão como corrente consumida pelas resistências e pelo motor extrusor, temperatura radial do tambor, para essas extrusoras com rosca única e com baixa taxa de compressão.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 AMBIENTES DE INTERAÇÃO

A comunidade *Maker* (onde a pessoa se propõe a fazer algo), usufruindo de uma plataforma de comunicação e interação proveniente da infraestrutura da internet e, por fim, associada ao conceito *Open Source*, desenvolve projetos com menor custo de desenvolvimento e com rápida evolução. Esse ambiente colaborativo, que não é um local exclusivo da comunidade *Open Source*, é focado na solução de problemas, sendo que esses são discutidos e avaliados pela comunidade, sem as amarras de patentes e interesses financeiros. Portanto, no conceito *Open Source*, a comunidade tem acesso total ao projeto, podendo opinar e replicar ideias. Conforme Suh; Yılmaz (2019), sob este conceito, apesar de todos os usuários e a comunidade terem acesso constante a tecnologia, uma ideia é protegida e os inventores garantem a propriedade científica do trabalho, por licenciamento aberto.

O ambiente colaborativo também é proposto e almejado por grandes e médias empresas. Na comunidade *Open* há interação, mas é consequência de uma estrutura sem hierarquias e com uma meta em comum, que é a solução de um problema que ajudará a comunidade sem envolver interesses financeiros diretos. Projetos *Open* também são produzidos por empresas, como na empresa americana Local Motors, que é uma empresa que trabalha com veículos elétricos, *Open Source* e não embarcados. Nela, de acordo com Zhou; Zhang (2018), a comunidade de usuários pode opinar e melhorar o produto. Por consequência disso, o produto de janeiro de 2014 a novembro de 2016 já tinha 673 colaboradores e obteve mais de 6504 contribuições da comunidade.

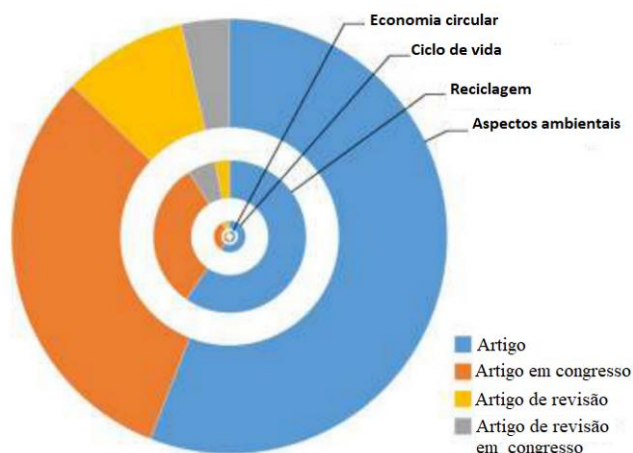
A estrutura de compartilhamento de informações também vem sendo proposta para o ensino, onde alunos de pós-graduação orientam alunos no desenvolvimento de equipamentos e projetos. Tal metodologia foi abordada e avaliada por Bendickson *et al.* (2020). Neste trabalho, que se assemelha muito a um trabalho de revisão, foi utilizado um ambiente de interação e com conceito muito similar ao *Maker*. Neste, o aluno é motivado a produzir algo concreto, estimulando assim o interesse pela matéria e aumentando o aprendizado.

A comunidade *Maker* usufrui do ambiente da internet, com grande interação e, podendo utilizar projetos abertos, como o Arduino<sup>®</sup> (que consiste em plataformas de desenvolvimento inteligentes licenciadas como tecnologia *Open*), proporcionou um grande avanço e redução no

preço de sensores, motores, fontes e sistemas para aplicação em equipamentos de baixo custo. Esta metodologia foi usada no desenvolvimento de impressoras 3D poliméricas, *routers* (fresadoras CNC) e cortadoras a laser, que foram desenvolvidas nesse ambiente de inovação na comunidade. Com isso, os equipamentos tiveram uma rápida evolução, não adquirida na mesma velocidade por empresas e, com custo inferior comparado à metodologia convencional. Os preços das peças estão ligados à escala de produção e, como, um grande número de pessoas tiveram acesso aos projetos e começaram a produzir esses equipamentos, a escala de produção aumentou e o custo médio por equipamento diminuiu. Portanto, tal fato ajudou o surgimento de inúmeros tipos de equipamentos que, por fim, auxiliaram no surgimento dos *FabLabs*.

Os *FabLabs* são um ambiente de inovação e interação, mas com a própria evolução da sociedade surgiu um novo conceito, que é a de redução de descarte. Todo o processo de fabricação gera resíduos e refugos e, associado a isso, vivemos em uma sociedade com um consumo crescente, desordenado e insustentável. Então, começaram a surgir propostas de entidades não governamentais para promover uma sociedade mais igualitária, com consumo mais consciente e com menor impacto na natureza, como apresentado pela ONU (2015). A evolução dessa sociedade pode ser notada em paralelo pelas pesquisas geradas pela comunidade acadêmica, como pode ser observado na Figura 1. Nela, usando a base de dados do Scopus, é possível notar a quantidade de publicações em cada tema, com materiais usados em manufatura aditiva. Com a comunidade acadêmica trabalhando para atender a demanda da sociedade e com respaldo das Nações Unidas, obtendo financiamento e agências de fomento, surgiram várias ideias como a apresentada por Dave Hakkens do site *Precious\_Plastic* (2020). Este designer construiu vários equipamentos para reprocessamento com plástico descartado. No *Institute for Advanced Architecture of Catalonia* (IaaC), de acordo com Byard *et al.* (2019), foi desenvolvido o primeiro *Green Fab Lab*, onde se propõe a criação, o desenvolvimento e a pesquisa consciente dos resíduos. Ele está localizado na região metropolitana de Barcelona e atende até vinte e uma cidades do entorno.

Figura 1 - Crescimento do conceito de material reciclado em manufatura aditiva. (a)  
Ambientes no qual a manufatura aditiva permeia, por tipo de trabalho



Fonte: Adaptado de Colorado *et al.* (2020) .

## 2.2 MANUFATURA ADITIVA

A manufatura aditiva é apresentada por Liu *et al.* (2016) e Cruz Sanchez *et al.* (2020) como uma ótima alternativa para redução de descarte dos materiais e aumento da economia circular. É uma tecnologia de prototipagem simples, comparada a um torno ou fresadora CNC (Controle Numérico Computadorizado), e com menor descarte de material, já que as técnicas mencionadas são de retirada de material, como reportado por Anderegg *et al.* (2019). Conforme Cruz *et al.* (2020), a impressão 3D polimérica é a mais popular das impressoras, principalmente a FDM (*Fused Deposition Modeling*). Isto ocorreu graças à ampla discussão, ao compartilhamento, à evolução e à validação dos equipamentos pela sociedade, desenvolvidos por projetos abertos. Graças a esses inúmeros projetos de impressoras de baixo custo e fácil projeto e montagem tornou-se possível operadores comuns terem esse equipamento em casa, facilitando a distribuição e obtenção de material de consumo. Os materiais mais utilizados em impressora 3D são o ABS, poli(ácido láctico) – PLA - e Poli (tereftalato de etileno glicol) - PETG. Todavia, já existem outros materiais como a poliamida nylon, fibra de carbono diluída, ASA (acrilato de acrilonitrila e estireno, também chamado de estireno acrílico e acrilonitrila), policarbonato, polipropileno, polietileno de alta densidade, poliestireno de alto impacto, metal polímero, polímero com particulados de madeira e poliacetato de vinila (PVA), como reportado por SIMPLIFY3D (2020) e King *et al.* (2014).

O copolímero de acrilonitrila-butadieno-estireno é um material amplamente utilizado pela indústria, podendo ser processado por várias técnicas como a moldagem por injeção, extrusão e forjamento a quente. De acordo com Rosato *et al.* (2004) é um polímero mecanicamente resistente, com baixa fragilidade, boa resistência química e elétrica, resistente a água quente e fria, boa estabilidade dimensional, resistência a abrasão. Tem pouca absorção

de água, mas a secagem de acordo com Rosato *et al.* (2004) é recomendável, sendo que esta é realizada com temperatura de 80°C, de 3 a 4 horas.

No quadro 1 é possível observar as características do ABS, PLA e PETG da empresa brasileira 3DLab, que é uma das fabricantes de filamentos para impressora 3D no Brasil.

Quadro 1 - Propriedades dos materiais para impressora 3D

| Propriedades Materia Prima 3D LAB - Grãos   |                           |                           |                           |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Propriedades  | PLA                       | ABS Premium               | PETG                      |
| Densidade   | 1,24 [g/cm <sup>3</sup> ] | 1,04 [g/cm <sup>3</sup> ] | 1,27 [g/cm <sup>3</sup> ] |
| Temp. 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                    | 72 mPa                    |
| Modulo de Elasticidade  | 4350 mPa                  | 2200 mPa                  | 2120 mPa                  |
| Resultado ensaio de Tração segundo a Norma ASTM D 638 - Corpo de provas Impresso  |                           |                           |                           |
| Propriedades  | PLA                       | ABS Premium               | 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 D 2240 - 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 HDT   | 55,11°C                   | 86,13°C                   | 67,3 °C                   |

Fonte: Adaptado de 3DLAB (2020).

O custo do filamento, todavia, tem valor considerável no protótipo produzido, conforme Woern; McCaslin; *et al.* (2018). Neste trabalho foi avaliado o custo de produção, analisando o consumo de energia consumida durante a trituração e extrusão de filamentos produzidos a partir de *pellets* virgem, comparando com filamentos comprados comercialmente. O custo do material extrudado a partir de *pellets* foi de 22% dos filamentos comerciais. Nesta análise, o material utilizado foi o PLA. Conforme Baechler *et al.* (2013), a extrusão do polímero é de 70% do preço do quilograma do material comercial similar e, conforme LabCTI (2016), usando a matéria-prima virgem no Brasil, o preço final do filamento seria de 10% do valor do comercial final, reduzindo assim, o custo das prototipagens.

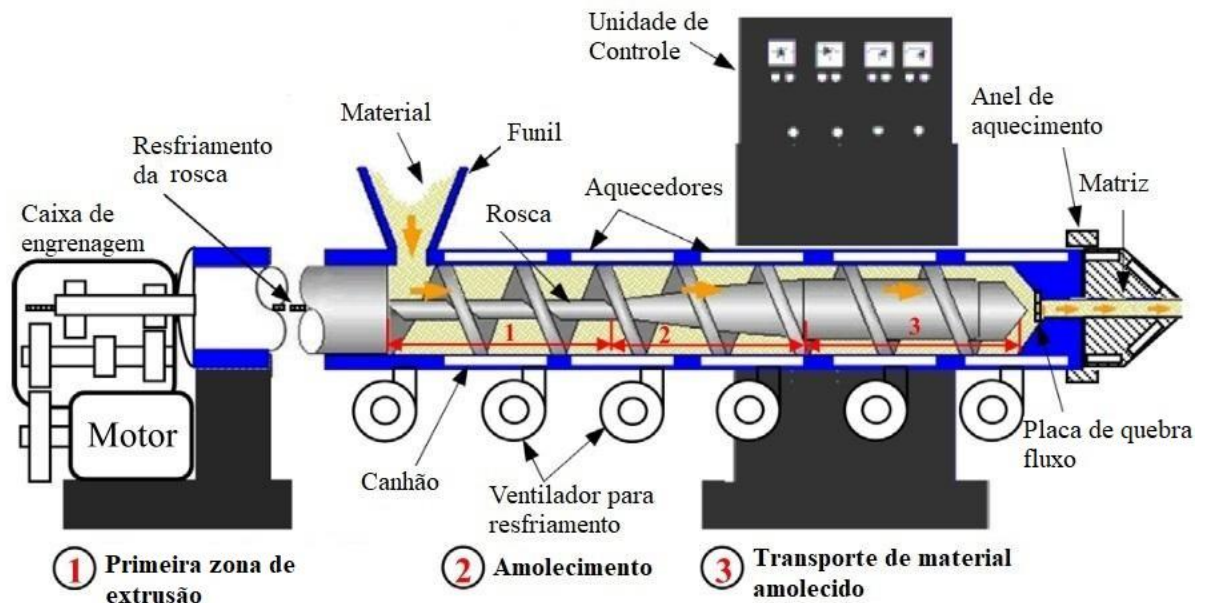
Byard *et al.* (2019) utilizaram um equipamento, que é uma extrusora montada no lugar de extrusor de uma impressora 3D convencional, usando bico-extrusor de 1,75mm. Este equipamento é uma impressora de larga escala, com nome Gigabot X. Neste trabalho, foi utilizado ABS e PP (polipropileno), de filamentos comerciais, *pellets* virgens e material triturado. O ABS foi colocado em uma estufa a 70°C por 8 horas e em vácuo, o PP não teve preparação. Nos produtos, foi utilizado acetona para dar acabamento superficial, o que já é

convencionalmente utilizado em produtos com matéria prima de ABS. O custo final, de forma crescente, foi na seguinte ordem: proveniente de material triturado, pellets reciclados, pellets virgens e filamento comercial. Portanto, é possível observar que o custo de produção de material reciclado e com material virgem (*pellets*) têm vantagens econômicas relevantes.

### 2.3 EXTRUSORA

O processo de extrusão tem grande importância econômica, sendo a técnica mais utilizada para processamento de polímeros no mundo, como reportou Abeykoon *et al.* (2020). Neste, para cerca de 50% de processamento de polímeros no mundo, a extrusão fez parte em algum estágio do processo, como reportado por Abeykoon *et al.* (2020, apud EUREcipe, 2006). Existem vários tipos de extrusoras, mas a de rosca única tem projeto mais simples e é a metodologia mais utilizada para a fabricação de filamentos de impressora 3D. O esquema básico de uma extrusora comercial com rosca única pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Vista esquemática básica de uma extrusora comercial com rosca única



Fonte: Adaptado de Abeykoon (2016).

As extrusoras são equipamentos que, com auxílio de uma rosca, transportam, aquecem, amolecem e extrudam o material a partir de uma matriz, com formato determinado. As máquinas comerciais têm custo elevado, porque as roscas são projetadas para determinado material. Todavia, Lyman (2012a) desenvolveu uma extrusora de rosca única, utilizando uma broca de aço carbono indicada para uso em madeira e, com o custo muito inferior. Este projeto de equipamento foi licenciado via *Creative Commons*, que é uma plataforma de projetos *Open Source*. Hugh Lyman, já evoluiu este equipamento e, como apresentado por

Lyman (2014a, 2014b, 2014c e 2014d), atualmente está em sua sexta versão. Portanto, é um equipamento que ainda está em desenvolvimento. No Brasil também já existe uma extrusora de baixo custo e foi desenvolvida por LabCTI (2016) na UFSC. Outro equipamento brasileiro é o da empresa FILMAQ3D, que é um equipamento pequeno, pesando 9 kg, podendo ser vendido só a extrusora ou os componentes separados (bobinadora, sistema de tracionamento e extrusora). A máquina completa, sai por R\$ 9859,00, como apresentado em FILMAQ3D (2021). Esses são equipamentos que se assemelham ao projeto de Hugh Lyman, como praticamente todas as extrusoras de baixo custo, usando peças e montagens similares. Nestes projetos, todos têm pouca ou nenhuma instrumentação.

As extrusoras de bancada, para fabricação de filamentos de impressora 3D, têm tamanho reduzido, comparando-as a extrusoras comerciais. No entanto, ainda tem custo elevado e tamanho muito superior às extrusoras de baixo custo, como o modelo proposto por Lyman. Na Figura 3, é possível observar extrusoras comerciais chinesas, todas para fabricação de filamentos para impressora 3D e com rosca única. No qual, (a) Extrusora que tem diâmetro de rosca de 25 mm, 165 kg de peso do equipamento, com produção de 2 a 5 kg/h, para trabalhar com PVC poli(cloreto de vinila) e com preço de U\$ 3.000,00; (b) Extrusora com peso de 500 kg, produz filamentos de ABS, PP, PE, PVC, poliamida (PA) e PLA, produção de 5 kg/h e com rosca com 25 mm de diâmetro ao preço de U\$ 8.500,00 (c); Extrusora que pode produzir filamentos de Nylon, PLA, PVA, wood-plastic, entre outros, produção de 0,3 a 1 kg/h, produz filamentos de 1,75mm e com preço de U\$ 3.488,00; (d) Extrusora com capacidade de produzir PE, PP, ABS, EVA poli[(etileno)-co-(acetato de vinila)], ABS, PLA, PLA e PC, produção de 18 a 25 kg/h, peso de 800 kg, diâmetro de rosca de 45 mm e com preço de U\$ 28.500,00.

Figura 3 - Extrusoras comerciais, para produção de filamentos de impressora 3D. (a) Factory Supply Attractive Price Lab Scale Mini 3D Filament Plastic Extruder Machine, (b) 1.75mm ABS PP PE PLA PC Mini 3D Printer Plastic Filament Extruder for Laboratory, (c) Hig



(a)(b)



(c)



(d)

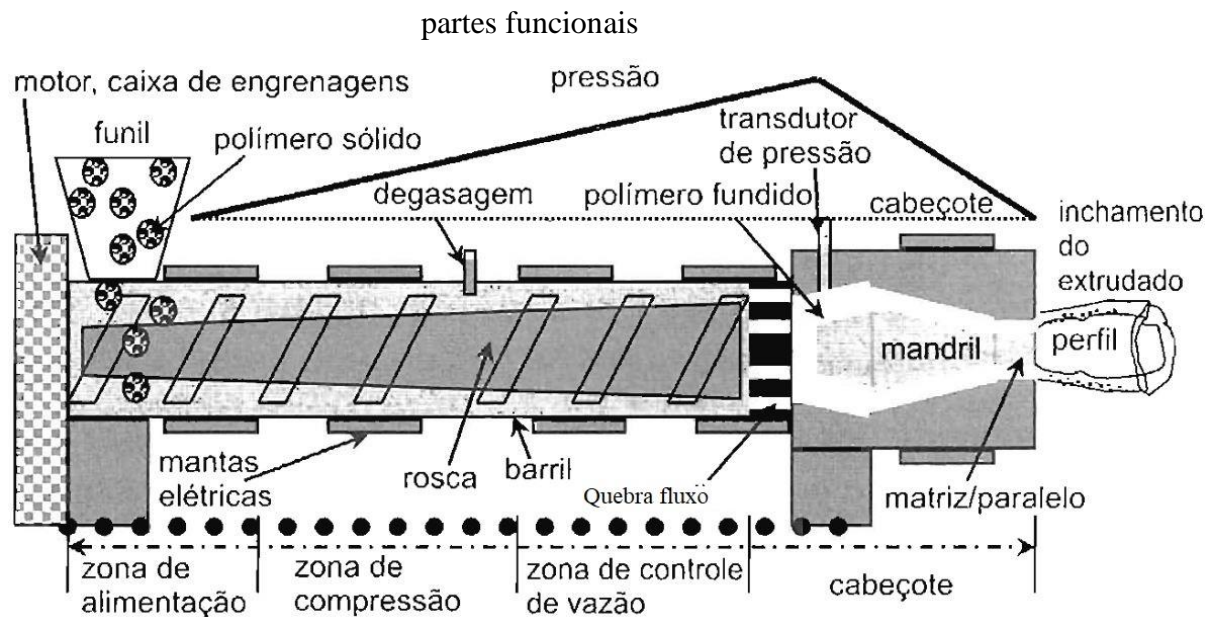
Fonte: (a)Technology (2020); (b) Machinery (2020a); (c) Printer (2020) e (d) Machinery (2020b).

Alguns projetos de extrusoras verticais foram criados, como apresentado por Lyman (2014), porém não foram reportadas vantagens nesse tipo de sistema em extrusoras de baixo custo. De acordo com White *et al.* (2003), esse tipo de sistema e outros tipos de extrusora, como as cônicas, também são reportadas como sistemas de extrusão já conhecidos. Todavia, para extrusoras horizontais de rosca única, independentemente do tipo de máquina, baixo custo, bancada ou industrial, os componentes e peças que compõem o equipamento são os mesmos, mudando só as dimensões e, por consequência, a escala de produção.

### 2.3.1 Rosca

A extrusora tem vários componentes, como pode ser observado na Figura 4, e estes podem ser divididos em áreas funcionais: zonas de alimentação, compressão e controle de vazão, além do cabeçote, onde o material é extrudado. Também a partir da Figura 4, é possível ver o funil para adição de material, sistema de degasagem (para materiais como PET), mantas elétricas, rosca, barril/cilindro e quebra fluxo.

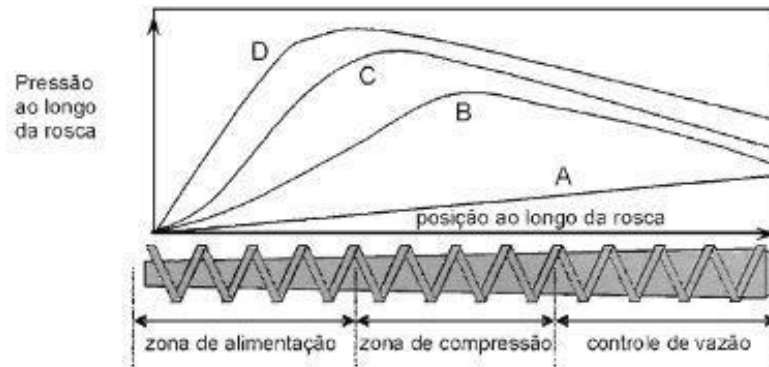
Figura 4 - Esquema de uma extrusora com matriz para confecção de tubos, com suas diversas



Fonte: Adaptado de Manrich (2013).

Conforme Manrich (2013), a rosca é uma das partes mais importantes da extrusora. A rosca é responsável por transportar, fundir ou amolecer, homogeneizar e plastificar o polímero. Manrich (2013) também menciona que, para a rosca única, a energia gerada pela rosca é de 80% da energia total necessária para fundir/amolecer o polímero. Esta energia é promovida pelo movimento cisalhante entre a rosca, o material extrudado e as paredes do barril. A rosca normalmente é dividida em três áreas principais, como pode ser observado na Figura 5. Nesta figura, é possível ver o comportamento da pressão em quatro casos diferentes: A, com canal da rosca profunda; B, com o canal raso; C, com refrigeração do barril e D, com barril com ranhuras na zona de alimentação.

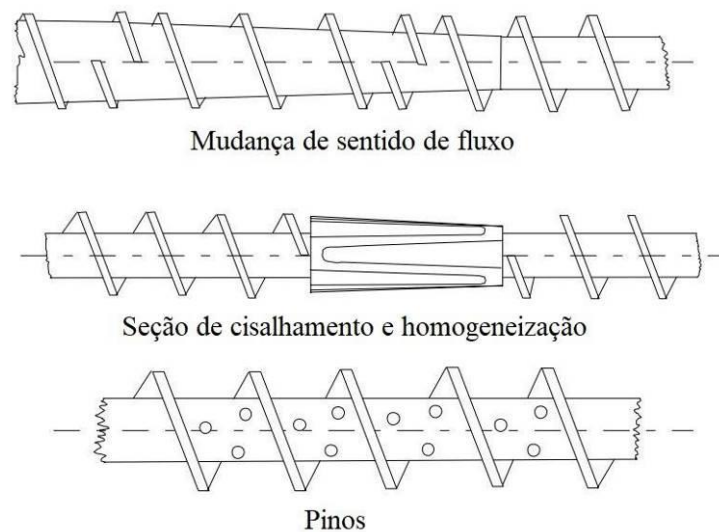
Figura 5 - Variação do perfil de pressões ao longo do comprimento da rosca, (A) com barril e roscas comuns, (B) com barril comum e rosca mais rasa, (C) com refrigeração de barril e (D) com refrigeração do barril e com ranhuras na zona de alimentação



Fonte: Manrich (2013).

As zonas de compressão e vazão são importantes para promover o amolecimento do material e a homogeneização. Por tal razão, alguns sistemas são propostos nessas regiões para melhorar a homogeneização do material, como pode ser observado na Figura 6. Por exemplo, a seção de cisalhamento promove melhorias na dispersão contribuindo para a mistura dispersiva; elementos como pinos são utilizados para contribuir com a distribuição. Ambos são utilizados na última zona da rosca e principalmente para dispersão e distribuição de cargas na matriz.

Figura 6 - Instalação de mecanismos de distribuição e dispersão

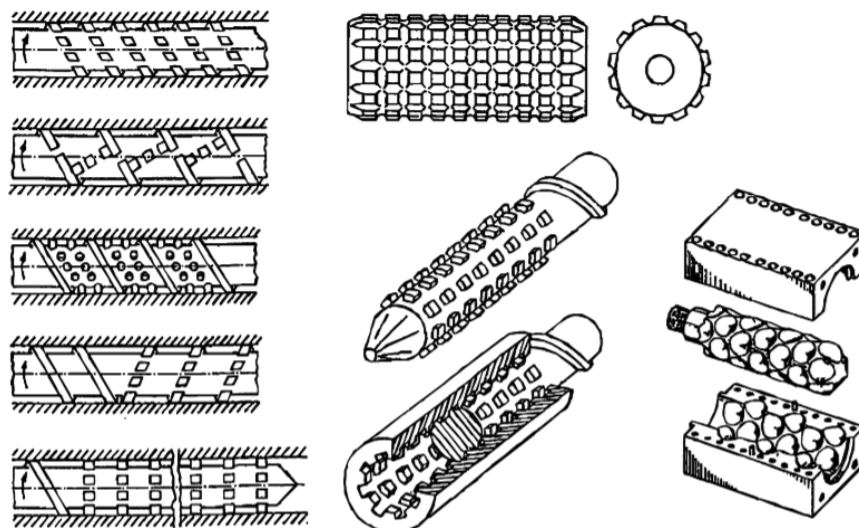


Fonte: Adaptado de White *et al.* (2003).

Conforme White *et al.* (2003), outra ferramenta importante para homogeneização são elementos de mistura. Eles melhoram a homogeneidade do material derretido, através de cargas precisas de tensão de cisalhamento e, são ótimas ferramentas para melhorar a

dispersão. Eles normalmente são localizados em regiões próximas ao fim da rosca. Na Figura 7 pode ser observado alguns tipos de torpedos.

Figura 7 - Sistema de homogeneização e dispersão, torpedos



Fonte: White *et al.* (2003).

Os filetes duplos, a seção de homogeneização e cisalhante, pinos ou torpedos, são ferramentas que aumentam a tensão cisalhante localizada, portanto, geram aquecimento e aumentam a fluidez do material fundido/amolecido. Esses elementos também geram mudança do fluxo do fluido, aumentando a homogeneização de dispersão, como mencionado anteriormente. Com isso, é possível observar a importância de projetar e adequar a rosca, a necessidade de produção de determinado polímero. Existem inúmeros formatos e sistemas para transportar, comprimir e homogeneizar o material. Conforme White *et al.* (2003) para a definição da rosca, as seguintes definições devem ser tomadas:

1. A extrusora deve ter barril ranhurado? Para uso exclusivo com poliolefinas.
2. A extrusora deve ter sistema de ventilação para degasagem? Isto vai influir nas etapas de processo, afetando economicamente o processo. Caso seja economicamente viável, usar secadores intercalados ao processo evita a redução de massa molar. A pré-secagem oferece a vantagem de uma maior janela de operação na extrusão.
3. Devem ser usados elementos de mistura ou sistemas para melhorar mistura e homogeneidade? Esta pergunta tem que ser afirmada para produtos com requisitos de alta qualidade.
4. Qual relação L/D é desejada (relação de comprimento pelo diâmetro)? Para materiais de alta viscosidade ou de baixa temperatura de fusão, o processamento

deve ser mais curto para evitar o superaquecimento (23D a 30D). Para baixa viscosidade ou os materiais que derretem lentamente podem ter um comprimento de até 33D (por exemplo, PET, PP de baixa viscosidade). Frequentemente, a relação L/D já está determinada, porque a rosca a ser projetada está sendo desenvolvida para uma extrusora existente, portanto, com as dimensões já definidas.

Nas extrusoras *Open Source*, no geral, é utilizada uma broca de aço carbono indicada para furação em madeira, de 5/8". Woern *et al.* (2018) utilizam uma com comprimento de 17", portanto com L/D de 27D. Esta relação, para extrusoras do modelo do Lyman, podem ser modificadas comprando brocas de comprimentos diferentes e cortando sua extremidade (região de corte), já que isto retira a aresta de corte da broca, protegendo o barril. Conforme Quadro 2, é possível observar o efeito do diâmetro da rosca na escala de produção. Para diâmetros maiores, conseqüentemente, mais material é transportado, portanto, aumentando 'se a escala de produção.

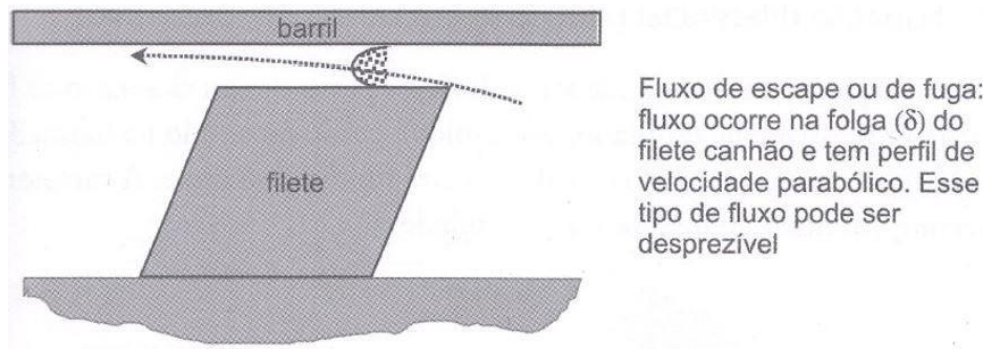
Quadro 2 - Diâmetros padrão e faixas de produção típicas para extrusoras de parafuso único

| Diâmetro em padrão americano (pol.) | Diâmetro em padrão Europeu (mm) | Escala de produção (Kg/h) |
|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| 3/4                                 | 20                              | 0,5-20                    |
| 1                                   | 25                              | 1-30                      |
|                                     | 30                              | 5-50                      |
| 1 1/2                               |                                 | 7-80                      |
|                                     | 45                              | 20-120                    |
| 2                                   | 50                              | 25-150                    |
| 2 1/2                               | 60                              | 50-250                    |
| 3 1/2                               | 90                              | 100-600                   |
| 4 1/2                               |                                 | 200-900                   |
|                                     | 120                             | 300-1000                  |
| 6                                   | 150                             | 400-1500                  |
| 8                                   | 200                             | 600-2600                  |
| 10                                  | 250                             | 1000-4000                 |
| 12                                  | 300                             | 1500-6000                 |
| 14                                  | 350                             | 2000-8000                 |

Fonte: White *et al.* (2003).

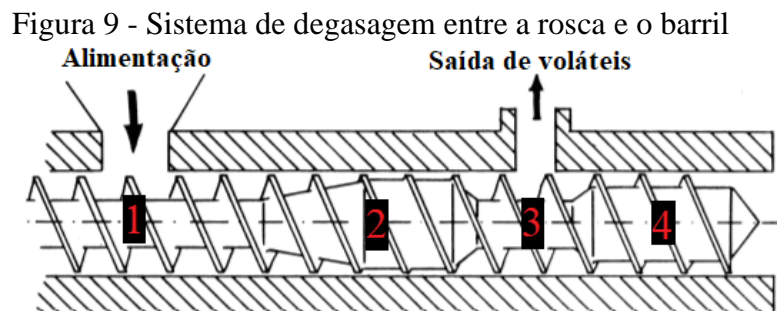
Conforme Manrich (2013) a distância entre a crista do filete e o barril ( $\delta$  - folga) também é importante, pois durante sucessivas produções acontecerá desgaste de um dos dois, conseqüentemente essa distância tende a aumentar durante a vida útil da máquina, isso pode ser observado na Figura 8. A distância ( $\delta$ ) ótima é de 0,15mm e, quando  $\delta > 0,2$  mm, há a possibilidade de retorno de polímero.

Figura 8 - Fluxo de escape através da folga existente entre o filete da rosca e o barril. Isso normalmente ocorre quando a rosca está desgastada



Fonte: Manrich (2013).

A rosca, associada com o barril, pode conter outras funções, não só a função auxiliar o transporte, aquecimento de material e mistura. Na Figura 9, é possível observar região de adição de material (1), posteriormente uma região de compressão (2), aquecimento e amolecimento do material, depois uma região com redução de compressão e liberação de voláteis (3) e, por fim, em (4) uma nova compressão e extrusão do material.

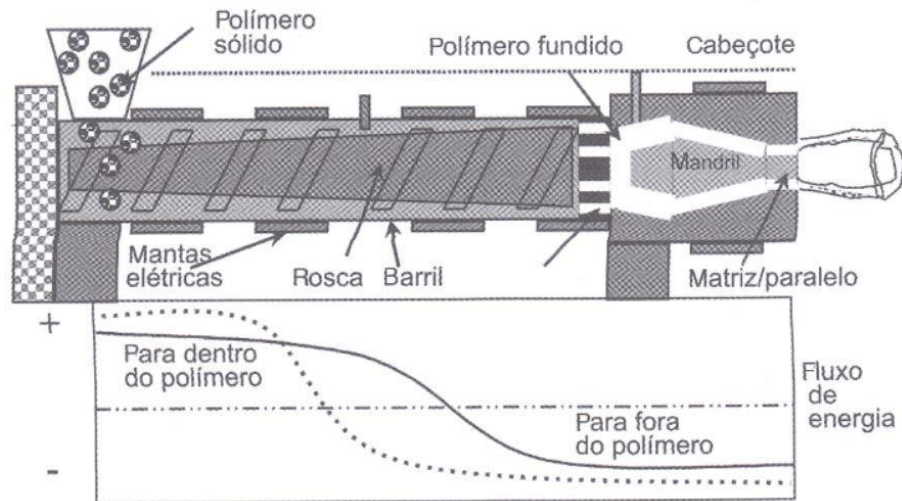


Fonte: Adaptado de White *et al.* (2003).

### 2.3.2 Barril

O barril e a rosca são responsáveis por comprimir e aquecer o material polimérico por ação do cisalhamento. As mantas elétricas auxiliam no aquecimento, mas a maior parte do calor gerado vem do cisalhamento do material, como já mencionado. Na Figura 10 é possível ver o fluxo de energia ao longo do transporte do material. No qual, as curvas cheia e pontilhada representam duas condições de extrusão, sendo a pontilhada referente à extrusora com elevação rápida de pressão logo após o funil, e a cheia com elevação de pressão mais lenta.

Figura 10 - Fluxo de energia durante o processo de extrusão



Fonte: Manrich (2013).

Conforme White *et al.* (2003), para o processamento comercial de ABS sem pré-secagem há a necessidade de ter sistema de degasagem no barril. O sistema de desgaseificação é encontrado em extrusoras com roscas superiores a 120 mm de diâmetro, com relações de 33D e 36D (tendência de extrusoras de grande porte). Caso seja feita a secagem do material antes do processamento, por exemplo no caso do PETG, isto viabiliza o processamento em extrusoras convencionais, reduzindo quase que completamente a necessidade de sistema de degasagem a vácuo no barril.

### 2.3.3 Sistema de aquecimento e *Nozzle*

Algumas extrusoras têm várias regiões de aquecimento, conforme já mencionado no texto. Elas têm aquecimento no barril e no cabeçote. As extrusoras *Open Source*, conforme apresentado por Lyman (2012a), têm aquecimento normalmente no cabeçote. Todavia, há projetos que apresentam aquecimento nas duas regiões, mesmo não sendo reportado ganho significativo aquecendo no barril, conforme Gries (2013a). A escolha do sistema de aquecimento é muito importante porque ele atua diretamente na qualidade do material extrudado. Conforme Manrich (2013), aumento da temperatura diminui a viscosidade do polímero. Temperaturas muito baixas dificultam a mistura, deixando o produto heterogêneo e de baixa qualidade. Outro ponto importante é que a baixa temperatura do material dificulta o manuseio do equipamento, aumentando muito o torque na rosca e podendo quebra-la.

O aquecimento do barril é feito por uma manta que tem resistência, que aquece o barril, como pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 - Extrusora, *home made*, de polímeros feita por Russ



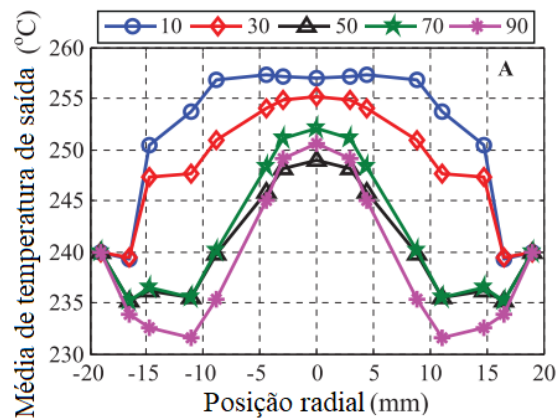
Fonte: Gries (2013a).

O aquecimento da matriz para extrusoras *home made* com rosca única e com geometria constante é muito importante pois, como a rosca não tem zona de compressão, a energia necessária para amolecer o polímero fica praticamente dependente do calor fornecido pela resistência. As resistências normalmente são utilizadas no cabeçote como na extrusora Making-Stuff (2016a). As resistências utilizadas são de vários tipos, todavia as resistências com encapsulamento cerâmico são duráveis e dão isolamento elétrico necessário para deixar o equipamento seguro. Sub33D (2016) menciona a utilização de um cabeçote com 16 resistores de  $15\ \Omega$ , 5W em sua máquina. Conforme Inforçatti Neto *et al.* (2012), existem equipamentos que chegam a temperaturas de até  $400^{\circ}\text{C}$ .

O *nozzle* é a parte responsável por dar o formato do material extrudado e, de certa forma, a dimensão dele. Alguns projetos DIY utilizam adaptadores de gás, de latão, como apresentado por Hugh, L. (2014). Este material é importante pois tem boa condutividade térmica. A furação do *nozzle* é importante, pois existem impressoras que utilizam filamentos de 1,75 mm e 3 mm. Portanto é necessário que cada matriz tenha a furação correta para determinada impressora. Conforme Making-Stuff (2016a), foi utilizada uma broca de 1,7 mm de diâmetro para a furação final do *nozzle*.

Wood; Cleveleys (2005) analisaram e apresentaram os efeitos da distribuição radial de calor, com diferentes velocidades de material amolecido e, com a rosca, em diferentes posições. Abeykoon *et al.* (2011) utilizaram uma extrusora modelo Davis Standard BC-60, onde foram utilizados 15 termopares, medindo-se temperaturas próximas ao polímero até 19 mm de distância. A medida obtida pode ser observada na Figura 12, onde é possível notar como a temperatura é mais elevada no centro do material. Também é possível observar que em maiores velocidades de rotação, a temperatura é mais elevada no centro (70, 90 e 50 rpm) e essa diferenciação é atenuada em 30 e 10 rpm, mostrando assim o efeito da velocidade da rosca, modificando a distribuição de calor no tambor como consequência do cisalhamento gerado pela própria rosca.

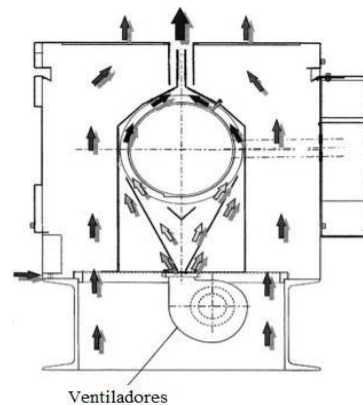
Figura 12 - Análise radial da temperatura no cabeçote



Fonte: Adaptado de Abeykoon *et al.* (2011).

Esta diferença de calor gerado, de acordo com White *et al.* (2003), dificulta o controle do processo. Portanto, é comum em extrusoras comerciais, sistemas de resfriamento, podendo ser a ar ou a água. O resfriamento a ar é mais comum, pois é mais fácil controlar o fluxo de ar quando ocorrem rápidas elevações de temperatura durante o processo. O sistema de resfriamento pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 - Sistema de resfriamento dos barris de extrusora



Fonte: Adaptado de White *et al.* (2003).

### 2.3.4 Funil de alimentação

O funil de alimentação fica localizado após o espaçador do barril. O espaçador dá a liberdade de mudar a distância da extremidade da rosca ao *nozzle*. Hugh, L. (2014d), reportou um espaçador com uma distância de 6,35 mm. Outro ponto importante do espaçador é que este isola termicamente a região do tambor com polímero amolecido, da zona de alimentação do funil, com material sólido. Portanto, inicialmente os funis eram de placas de aço soldadas, porém por consequência deste isolamento, foram utilizados funis impressos, como apresentado pelo próprio inventor da patente Lyman (2012a e 2012b) na sua primeira versão. Os funis impressos auxiliam na redução do custo do projeto e facilitam a fabricação dele, pois

permite ao projetista desenvolver o alimentador com a geometria que melhor se adeque a seu projeto, como pode ser observado na Figura 14. Rauwendaal (2014) reporta a importância de um bom funil. O projeto adequado do funil é necessário, porque problemas de fluxo são encontrados. O mesmo autor menciona que particulados não uniformes têm fluxo melhor em funis arredondados e quadrados são melhores com particulados mais uniformes. Ele também reporta que alguns polímeros têm características de fluxo muito pobres e, para esses materiais é necessário mecanismos adicionais, como sistemas vibradores ou sistemas de limpeza da parede do funil.

Figura 14 - Sistema de adição de particulado, quinta versão da máquina de Lyman



Fonte: Lyman, Hugh (2014b).

### 2.3.5 Acoplamento, rolamento e motor

O acoplamento é a peça responsável por transmitir a rotação/torque do motor para a rosca. Alguns projetos apresentam soquetes como solução de acoplamento entre a rosca, que é sextavada, e o eixo que transmite o torque do motor. Todavia, Lyman (2014b) apresenta em seu vídeo um acoplamento impresso, como pode ser observado na Figura 14.

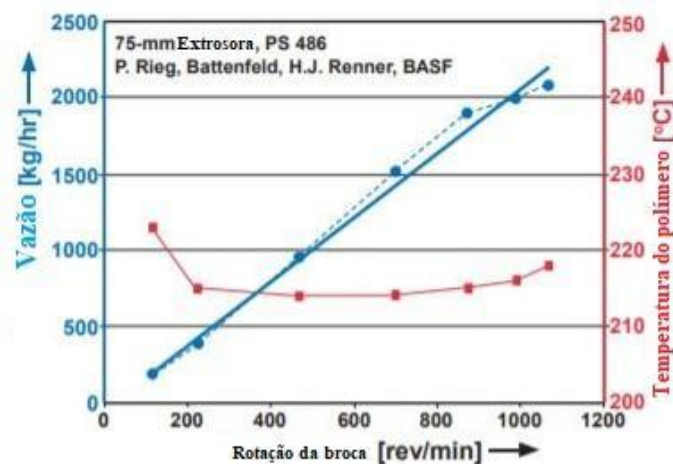
A rosca é o elemento responsável por transportar e extrudar o material, por este motivo, os rolamentos devem ser cônicos ou axiais de esferas, como também pode ser observado na Figura 14. Estes tipos de rolamento suportam a reação axial da rosca durante o transporte, gerando pressão para que o polímero seja extrudado, como reportado por Gries (2013b) e, também transmite o torque do motor.

O motor mais comum é o de corrente contínua (DC), todavia é possível observar também motores de passo e de corrente alternada (AC). Hugh, L. (2014d) reporta em seu manual de montagem, que foi utilizado um motor DC de 2,94 N.m de torque. White *et al.* (2003) reporta que os parâmetros para selecionar o motor adequado para a máquina são

velocidade ajustável em uma ampla faixa; velocidade constante independente da carga; torque constante; alta eficiência, durabilidade com longa vida operacional e baixo nível de ruído. Conforme Baechler *et al.* (2013), a rotação utilizada para produzir o filamento é de 35 rpm.

Conforme White *et al.* (2003), o torque necessário deve ser determinado pelo projetista da rosca. A velocidade mais constante, com menor variabilidade, afeta diretamente a qualidade do produto. Entretanto, o aumento de vazão não garante aumento de temperatura do material extrudado, mesmo com maior rotação da rosca, fato reportado por Rauwendaal (2014). Isto pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 - Análise de vazão, por aumento de velocidade da rosca e por temperatura



Fonte: Adaptado de Rauwendaal (2014)

## 2.4 SISTEMAS PERIFÉRICOS

A fabricação de filamentos para extrusão 3D envolve uma extrusora, sistema de resfriamento, sistema de medição e/ou controle de diâmetro e bobinamento. A sequência de produção em linha, pode ser observada na Figura 16, nesta há uma extrusora de filamentos 3D da empresa Hartek, que é uma companhia que desenvolve extrusora para laboratórios.

Figura 16 - Extrusora da empresa Hartek



Fonte: Adaptado de Hartek (2020)

### 2.4.1 Sistema de resfriamento

O sistema de resfriamento é utilizado para diminuir a temperatura e solidificar o polímero extrudado pela máquina. Este sistema fica localizado entre o motor que traciona o polímero extrudado e a extrusora. Dois principais sistemas são os mais utilizados, um com fluxo de ar e outro contendo água, como pode ser observado na Figura 17. Todavia, o sistema com banheira com água é o mecanismo mais observado em extrusoras industriais. Entretanto, em extrusoras verticais, como o protótipo produzido por Lyman (2015), é utilizado sistema de resfriamento a ar, consequência do arranjo esquemático do processo, que dificulta a utilização de banheira com água.

Figura 17 - Sistemas de resfriamento de polímeros extrudados. Em (a) resfriamento a ar e (b) resfriamento a água



(a)

(b)

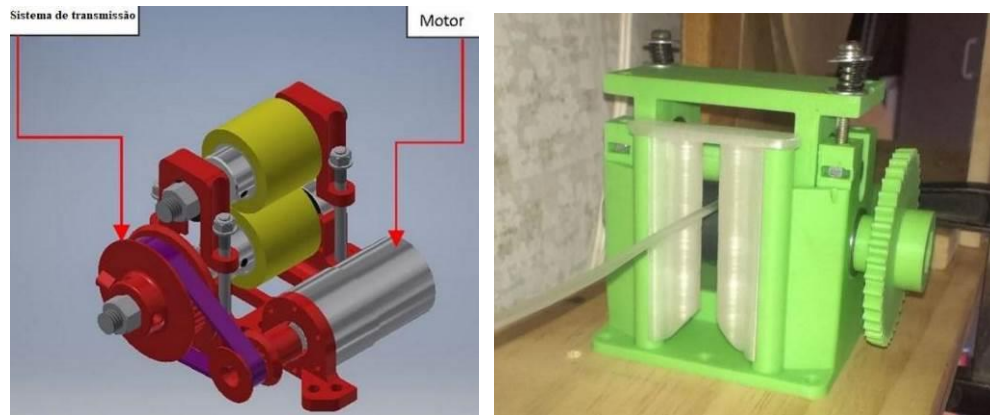
Fonte: (a) Gries (2013c) e (b) Gries (2013D)

### 2.4.2 Sistema puxador

O sistema puxador serve para tracionar o polímero pastoso extrudado, provocando uma tendência de estabilidade no material processado, reduzindo a espessura do material depois da

extrusão. Quando é extrudado há uma compressão das cadeias, após o material sair da matriz há um relaxamento das cadeias, aumentando a distância entre elas e, por fim, acontecendo o inchamento do extrudado. Inúmeros projetos de puxadores para extrusoras de bancada, *Open Source* e comerciais, existem no mercado. Os puxadores são similares a laminadores, onde rolos entram em contato com o material e o tracionam, como pode ser observado na Figura 18.

Figura 18 - Sistemas puxadores. (a) sem guia de filamento e (b) com guia de filamento



(a) (b)

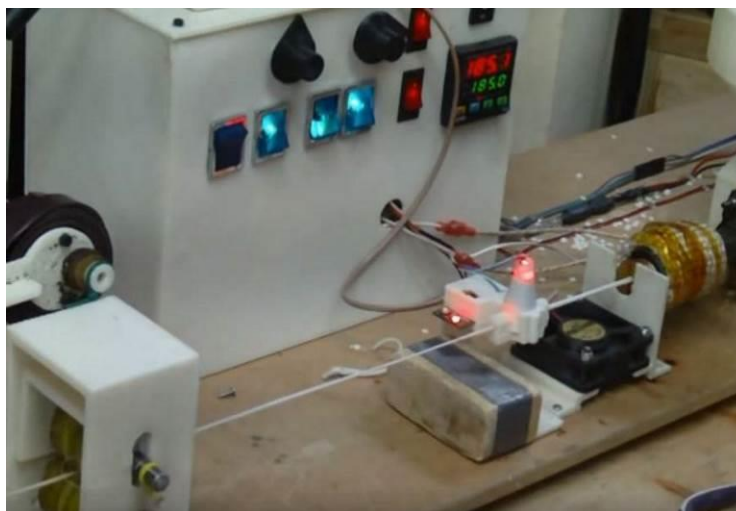
Fonte: Adaptado de Correia Junior (2019) e Wingmaster (2015)

### 2.4.3 Análise de diâmetro de filamento

O sistema para monitoramento do diâmetro do filamento é muito importante, pois ele analisa e pode controlar a variabilidade do filamento processado. Gries (2013e) reportou que o controle é difícil, porém é necessário. O filamento processado com pequena variabilidade dimensional reduzirá erros durante a impressão das peças e minimizará entupimentos. Isto ocorre porque os *softwares* que geram o G code, controlam a vazão usando relações comprimento/tempo. Portanto, quando há variabilidade no diâmetro do filamento, o *software/máquina* não consegue perceber este erro e é transmitido para a impressão, gerando defeitos como sub-extrusão ou sobre-extrusão e dificultando a sua realização. Gries (2015) tentou utilizar um sistema com paquímetro digital e roldanas, pois com isso quando o filamento passa pelas roldanas (similar a um laminador) e o diâmetro do filamento é medido durante o processo. Porém Gries teve dificuldade em obter os valores gerados utilizando o paquímetro. Making-Stuff (2016b e 2016c) e Moshkin (2018) desenvolveram, separadamente, o sistema de aquisição, filtragem e obtenção dos sinais gerados pelo paquímetro, usando o Arduino. Making (2017) apresentou e demonstrou como fazer um circuito eletrônico para a obtenção e análise dos dados.

Outro sistema de monitoramento é via sensor óptico, usando um led (diodo de emissão de luz) e sensor fotoelétrico. Este o projeto foi detalhado por Flipper (2014) na plataforma *Thingiverse*. Com esse sistema, é possível ter um maior controle do processamento, porque este é colocado entre o puxador e o *nozzle*, normalmente ficando bem próximo ao tambor, como pode ser observado na Figura 19. Portanto ele pode atuar mais rápido no motor esticador e reduzir variabilidades (*delay* de atuação do controle) durante o processo.

Figura 19 - Utilização de fotosensor em extrusora



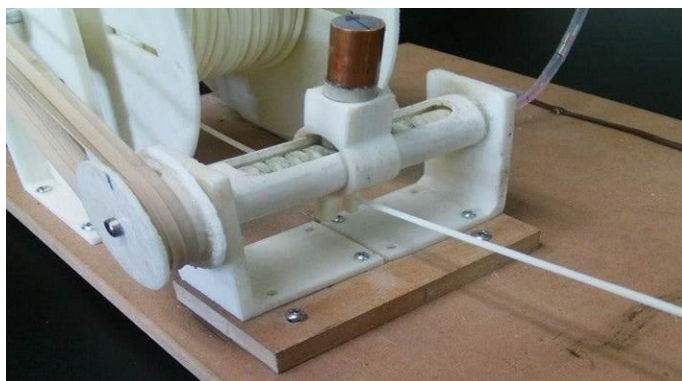
Fonte: Lyman (2014c).

Outro efeito é a variação da circularidade do filamento. Quando o filamento é analisado em diferentes eixos, todos em um mesmo plano analisado, pode haver diferentes diâmetros, como apresentando por Petsiuk; Pearce (2021). Sensores para isso podem ser posicionados próximo ao bico extrusor. Portanto, pode também reduzir efeitos por *delay* do processo.

#### 2.4.4 Sistema de bobinamento do carretel

O sistema é responsável por enrolar no carretel o polímero fabricado. As impressoras 3D normalmente usam carretéis de 1 a 1,5 kg. Alguns projetos de guias para colocar o fio na posição correta, já estão disponíveis na plataforma *Thingiverse*, que têm, por exemplo, projetos de peças impressas como o apresentado por Lyman (2014d) na Figura 20. Após o sistema de guia do fio, o carretel é enrolado usando um motor, que normalmente é de passo.

Figura 20 - Guia para enrolar corretamente o filamento no carretel



Fonte: Lyman (2014d)

## 2.5 EFEITO NO POLÍMERO DURANTE O PROCESSO DE EXTRUSÃO

Durante o processo de extrusão acontecem inúmeros tipos de instabilidades. Conforme Rauwendaal (2014), os mais comuns são problemas como fluxo de alimentação do funil, capacidade insuficiente de energia para fusão/amolecimento, temperatura de saída do polímero variável, suas flutuações no barril e na rosca, variações ocasionadas por desgaste do tambor ou da rosca, capacidade insuficiente de homogeneização, pressão insuficiente e distúrbios na superfície do polímero.

O problema de fluxo pode ser minimizado reduzindo a variabilidade do particulado usado no processo. Particulados com o tamanho mais homogêneo tendem a gerar extrusão mais uniforme e mais fácil de se controlar. Woern; Byard; *et al.* (2018) utilizou uma impressora/extrusora Gigabot X para imprimir e testar pellets virgens e material reciclado de PLA, ABS e PET. Neste trabalho os autores reportam o uso do *software* ImageJ para analisar a distribuição do tamanho do particulado utilizado.

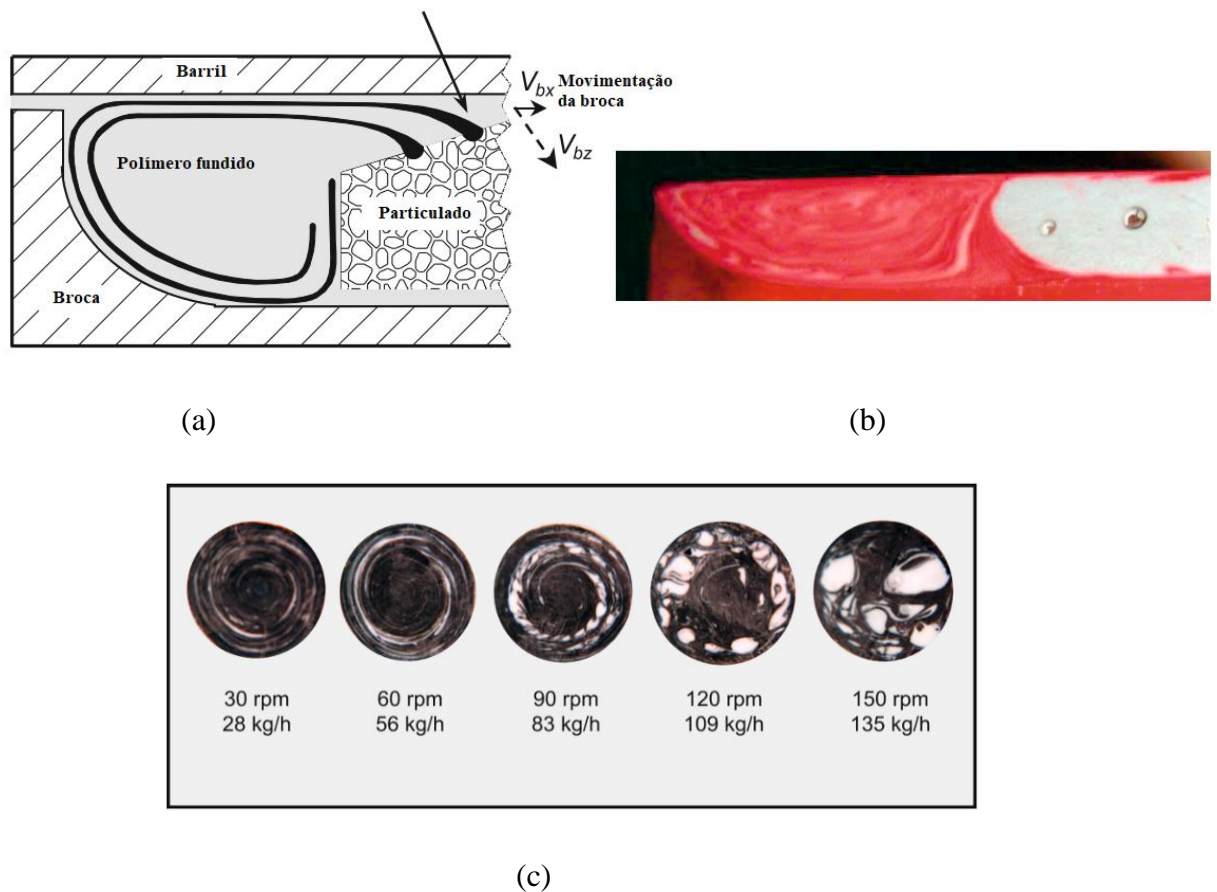
A capacidade de energia pode ser mais eficiente adicionando aquecimento no barril, reduzindo a velocidade do polímero na alimentação (polímeros com capacidade térmica baixa), projetando roscas que aumentem a tensão cisalhante no particulado e aumento da temperatura do tambor, pontos já abordados no texto.

A flutuação térmica na rosca, barril e do material extrudado, podem ser minimizadas com projeto de roscas mais eficientes, análise de pressão e sistemas de refrigeração, quando necessários, como já abordado no texto. O controle dessas variáveis ajudará a reduzir este efeito.

As variações na rosca, o desgaste do barril e da rosca devem ser analisados periodicamente e a variação entre rosca e barril não deve passar de 0,02mm.

A capacidade de homogeneização depende de características da rosca e do polímero extrudado. Análises do polímero processado podem avaliar a capacidade de mistura da rosca projetada. Na Figura 21, é possível observar a mistura do material processado. Campbell *et al.* (2013) reporta a utilização de resinas coloridas para poder analisar as características de mistura nos filetes da rosca, como pode ser observado na Figura 21 (a) e (b). Na Figura 21 (c), ABS impregnado com 2% de  $\text{TiO}_2$  e resina de cor branca foram extrudados com diferentes velocidades, portanto diferentes vazões. O grau de mistura foi analisado por cortes radiais nos filamentos extrudado.

Figura 21 - Efeito de homogeneização do material durante o processo, no qual (a) Desenho representando a fusão do polímero na rosca, (b) imagem com com diferentes regiões por falta de mistura e (c) com material impregnado

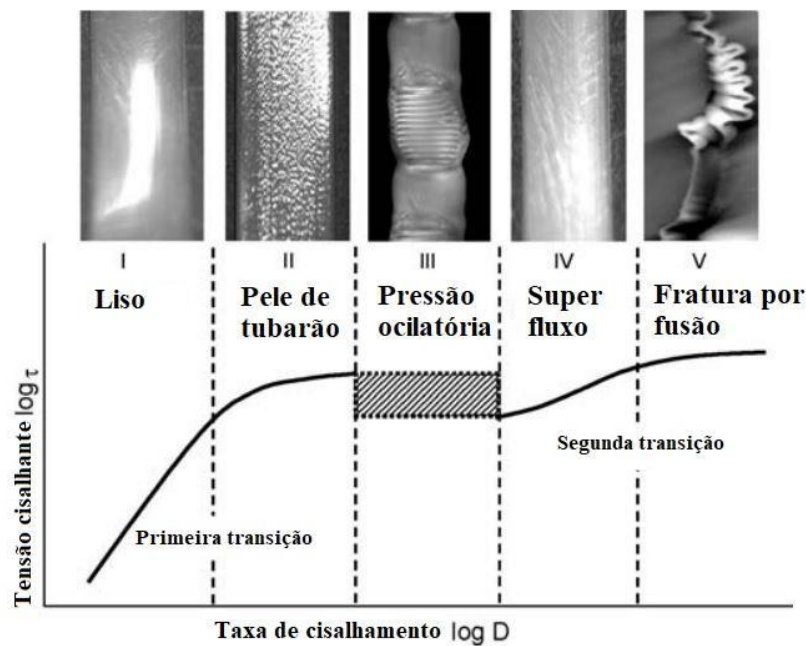


Fonte: Adaptado de Campbell *et al.* (2013).

O aumento de vazão pode acarretar instabilidades processuais como reportado por Agassant *et al.* (2006) e Denn (2001), que produziu trabalhos de revisão destas instabilidades, demonstrando os principais defeitos visuais e descrevendo métodos para reduzir ou eliminar esses efeitos. Tais defeitos podem ser observados na Figura 22. Conforme Osswald; Rudolph (2014), quando há ondas (*stick-slip*) durante o processo de extrusão, isto é proveniente das

tensões acumuladas durante o processo e podem aparecer de diferentes formas. Estas instabilidades resultam em qualidade inaceitável para materiais extrudados, como reportado por Gansen *et al.* (2020). Portanto, vários estudos analisam os efeitos durante o processamento, como o trabalho de revisão Musil; Zatloukal (2019). O cisalhamento e o aumento de pressão são importantes, mas em excesso gera distúrbios como podem ser observados na Figura 22.

Figura 22 - Exemplo de diferentes formas de extrusão de PP durante instabilidades de processo

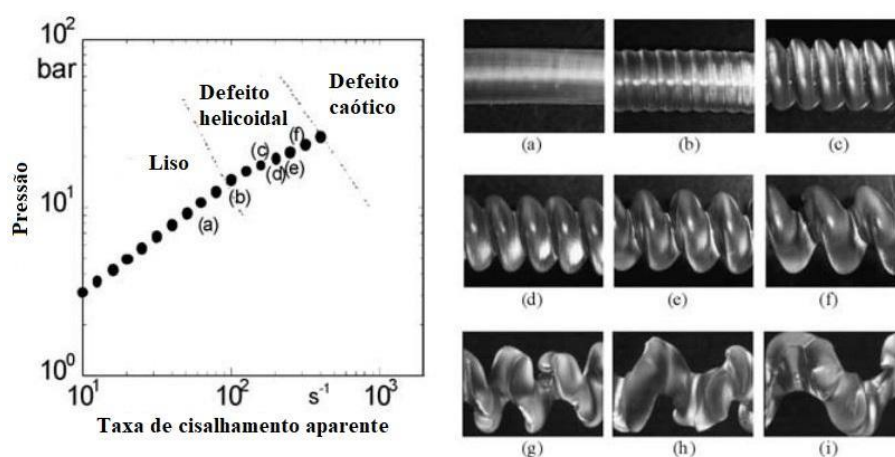


Fonte: Agassant *et al.* (2006 apud Merten, A., c, M., Münstedt, H, 2002)

Ghanta *et al.* (1999) reporta que o efeito de pele de tubarão pode ser reduzido com latão na matriz de extrusão e, que este efeito, é intensificado quando o material é aço inoxidável.

Outro efeito do processo é o da pressão. Na Figura 23 podem ser observados os efeitos de volume, com extrusão suave, pele de tubarão, defeitos helicoidais e defeito caótico. Esses provocados pelo aumento de pressão dentro do tambor, provocados por tensão cisalhamento muito elevada, geralmente observadas em moldagem por injeção. Adesina *et al.* (2015) e Dehghani *et al.* (2021) reportam a utilização de aditivos HDPE (polietileno de alta densidade). Neles os aditivos reduziram efeitos superficiais, reduzindo a variação de pressão e de instabilidades. Portanto, aditivos podem reduzir efeitos do processo, principalmente em polímeros com massas molares grandes.

Figura 23 - Exemplos de instabilidade do processo, associando pressão e taxa de cisalhamento aparente



Fonte: Agassant *et al.* (2006 apud Combeaud, C., Demay, Y., Vergnes, B.: J., 2004).

Rauwendaal (2014) reporta que a instrumentação do equipamento é vital para diagnosticar e atuar de maneira mais efetiva no problema. O bom controle do motor e da temperatura e, o mais importante, um bom projeto de rosca evitam as instabilidades da produção. Este autor também menciona que provavelmente boa parte das instabilidades do processo são resultantes da geometria da rosca e que é preferível e menos custoso mudar parâmetros de processo, do que modificar a geometria da rosca. Esta opção deve ser a última a ser adotada. Os materiais reciclados que foram pré-processados, por exemplo na trituração do material, têm mudanças físico-químicas como redução da cadeia com quebra de ligações primárias e secundárias, provocando redução da massa molar e queda nas propriedades físico-mecânicas, como reportado por conforme Maris *et al.* (2018). Com isso, reduzem a homogeneidade do material e mostram a necessidade de análise de dados.

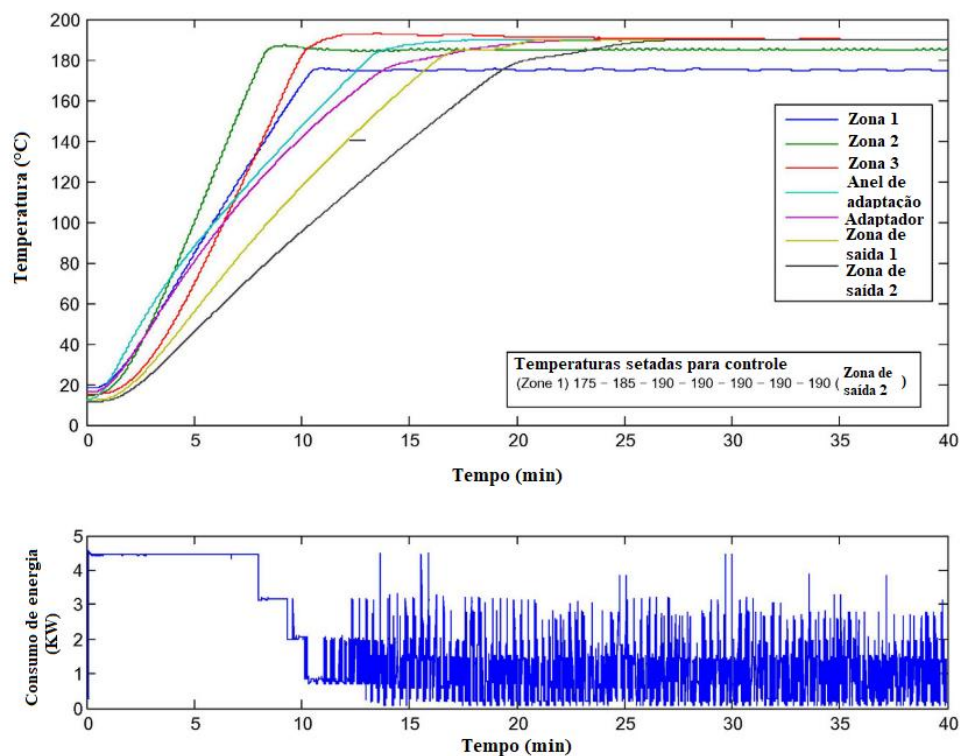
## 2.6 ANÁLISE E CONTROLE DE PROCESSO

A aplicação de sistema de análise e controle no processo de extrusão começou a ser aplicado para redução do custo de produção, principalmente o custo de energia. Vera-Sorroche *et al.* (2013) e Brown *et al.* (2004) relatam a importância de análise de energia consumida, otimizando o processo pelo gasto de energético. Nestes trabalhos foi utilizado um extrusor Davis Standard BC60, com rosca simples de 63,5 mm de diâmetro e com uma malha de termopares, para medir a temperatura dentro do material processado e próximo a região de extrusão. Outros estudos posicionam os termopares em posições diferentes do barril e da matriz, como por Lipár *et al.* (2013) e Dennis-Germuska *et al.* (1984). Estas análises são importantes para compreender o comportamento do polímero até ser extrudado na matriz. É

também reportado o uso de sensores por infravermelho para analisar a temperatura do fundido, como apresentado por Abeykoon *et al.* (2012).

A análise de potência do motor também é reportada como parâmetro para controle de processo. Conforme Deng *et al.* (2014a) o consumo de energia do motor é 1/3 da energia consumida, portanto, tem que ser otimizada. O instrumento reportado para análise de potência, no geral, é o HIOKI 3169-21 (Abeykoon *et al.* (2020), Vera-Sorroche *et al.* (2013)). É aplicado em equipamentos de grande porte, para otimizar o consumo de energia do motor e reduzir a energia consumida pelas resistências. Deng *et al.* (2014a) utilizou análise de potência e temperatura. Esta análise foi utilizada para obter a potência total do processo, incluindo aquecimento, resfriamento e potência do motor. É possível observar, na Figura 24, como a largura do pulso muda com o tempo, mostrando uma queda do consumo de energia da máquina.

Figura 24 - Perfil de temperatura e energia consumida pelo extrusor

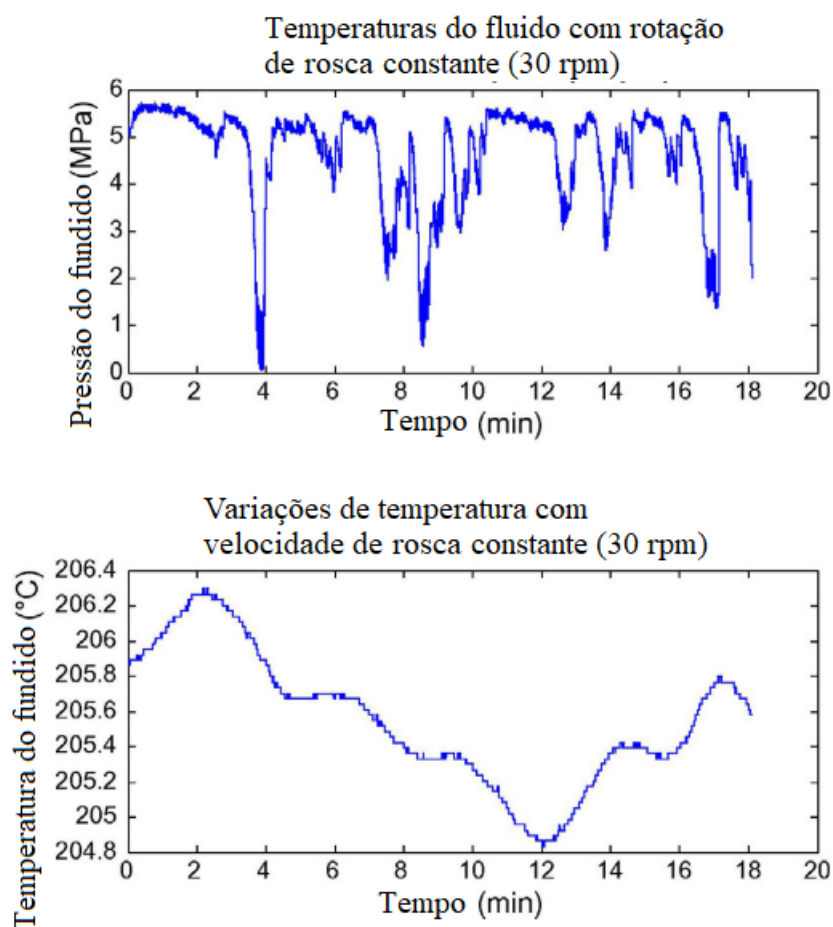


Fonte: Deng *et al.* (2014a).

A pressão é outro parâmetro que tem grande influência no material extrudado. Abeykoon *et al.* (2020) reporta que essa análise pode antecipar possíveis variações no processo. O efeito da viscosidade pela temperatura, pode ser observado na Figura 25. Neste os dados do extrusor foram obtidos com velocidade constante de 30 rpm. Sensores transdutores de pressão de haste, com diafragma de inonel são usados para este tipo de análise, como o da

marca Dynisco PT420A. Este tipo de equipamento tem custo considerável, como reportado Abeykoon (2016).

Figura 25 - Efeito da variação de na temperatura do fluido



Fonte: Adaptado de Deng *et al.* (2014b).

## 2.7 ANÁLISE DO MATERIAL PROCESSADO

Por fim, é possível observar que várias análises foram desenvolvidas para avaliar o processo visando reduzir os efeitos de instabilidade e consumo de energia. Abeykoon (2016) reporta que poucos trabalhos estão voltados para análise da qualidade do material processado e que esta pode vir a ser uma nova linha de análise para processos de extrusão. Por exemplo, Gansen *et al.* (2020) utilizaram câmera para avaliar as ondulações (*sharkskin*) no polímero, analisando os espaçamentos por transformada de Fourier. Outros trabalhos como, Ghanta *et al.* (1999), Denn (2001), Adesina *et al.* (2015), Kumar *et al.* (2020) e Dehghani *et al.* (2021) avaliaram esses efeitos e como eles afetaram a qualidade do material. Isto levando em conta as influências de processo e do material, como já reportado anteriormente no texto.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAIS E METODOLOGIA DE PROJETO

A extrusora, proposta veio da seguinte premissa: será uma máquina com custo reduzido, modular e desenvolvida para pesquisa e ensino. Portanto, instrumentada, leve, de fácil instalação e manutenção. Nela poderá se processar materiais com até 400°C, conseguindo assim trabalhar com uma grande gama de materiais poliméricos e compósitos. Os materiais selecionados para a confecção da extrusora têm que suportar os esforços mecânicos e térmicos, durante o processamento dos filamentos e têm a premissa de ser de fácil obtenção no mercado brasileiro, com nota fiscal e custo reduzido.

#### 3.2 MATERIAIS E METODOLOGIA DE PROJETO PARA CONSTRUÇÃO DO EQUIPAMENTO

O primeiro componente comprado foi a rosca, pois foi a base para o projeto. Ela limitou o tamanho da máquina, conseqüentemente influenciando vários componentes do equipamento. A rosca foi uma broca de aço carbono indicada para furar madeira de 1/2", adquirida no mercado local, normalmente encontrada em casas de campo, pois é utilizada para fazer os furos em mourões de cerca.

O desenvolvimento do projeto foi seguindo os passos: aquisição das resistências, do rolamento cônico e do nozzle (*nipple*) de latão. Este foi encontrado em casas que vendem *nipple* de gás, que no caso do adquirido é com rosca Npt 3/8", com dezoito fios por polegada. Eles limitaram o tamanho da matriz e, portanto, a sua usinagem. Com esta aquisição, a matriz foi projetada e usinada em alumínio, para obter boa troca térmica. O desenho técnico da matriz segue no Apêndice B – Peças usinadas do sistema de extrusão, onde é possível observar as posições das furações para análise de temperatura, que foram distribuídas e fixadas nas oito faces. O posicionamento dos termopares foi proposto para garantir que estejam após a extremidade da rosca e que tenham uma distribuição radial. Posteriormente, foi obtido o motor Bosch de 3,8 N.m de torque, o mesmo utilizado no parabrisa de caminhões. Esta peça foi selecionada porque atende ao torque necessário do processo, é de fácil instalação, controle, já que é um motor DC, tem a durabilidade e confiabilidade de peças automobilísticas e, por fim, suporta grandes tempos de serviço contínuo. O seguinte passo foi projetar e imprimir o mancal em ABS. O material selecionado tem boa durabilidade, resistência mecânica e baixo custo de matéria-prima no mercado brasileiro. A impressão foi proposta pois tem custo baixo e facilita a prototipagem e mudanças de projeto. O barril de aço inoxidável foi seccionado e usinado. Nele foram soldados dois anéis de inox com solda

amarela, formando flanges que vão unir as regiões funcionais da máquina, facilitando a montagem e desmontagem do funil de adição de particulado. Em outra parte do barril, usando o mesmo tubo de aço inoxidável, foi soldado um anel, similar ao outro flange. Entretanto, na outra extremidade foi usinada uma rosca para fixação do barril ao tambor. Por fim, para o sistema de extrusão, o funil foi impresso em ABS, pois este dependia do tamanho do barril e do rasgo feito por eletroerosão. Este foi projetado de maneira modular, já que os esforços mecânicos são diferentes em diferentes alturas do funil. Isto porque o material transportado pela rosca se choca com a parte inferior do funil impresso com a do flange duplo. Por este motivo, esta peça foi impressa com *infill* (preenchimento) de 70% e as demais partes do funil foram impressas com *infill* de 15%. O funil foi projetado tendo inclinações, em determinadas direções de impressão, menores que 45°, portanto, não necessitando de material suporte em alguns tipos de impressoras e, conseqüentemente, reduzindo custo e tempo de impressão. O desenho dos componentes usinados seguem Apêndice B – Peças usinadas do sistema de extrusão.

A parte elétrica foi desenvolvida em três etapas. Na primeira, para se ter a possibilidade de alto grau de instrumentação, os componentes responsáveis pela segurança em relação a corrente alternada (AC) e conversão de corrente alternada para contínua (DC), foram dispostos na caixa de potência. A parte DC e a placa de circuito foram fixados na caixa de controle. Com a aquisição destas duas caixas foi possível dimensionar e seccionar os perfis de alumínio 2020, da parte estrutural da extrusora, limitados pela parte de controle e potência da máquina, junto com o posicionamento do motor. Estes perfis foram escolhidos por causa da boa resistência mecânica, resistência à corrosão, fácil aquisição e de montagem simplificada (muito utilizado em projetos de impressora 3D). Com isso, para a fixação estrutural foram utilizados *Corners* (cantoneiras) de alumínio, parafusos Allen M4 de 10mm, porcas martelo e arruelas. A segunda e terceira etapas foram desenvolvidas em conjunto com o aluno Matheus Cerqueira de Jesus, processo Fapesp:2019/14694-0, nos anos de 2019 a 2021, como apresentando por Jesus; Hein (2021). No primeiro ano, foi desenvolvido o sistema de resfriamento, puxador e bobinador, tentando controlar todos simultaneamente. Como foram utilizados três arduinos, e sem um circuito integrado de controle e aquisição de dados, no segundo ano foi desenvolvido o circuito integrado, no qual foi gerado um registro internacional protegido por certificação do MIT. Por este motivo, foi possível utilizar somente um computador para controlar todos os componentes da máquina, simultaneamente. A lista de componentes para a parte estrutural, parte elétrica e circuito integrado, com preço e local de aquisição seguem respectivamente no Apêndice F – Lista de materiais da parte estrutural da

extrusora, Apêndice L – Lista de materiais da parte elétrica da máquina e Apêndice M – Lista de materiais do circuito integrado.

O sistema de resfriamento é composto de uma banheira de ABS impressa, onde o filamento extrudado passa e é resfriado. O reservatório de água, tanque de água, foi feito com um cano PVC de 100 mm. Na base dele, foi impressa em ABS a chamada base seladora de tanque. Esta serve como vedação da parte inferior do reservatório. A água do reservatório é suspensa pela bomba de aquário por uma mangueira, até a parte central da peça barril de resfriamento e, por efeito da gravidade, retorna para o reservatório por dois orifícios, localizados um em cada extremidade do reservatório. A lista de componentes, com preço, local de aquisição, código e materiais está localizada no Apêndice H - Lista de materiais do sistema de resfriamento.

A concepção para gerar o tracionamento do sistema puxador foi composto por duas peças impressas em ABS, onde a primeira é a base do sistema e fica fixa, a segunda é móvel e tem movimento de rotação, sendo que o eixo de rotação é no parafuso de fixação entre as peças em ABS. Para exemplificar, a peça superior tende a morder a peça inferior. Fixada a elas, há um motor NEMA 17, um rolamento 608ZZ e, neles, são fixadas duas rodas de borracha provenientes de impressoras velhas descartadas. Estas rodas são os componentes responsáveis por dar tração ao filamento extrudado. Preso a esse sistema, por meio de dois parafusos, é posicionado um guia de fio junto com o sistema de fixação do paquímetro. Esta peça foi impressa por manufatura aditiva e foi importante para reduzir os graus de liberdade do filamento, eliminando a possibilidade do filamento sair lateralmente, seguindo o fluxo corretamente para o paquímetro. Este sistema é montado e fixado a uma base impressa. Nela é possível, por fim, posicionar e estabilizar o sistema bobinador. A análise de diâmetro foi feita por um paquímetro com rolamentos pressionando o filamento já resfriado. O projeto utilizado é similar ao do Russ (2014), porém com modificações para melhorar a rigidez estrutural do sistema. Neste a base do sistema é fixada dois plugues fêmea, para comunicação, aquisição de dados e controle do motor de passo e paquímetro, pelo circuito integrado da máquina. A lista de componentes, com preço, local de aquisição, código e materiais está localizada no Apêndice I – Lista de materiais do sistema puxador e análise de diâmetro. O desenho técnico das peças usinadas segue no Apêndice C.

O sistema bobinador foi feito utilizando pedaços de madeira, perfis de alumínio, vara roscada e mancal com rolamento (KP08). Para fixação dos rolos, foram impressos cones de ABS, com *infill* de 30%. O cone é um sistema normalmente utilizado com rolos de diâmetros

internos variáveis, como os que existem no mercado brasileiro, adequando o sistema ao carretel. Para ligar esse sistema à extrusora, foram utilizados cabos CAT6 com conectores RJ45, como chicote para o motor de passo. A lista de componentes, com preço, local de aquisição, código e materiais está localizada no Apêndice J – Lista de materiais do sistema bobinador. O desenho técnico das peças usinadas segue no Apêndice D.

Todos os componentes foram desenhados no *software* SolidWorks®, licenciado pela instituição. Eles podem ser obtidos pelo *link*: <https://www.doi.org/10.17632/2fp47vg2w9.4>

O circuito integrado foi desenhado e simulado por *software* Altium®, com licença de estudante. Os arquivos para o projeto do circuito podem ser obtidos no *link*: <https://github.com/MauricioOfilho/Integrated-and-modulated-circuit-for-extruder-machine>

### 3.3 MATERIAIS E METODOLOGIA DE MONTAGEM

A Tabela 1 é a lista dos componentes utilizados para montar a parte estrutural da extrusora. Nesta é possível observar os componentes com os respectivos códigos, demonstrados na Figura 26.

Tabela 1 - Lista de componentes da parte estrutural da extrusora

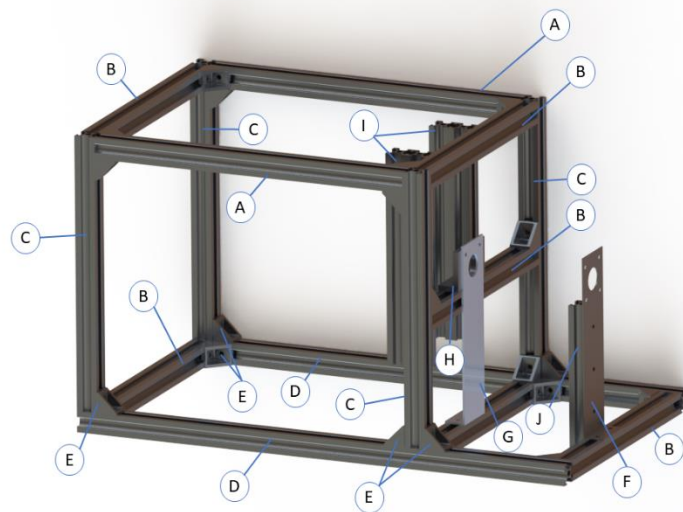
(continua)

| Nome  | Código | Número de peças | Tipo de material |
|---|--------|-----------------|------------------|
| Perfil 2020 (306mm)                             | A      | 2               | Alumínio         |
| Perfil 2020 (240mm)                             | B      | 6               | Alumínio         |
| Perfil 2020 (260mm)                             | C      | 4               | Alumínio         |
| Perfil 2020 (485mm)                             | D      | 2               | Alumínio         |
| Cantoneira Alumínio Para Perfil Estrutural 2020 | E      | 23              | Alumínio         |
| Chapa usinada (190x45mm)                        | F      | 1               | Aço              |
| Chapa usinada (190x45mm)                        | G      | 1               | Aço              |
| Pedaço de cantoneira (usinada 20x60)            | H      | 1               | Alumínio         |
|   |        |                 | (conclusão)      |
| Nome  | Código | Número de peças | Tipo de material |

|                     |   |   |          |
|---------------------|---|---|----------|
| Perfil 2040(200mm)  | I | 2 | Alumínio |
| Perfil 2020 (140mm) | J | 1 | Alumínio |

Fonte: Autoria própria.

Figura 26 - Parte estrutural da extrusora



Fonte: Autoria própria.

A parte estrutural da extrusora serve para a fixação dos componentes, como as caixas elétricas, da Tabela 7, bem como alguns componentes da Tabela 2, sistema extrusor. Para montar a parte estrutural, é necessário fixar os perfis de alumínio (A, B, C, D, J e I) com as cantoneira de alumínio (E), utilizando componentes da Tabela 2, utilizando para isso parafusos M4 (AE), com porcas (AF) e arruelas de pressão (AG). São empregados dois componentes (AE, AF e AG) em cada cantoneira de alumínio (E). Por fim, as peças da Tabela 1 F, G e H são montadas utilizando componentes da Tabela 2, como parafuso (AE), com porca martelo (AF) e arruela (AG). A chapa usinada (F) utiliza cinco (AE, AF e AG), três fixando-o ao perfil 2020 e dois fixando-o ao perfil 2020(B). A chapa usinada (G) utiliza dois (AE, AF e AG), fixando-o ao perfil (B) e o pedaço de cantoneira (H) utiliza dois (AE, AF e AG), fixando-o a outro perfil (B).

A tabela 2 é a lista dos componentes necessários para montar a parte de extrusão. Nesta é possível observar os componentes com os respectivos códigos, como demonstrados na Figura 27.

Tabela 2 - Lista de componentes da parte de extrusão da extrusora

(continua)

| Nome  | Código | Número de peças | Tipo de material   |
|---|--------|-----------------|--------------------|
| Nozzle (1,75 mm diâmetro de furo)                     | K      | 1               | Latão              |
| Chapa 0,5mm (500X110xø155mm)                          | L      | 1               | Aço inox 304       |
| Resistor 15 ohms 10 w                                 | M      | 16              | Cerâmico           |
| Barril Octogonal                                      | N      | 1               | Alumínio           |
| Termopar tipo K com rosca (rosca M6 com passo de 1mm) | O      | 3               |                    |
| Flange  | P      | 1               | Aço inox           |
| Porca M6  | Q      | 6               | Aço inox           |
| Parafuso Allen (M6x25mm)                              | R      | 6               | Aço inox           |
| Bloco de Madeira                                      | S      | 1               | Madeira            |
| Broca indicada para furar madeira de 1/2"             | T      | 1               | Aço                |
| Flange duplo  | U      | 1               | Aço inox           |
| Disco para <i>encoder</i> óptico (fotolitografia)     | V      | 1               | Filme transparente |

(conclusão)

| Nome | Código | Número de peças | Tipo de material |
|------|--------|-----------------|------------------|
|------|--------|-----------------|------------------|

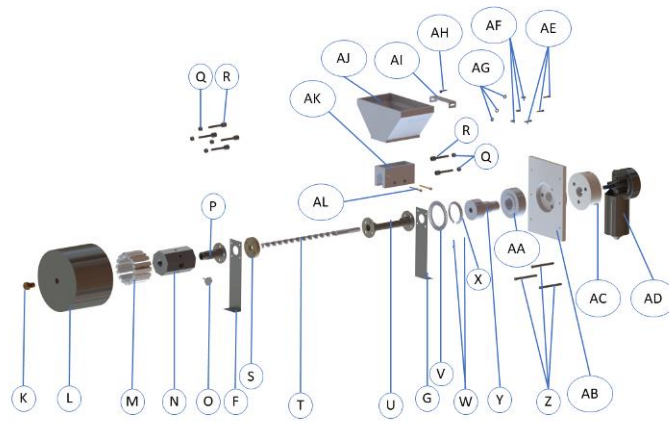
---

|  |    |    |          |
|--|----|----|----------|
| Travador de disco óptico (3g)            | X  | 1  | ABS      |
| Acoplamento usinado                      | Y  | 1  | Alumínio |
| Parafuso de cabeça hexagonal (M6,5x60mm) | Z  | 3  | Aço      |
| Rolamento (72x30x28,5mm)                 | AA | 1  |          |
| Suporte para rolamento impresso 1 (298g) | AB | 1  | ABS      |
| Suporte para rolamento impresso 2 (157g) | AC | 1  | ABS      |
| Motor de para-brisa de caminhão bosch    | AD | 1  |          |
| Parafuso M4                              | AE | 69 | Aço      |
| Porca martelo M4                         | AF | 69 | Aço      |
| Arruela M4                               | AG | 69 | Aço      |
| Sensor para Tacômetro                    | AH | 1  |          |
| Suporte para sensor do tacômetro (7g)    | AI | 1  | PLA      |
| Parte superior do funil impresso (173g)  | AJ | 1  | ABS      |
| Parte inferior do funil impresso (81g)   | AK | 1  | ABS      |
| Parafuso Phillips (M5 x 40 mm)           | AL | 2  | Aço      |

---

Fonte: Autoria própria.

Figura 27 - Parte de extrusão da extrusora



Fonte: Autoria própria.

O sistema extrusor foi montado e fixado na parte estrutural da máquina. Desta forma ele suporta os esforços mecânicos do processo, distribuindo estas cargas na estrutura da máquina. Ele pode ser montado ou desmontado de dois modos. Começando pela parte quente da máquina, K, L N P Q e R, ou do motor AD, AC AB, utilizando os componentes AE, AF e AG, todos da Tabela 2. Nesta explicação de montagem, será explicada somente da parte quente da máquina até o motor (AD).

Portanto, para montar este sistema é interessante construir todo o sistema de aquecimento primeiro. No tambor octogonal (N) são rosqueados os termopares (O) e depois, com pasta térmica, são posicionados os resistores (M). Para uma estabilização dos dezesseis resistores, dois por face, é interessante usar três arames de aço, abraçando-os e empurrando-os contra a face do tambor octogonal (N). Posteriormente, são posicionados os termopares do tipo K presentes na Tabela 7, nos cinco furos de 6 mm distribuídos um em cada face do tambor (N). A posição e profundidade do posicionamento de cada termopar é decidido pelo operador durante a montagem. No caso, para este projeto foi proposto posicionar os termopares a 0, 6 e 12 mm de profundidade. Nesta peça (N), os cinco furos têm dezoito milímetros de profundidade em relação à face onde são posicionados os resistores (M). Agora é necessário reservar esta montagem. O flange (P) será fixado no primeiro componente estrutural da máquina, a chapa usinada (F). Nele, utilizando quatro parafusos (R) e porcas (Q), fixam o flange (P) a chapa (F), bloco de madeira (S) e o flange duplo (U). Este flange será fixado por dois parafusos *allen* (R) e porcas M6 (Q) a chapa usinada (G) e ao pedaço de cantoneira (H). Esta é a segunda fixação dos componentes da parte de extrusão da máquina. Portanto, agora já é possível posicionar a broca de indicada para furar madeira (T), que é a rosca da máquina. Neste momento este sistema já montado deve estar estabilizado, não tendo

movimentação. Agora o primeiro sistema montado, componentes N, M, O e os termopares tipo K, é rosqueado no flange (P). Neste momento a parte elétrica dos dois circuitos de resistores, manta térmica Kawool BK, chapa 0,5mm (L) e o *nozzle* (K) podem ser montados, finalizando a parte quente do sistema extrusor. Agora é necessário montar a parte mecânica do processo de extrusão. O motor (AD) é preso por parafusos (Z) ao suporte de rolamento impresso 2 (AC) e ao suporte para rolamento impresso 1 (AB). Nele é posicionado o rolamento (AA) e o acoplamento usinado (Y) no suporte de rolamento (AB) e no eixo do motor (AD). Com três parafuso M3 *allen* (W), o eixo do motor (AD) ficará centralizado e preso. Neste momento é possível instalar no acoplamento (Y) o travador de disco óptico (X) e o disco de encoder óptico (V). Eles são montados e posicionados por interferência. Eles são necessários para analisar a velocidade do motor extrusor (AD). Posteriormente, este sistema finalizado (AD, AC, AB, Z, AA, Y, X, W e V) é posicionado, usando o eixo da rosca (T) e será preso ao perfil (I) por meio de seis parafusos M4 (AE), porcas martelo M4 (AF) e arruela M4(AG). Portanto, esta é a terceira fixação da parte estrutural da extrusora. Por fim, é encaixado a parte inferior do funil impresso (AK) no rasgo superior do flange duplo (U), utilizando dois parafusos *phillips* (AL) o sistema está fixo e travado. Parte superior do funil (AJ) pode ser encaixada ou colada na parte inferior do funil (AK).

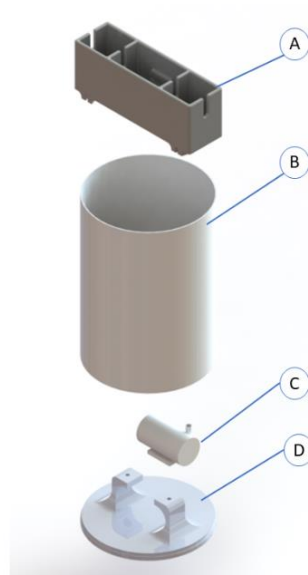
A Tabela 3 é a lista dos componentes utilizados para montar a parte do sistema resfriador. Nesta é possível observar os componentes com os respectivos códigos, como demonstrado na Figura 28.

Tabela 3 - Lista dos componentes do sistema resfriador

| Nome                          | Código | Número de peças | Tipo de material |
|-------------------------------|--------|-----------------|------------------|
| Barril de resfriamento (75g)  | A      | 1               | ABS              |
| Tanque de água                | B      | 1               | PVC              |
| Bomba de água                 | C      | 1               |                  |
| Base seladora de tanque (31g) | D      | 1               | ABS              |

Fonte: Autoria própria.

Figura 28 - Sistema resfriador



Fonte: Autoria própria.

O sistema de resfriamento é montado utilizando componentes presentes na Tabela 3. Para esta montagem é necessário utilizar os seguintes passos: Primeiro é fixada a base seladora de tanque(D) na parte inferior do tanque de água (B). Para melhorar a fixação e a estanqueidade, é recomendado passar silicone no encaixe das peças. Posteriormente é interessante passar, com os dedos, mais silicone na parte de dentro, entre o tanque de água (B) e a base seladora (D). É necessário ligar uma mangueira de plástico entre a bomba de água (C) e o plugue, localizado na parte central inferior do barril de resfriamento (A). Por fim, é posicionado o barril (A) na parte superior do tanque de água (B), já podendo verter água no tanque de água (B). É importante ressaltar que a altura de tanque (B) foi definida para que o sistema montado ficasse da mesma altura da extrusão do material.

A Tabela 4 é a lista de materiais dos componentes utilizados para montar o sistema puxador e análise de diâmetro de filamento. Nesta é possível observar os componentes com os respectivos códigos, demonstrados na Figura 29.

Tabela 4 - Lista dos componentes do Sistema puxador e análise de diâmetro

(continua)

| Nome  | Código | Número de peças | Tipo de material |
|---|--------|-----------------|------------------|
| Motor de passo Nema 17                          | A      | 1               |                  |
| Parafuso de cabeça hexagonal M6x40 mm           | B      | 3               | Aço              |
| Parte superior do sistema puxador (39g)         | C      | 1               | ABS              |
| Rolamento 608zz                                 | D      | 3               |                  |
| Eixo usinado (M8x52 mm)                         | E      | 2               | Aço              |
| Rodas de borracha de impressoras descartadas    | F      | 2               | Borracha         |
| Guia de filamento e suporte do paquímetro (98g) | G      | 1               | PLA              |
| Paquímetro                                      | H      | 1               |                  |
| Suporte inferior do paquímetro (17g)            | I      | 1               | PLA              |
| Base do puxador (114g)                          | J      | 1               | PLA              |
| Parafuso Phillips (M3x12mm)                     | K      | 6               | Aço              |
| Sistema inferior do puxador (42g)               | L      | 2               | ABS              |
| Porca M6  | M      | 4               | Aço              |
| Acoplamento flexível                            | N      | 1               | Alumínio         |
| Parafuso Phillips (M3x25)                       | O      | 5               | Aço              |

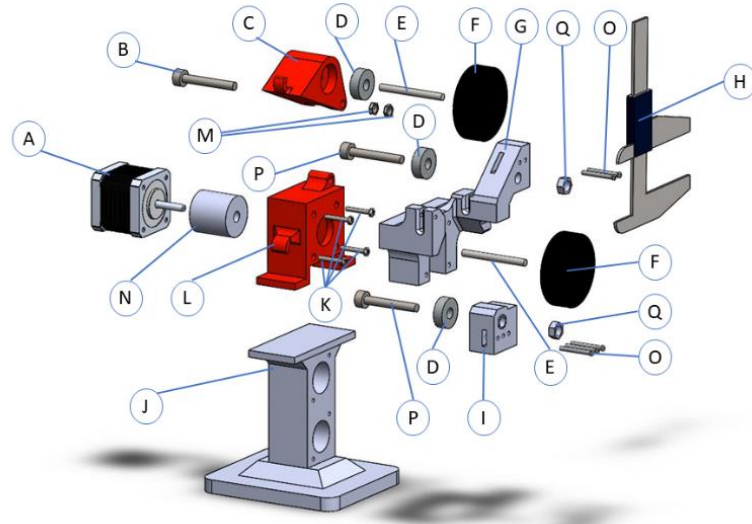
(conclusão)

| Nome | Código | Número de peças | Tipo de material |
|------|--------|-----------------|------------------|
|------|--------|-----------------|------------------|

|                          |   |   |     |
|--------------------------|---|---|-----|
| Parafuso<br>Allen(M8x35) | P | 2 | Aço |
| Porca parlock M8         | Q | 2 | Aço |

Fonte: Autoria própria.

Figura 29 - Sistema puxador e análise de diâmetro



Fonte: Autoria própria.

O sistema puxador, com sistema de medição, utiliza componentes da Tabela 4. Nele quatro parafusos *phillips* (K) prendem o nema 17 (A) ao sistema inferior do puxador (L) e, também, ao guia de filamento e suporte de paquímetro (G). O acoplamento flexível (N) pode ser preso ao eixo do nema 17 motor (A). O eixo usinado (E) e a roda de borracha (F) podem ser fixados ao acoplamento (N). A parte superior do sistema puxador (C) é fixado ao sistema inferior do puxador (L) por meio de um parafuso de cabeça hexagonal (B) e duas porcas M6 (M). Com este sistema montado, é possível ver que esse funciona, fazendo um movimento de mordida. Para morder ou, para as rodas (F) se encostarem, é necessário montá-las na parte superior do sistema (C), utilizando um rolamento 608zz (D) e um eixo usinado (E), todos montados com interferência. Este sistema montado é posicionado na parte superior da base do puxador (J) e, é fixado com três parafusos *phillips* (O), travando-o na na base do puxador (J) a parte inferior do puxador (L). O paquímetro (H) é posicionado utilizando a medição interna, normalmente utilizada para medição de furos. Uma destas hastes do paquímetro (H) é inserida no furo do guia de filamento (G), em um rasgo de seção retangular. Nele o paquímetro (H) é travado por três parafusos *philips* (O). A outra haste do paquímetro (H) é posicionada no furo

de seção retangular do sistema inferior do puxador (L) e, para fixá-lo, é utilizado dois parafusos *philips* (O). Para medição do filamento, foram utilizados dois rolamentos 608zz (D). Um fixado no guia de filamento (G) e outro no suporte inferior do paquímetro (I). Ambos são fixados por parafuso *allen*(P) e porca *parlock* M8 (Q). É importante ressaltar que a base do puxador (J) não só serviu como fixação dos cabos provenientes da placa de circuito, mas também elevou o sistema na altura até a do processo de extrusão.

A Tabela 5 é a lista dos componentes necessários para montar a parte estrutural e mecânica do sistema bobinador. Nesta é possível observar os componentes com os respectivos códigos, como demonstrados na Figura 30(a) sistema mecânico do bobinador e Figura 30(b) parte estrutural do sistema bobinador.

Tabela 5 - Lista de componentes do Sistema bobinador

(continua)

| Nome                                 | Código | Número | Tipo de material |
|--------------------------------------|--------|--------|------------------|
| Parafuso M4                          | A      | 14     | Aço              |
| Motor de passo Nema 17               | B      | 1      |                  |
| Polia dentada 2GT 8                  | C      | 2      | Alumínio         |
| Suporte para motor de passo (66g)    | D      | 1      | ABS              |
| Mancal com rolamento KP08            | E      | 2      |                  |
| Perfil 2020 (280 mm)                 | F      | 2      | Alumínio         |
| Travador de rolo de filamento (53 g) | G      | 2      | ABS              |
| Vara roscada (M8 - 380 mm)           | H      | 1      | Aço              |
| Porca martelo M4                     | I      | 14     | Aço              |
| Parafuso <i>phillips</i> (M4 - 40mm) | J      | 6      | Aço              |

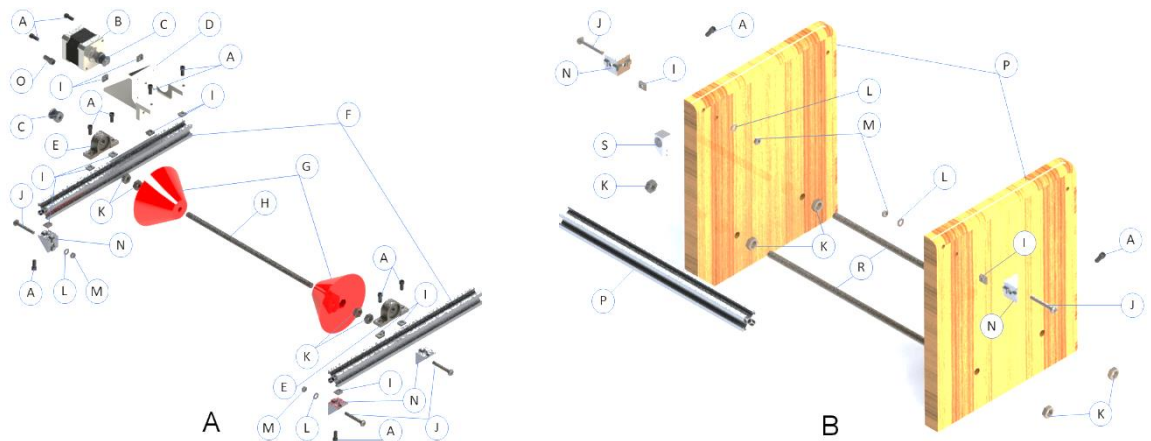
(conclusão)

| Nome     | Código | Número | Tipo de material |
|----------|--------|--------|------------------|
| Porca M8 | K      | 4      | Aço              |

|  |   |    |          |
|--|---|----|----------|
| Arruela M4   | L | 6  | Aço      |
| Porca M4   | M | 18 | Aço      |
| Cantoneira de alumínio para perfil estrutural 2020 | N |    | Alumínio |
| Parafuso <i>allen</i> (M3 - 10 mm)                 | O | 4  | Aço      |
| Perfil 2020 (280 mm)                               | P | 1  | Alumínio |
| Peça de madeira (215 - 220 mm)                     | Q | 2  | Madeira  |
| Vara roscada (M8 - 300 mm)                         | R | 2  | Aço      |
| Travador de plugue RJ45 (15 g)                     | S | 1  | PLA      |

Fonte: Autoria própria.

Figura 30 - Sistema bobinador, onde (a) parte mecânica do bobinador e (b) parte estrutural



Fonte: Autoria própria.

O bobinador foi montado utilizando peças reportadas na Tabela 5. Quatro parafusos M3 (O) prendem o motor de passo nema 17 (B) no suporte para motor (D). Para fixar esta montagem ao perfil 2020 (F), quatro parafusos M4 (A) com quatro porcas martelo M4 (I) foram utilizados. A fixação da vara roscada (H), onde será posicionado o carretel, foi feita utilizando o furo central do travador de rolo de filamento (G) na vara roscada (H), posteriormente quatro porcas (K) foram utilizadas para segurar o travador de rolo (G). Este sistema foi montado nos perfis 2020 (F) com dois mancais KP08 montados (E), quatro parafusos M4 (A) e quatro porcas martelo M4 (I). Na extremidade do eixo suporte para o motor de passo (D) e a vara roscada (H) é fixado na polia dentada (C). O sistema foi projetado

desta maneira para que a distância entre o motor (B) e a vara (H) se ajuste para esticar a correia. Os sistemas montados são fixados em duas peças de madeira (Q). Para isto quatro cantoneiras (N), quatro parafusos (A) e quatro porcas martelo (I), travando na cantoneira (N) no perfil (F) e, quatro parafusos *phillips* (J), quatro arruelas (L) e quatro porcas (M) são utilizados para travar a outra face da cantoneira (N) nas peças de madeira (Q). Para aumentar a rigidez na parte inferior da estrutura, as varas roscadas (Q) são presas por quatro porcas (K) em cada barra. Desta, duas ficam na face interna da peça de madeira (Q) e duas ficam na parte externa mesma. Também para aumentar a rigidez na parte superior da estrutura, um perfil 2020 (O) é preso a duas cantoneiras (N), um em cada extremidade do perfil. Eles são presos ao perfil por um parafuso (A) cada. Para fixar cantoneira (N) as peças de madeira (Q), são utilizados um parafuso *phillips* (J) em cada, com uma arruela (L) e uma porca (M). É importante ressaltar que neste sistema não foram utilizados sensores ópticos que ativam e desativam a rotação do motor do sistema, portanto, só foi utilizado uma velocidade de bobinamento pré setada, de acordo com análise do operador. Outro ponto é que a altura das peças de madeira(Q) e o posicionamento das varas rosca (R) e o perfil 2020 (Q), onde foram definidos usando os valores dos diâmetros dos rolos de filamento existentes no mercado brasileiro.

Para a parte elétrica, as caixas de plástico, presentes no Apêndice L - Lista de materiais da parte elétrica da máquina. Cada uma delas é presa utilizando quatro parafusos M4 (AE), com porcas (AF) e arruelas de pressão (AG), todos reportados na Tabela 1, da parte estrutural da extrusora. A caixa de potência, localizada na parte lateral, oposta ao mecanismo de extrusão, é fixada na fonte chaveada 12V 50A e um disjuntor bifásico. O cabo PP de 3 vias entra na caixa de potência e, os fios de potência vão nos disjuntores e o de aterramento, vai no aterramento da fonte e na estrutura da máquina. Do disjuntor vão os fios no botão de emergência e depois na chave seletora e, finalmente, para alimentar a fonte. Da fonte sai dos fios vcc (tensão em corrente contínua) e dois gnd (terra), para a placa de controle, localizada na parte frontal da máquina. Um vai para o driver de ponte H e outro para a entrada da placa. Da placa saem quatro fios 2,5mm para os dois circuitos de resistência. Para alimentar, controlar e obter dados dos componentes externos, foram utilizados cabos CAT6 com plugues RJ45. Eles saem direto dos respectivos bornes da placa e são plugados em plugues fêmeas RJ45, no caso dos periféricos. Para o sensor tacômetro, ele sai do borne da placa para o borne do módulo. A escolha da separação de potência da de comando e a utilização de cabos CAT6 foi para reduzir os ruídos dos sensores e tornar o equipamento mais estável. Outro ponto é que este cabo é de fácil aquisição no mercado brasileiro.

Os materiais foram adquiridos por verbas de bancada dos processos Fapesp 2019/14694-0, CNPq 168694/2018-2 e 305959/2017-4, e por recursos próprios.

### 3.4 METODOLOGIA DE VALIDAÇÃO DE EQUIPAMENTO

Os componentes da máquina foram validados por análise térmica, avaliando se a seleção dos materiais utilizados é adequada aos esforços térmicos durante a fabricação. Para a análise mecânica, as peças foram submetidas a longos períodos de processo, variando vazão e temperatura de processamento. A análise térmica foi feita com câmera térmica FLIR de um celular modelo CAT S60, mapeando a distribuição de temperaturas da máquina. A emissividade é a indicada como recomendada pelo fabricante, informação contida no *software* do aplicativo.

### 3.5 MATERIAIS E METODOLOGIA DE ANÁLISE DE PROCESSO

Como teste para a máquina, foi utilizado ABS no primeiro ciclo de reciclagem. Este foi processado para cinco temperaturas distintas e para três valores de PWM (*Pulse Width Modulation*) do motor extrusor, o que ocasionou variação de vazão da máquina. O uso do PWM foi escolhido porque esta é uma técnica de controle de potência simples e comum quando utiliza circuitos eletrônicos. O material processado, ABS *premium* Preto Sépia, foi adquirido com verba proveniente do processo CNPq 168694/2018-2, da empresa 3DFILA<sup>®</sup>. O material foi seccionado com tesoura de aviação, e o tamanho do particulado foi analisado por *software* ImageJ conforme os seguintes passos: Conversão do *pixel* para um valor real em mm, imagem para tons de cinza, *threshold*, *fill the holes*, *Analyse particles*, *outlines*, excluindo os contornos. Por fim, o material foi despejado no funil da extrusora.

Os dados obtidos, durante o processo, foram: velocidade de rotação do motor extrusor, corrente consumida pelo motor extrusor e pelas resistências, temperatura no polímero, temperatura em três posições radiais no tambor e diâmetro do filamento processado. A temperatura de processo e a velocidade do motor puxador são valores previamente ajustados. O ABS como recebido e seccionado, foi processado a 205, 210, 215, 220 e 225°C de temperatura. O PWM setado para o motor extrusor foi de 40, 50 e 60. Os dados são observados e obtidos pela janela (*prompt*) de comando do *software* aberto do Arduino<sup>®</sup>, como pode ser observado na Figura 31. Nela é possível notar que os dados foram adquiridos a cada dois segundos.

Figura 31 - Prompt de comando com os dados obtidos do processo

```

16:03:20.690 -> I_motor: 1.87 || RPM motor DC: 4.88
16:03:20.690 -> =====Resistors=====
16:03:20.736 -> I_res1: 6.04 || I_res2: 5.45
16:03:20.781 -> =====Filament diameter=====
16:03:20.827 -> Diameter[mm]: 1.49
16:03:22.482 -> =====Temp=====
16:03:22.528 -> || 12 mm: 210.25 || 6 mm: 200.00 || 0 mm: 199.75 || Term Pol 2: 204.75 || Term Pol 1: 204.50
16:03:22.622 -> =====Motor DC=====
16:03:22.669 -> I_motor: 2.62 || RPM motor DC: 4.12
16:03:22.714 -> =====Resistors=====
16:03:22.761 -> I_res1: 5.94 || I_res2: 5.35
16:03:22.761 -> =====Filament diameter=====
16:03:22.808 -> Diameter[mm]: 1.49
16:03:24.474 -> =====Temp=====
16:03:24.520 -> || 12 mm: 210.75 || 6 mm: 199.50 || 0 mm: 199.25 || Term Pol 2: 204.50 || Term Pol 1: 204.25
16:03:24.610 -> =====Motor DC=====
16:03:24.655 -> I_motor: 2.34 || RPM motor DC: 2.63
16:03:24.703 -> =====Resistors=====
16:03:24.749 -> I_res1: -0.02 || I_res2: 5.35
16:03:24.749 -> =====Filament diameter=====
16:03:24.796 -> Diameter[mm]: 1.51
16:03:26.505 -> =====Temp=====
16:03:26.505 -> || 12 mm: 210.00 || 6 mm: 200.00 || 0 mm: 199.25 || Term Pol 2: 204.75 || Term Pol 1: 204.50
16:03:26.644 -> =====Motor DC=====
16:03:26.644 -> I_motor: 3.00 || RPM motor DC: 2.63
16:03:26.690 -> =====Resistors=====
16:03:26.736 -> I_res1: 5.84 || I_res2: 5.50
16:03:26.784 -> =====Filament diameter=====
16:03:26.784 -> Diameter[mm]: 1.52
16:03:28.491 -> =====Temp=====
16:03:28.537 -> || 12 mm: 210.25 || 6 mm: 199.50 || 0 mm: 199.25 || Term Pol 2: 204.75 || Term Pol 1: 204.50
16:03:28.628 -> =====Motor DC=====
16:03:28.674 -> I_motor: 2.70 || RPM motor DC: 4.13
16:03:28.721 -> =====Resistors=====
16:03:28.721 -> I_res1: 5.79 || I_res2: 5.60
16:03:28.767 -> =====Filament diameter=====
16:03:28.814 -> Diameter[mm]: 1.52
16:03:30.469 -> =====Temp=====

```

← Informação de temperatura  
← Informação da corrente de motor  
← Informação da corrente dos resistores  
← Análise de diâmetro

Fonte: Adaptado de Oliveira-Filho; Jesus; Nakazato; *et al.* (2022).

### 3.6 METODOLOGIA DE ANÁLISE DO MATERIAL UTILIZADO

Os filamentos foram analisados em microscópio confocal, modelo LEICA DCM3D, utilizando lente com ampliação de 20X/0.5, e por microscópio eletrônico de varredura (MEV), modelo Zeiss Evo LS-15. Para a obtenção dos parâmetros de rugosidade foi utilizado um suporte de filamento, que pode ser obtido na plataforma Thingiverse por Oliveira-Filho; Jesus; Hein (2022). Desta forma, foram realizadas dez imagens em posições distintas e de forma randômica, conforme apresentado na Figura 31. As superfícies obtidas foram tratadas no programa Gwyddion, onde elas foram planificadas e foi feita a análise estatística da rugosidade. Posteriormente, foi dividida a área projetada pela superfície de área. Desta relação foi utilizada a mediana das dez imagens para obter os valores de rugosidade de um determinado parâmetro de processo.

Figura 32 - Análise de rugosidade de filamentos por técnica confocal, (A) microscópio e análise realizada e (B) suporte com filamento analisado



Fonte: Autoria própria

### 3.7 MÉTODOS ESTATÍSTICOS EMPREGADOS

Para analisar o equipamento e o processo, foi utilizada a correlação entre os dados, que é a distância dos dados da média e planejamento experimental, empregando fatorial completo e aplicando métodos estatísticos como análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey. Neste a influência dos cinco níveis de temperatura e dos três de PWM foram dados de entrada e, as variáveis resposta foram o diâmetro de filamento e a razão de área do filamento.

### 3.8 INSTRUÇÃO DE USO

Para utilizar o equipamento, plugue o cabo usb da placa no computador. No computador, abra o programa maindocx. Para baixar o programa utilize o *link* de documentação, presente em Oliveira-Filho; Jesus; Nakazato; *et al.* (2022). Acessando este, será redirecionado para a plataforma do Github, onde o programa e demais arquivos da placa foram depositados. Com o programa aberto no *software* do Arduino, carregue o programa na máquina. Após carregá-lo, é só abrir o *prompt* de comando. Nele já será possível observar as temperaturas, a corrente(A) consumida pelas resistências e pelo motor, e também o diâmetro do filamento. Na parte superior da janela é possível enviar os comandos de controle da máquina, que serão abordados posteriormente.

Uma informação importante é que para iniciar o processo, é recomendado que comece pela temperatura, para amolecer o polímero e evitar desgaste desnecessário nos componentes do equipamento. A máquina tem cinco códigos padrão, todos reportados na aba *Definition* do código, sendo:

G1 - para enviar uma informação de velocidade desejada para o motor extrusor, no caso em PWM. Este pode ter sentido horário ou anti-horário. Exemplo: G1A30, motor extrusora com 30 de PWM enviado para o motor em sentido anti-horário. É importante informar que a ponte H, utilizada na placa de circuito, possibilita rotação no sentido horário. Todavia, foi

escolhido não colocar um código para esta ação, para proteger o equipamento de possíveis distrações do usuário.

G2AP - para enviar uma informação da velocidade desejada pelo motor puxador e a letra A, significa anti-horário. Exemplo G2AP10, motor puxador com 10 rpm no sentido anti-horário.

G2AB - para enviar uma informação da velocidade desejada pelo motor bobinador e a letra A, significa anti-horário. Exemplo G2AB20, motor bobinador com 20 rpm no sentido anti-horário.

G3A - Para enviar a informação de temperatura desejada. Exemplo: G3A230, com 230°C de temperatura de serviço.

G4 - Muda o tempo de impressão na *prompt* de comando. Exemplo G4 2, imprime uma leitura a cada 2 segundos.

Com a máquina na temperatura correta de processo, os sistemas de resfriamento, motor puxador, paquímetro e bobinador, podem ser ligados à máquina, utilizando o chicote elétrico devidamente demarcado.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 ANÁLISE GERAL DA EXTRUSORA**

A extrusora, como apresentada na Figura 32, ficou robusta, resistente, pesando aproximadamente 10 kg e, utilizando decibelímetro (dBA) Minipa MSL-1310, a emissão acústica foi de aproximadamente 54 dBA. Portanto, leve, resistente e com baixo ruído, podendo ser utilizada em aulas práticas, por exemplo. Na Figura 33 é possível observar a extrusora, sem os periféricos. A Figura 32 (A) é do projeto renderizado e a Figura 32 (B) é do sistema montado.

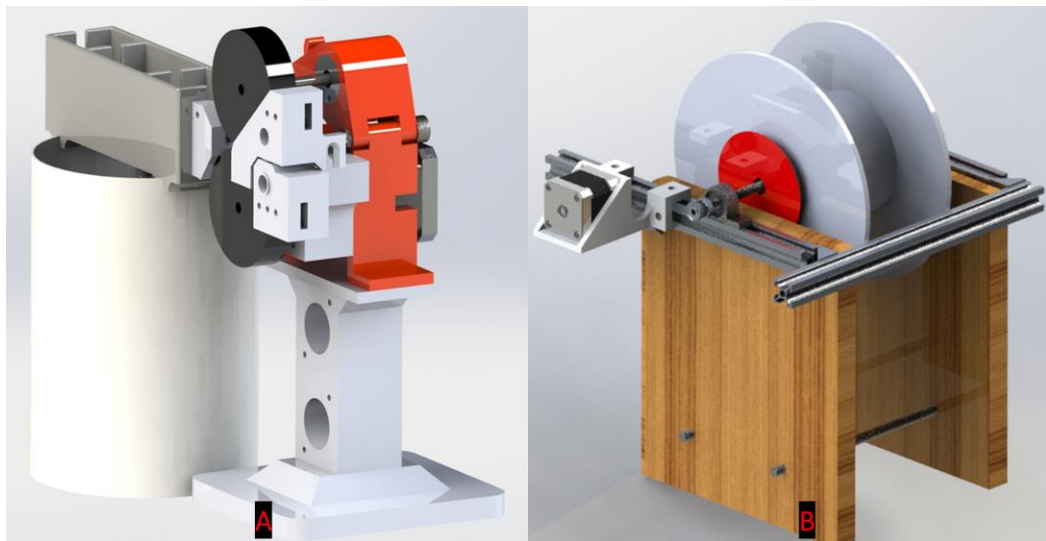
Figura 33 - Sistema extrusor, (a) projeto renderizado e (b) foto do sistema montado



Fonte: Autoria própria.

O sistema de resfriamento, puxador e bobinador funcionaram como esperado, conseguindo obter os dados de maneira confiável e com durabilidade. As montagens dos sistemas renderizados podem ser observadas na Figura 34. O sistema de aquisição foi modificado do apresentado por Making (2017). Isto ocorreu para aumentar a rigidez do sistema e, conseqüentemente, melhorar a confiabilidade dos dados gerados.

Figura 34 - Desenho dos sistemas renderizados, (a) de resfriamento com puxador e (b) bobinador

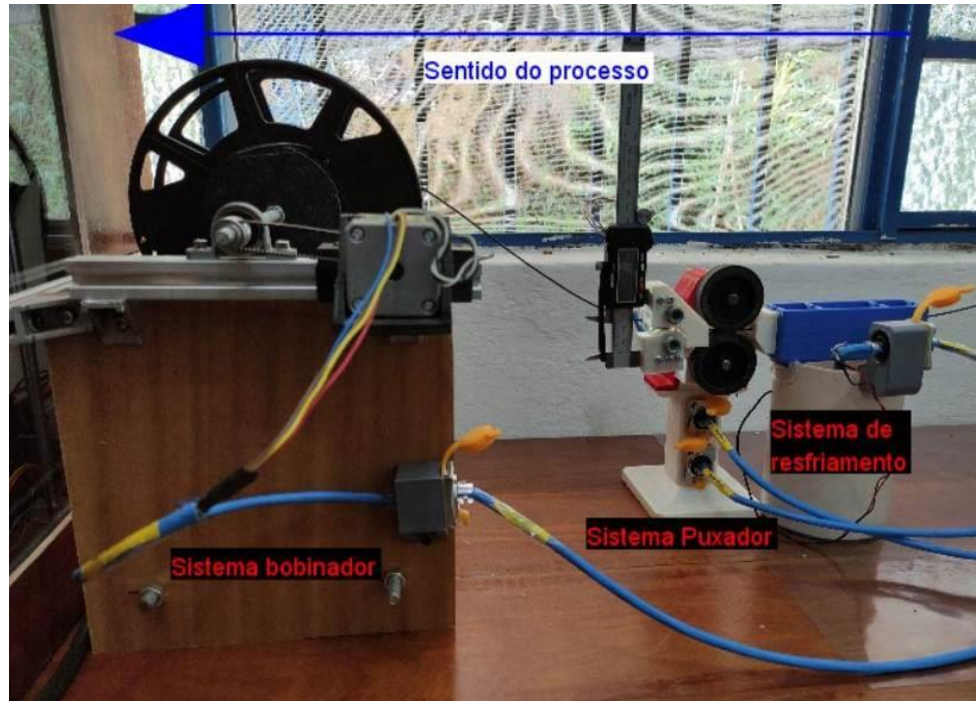


Fonte: Autoria própria.

O sistema de resfriamento, puxador, com medição do diâmetro de filamento e o bobinador podem ser observados na Figura 35. Nesta é possível notar o chicote da máquina, que foi utilizado para transferência de dados e potência para os componentes. O cabo CAT6 é interessante pois é um cabo barato, sem limitação de dimensão, com blindagem e com oito

fios por cabo, trazendo modularidade para a montagem e confiabilidade nos dados gerados, que são pontos importantes para o projeto.

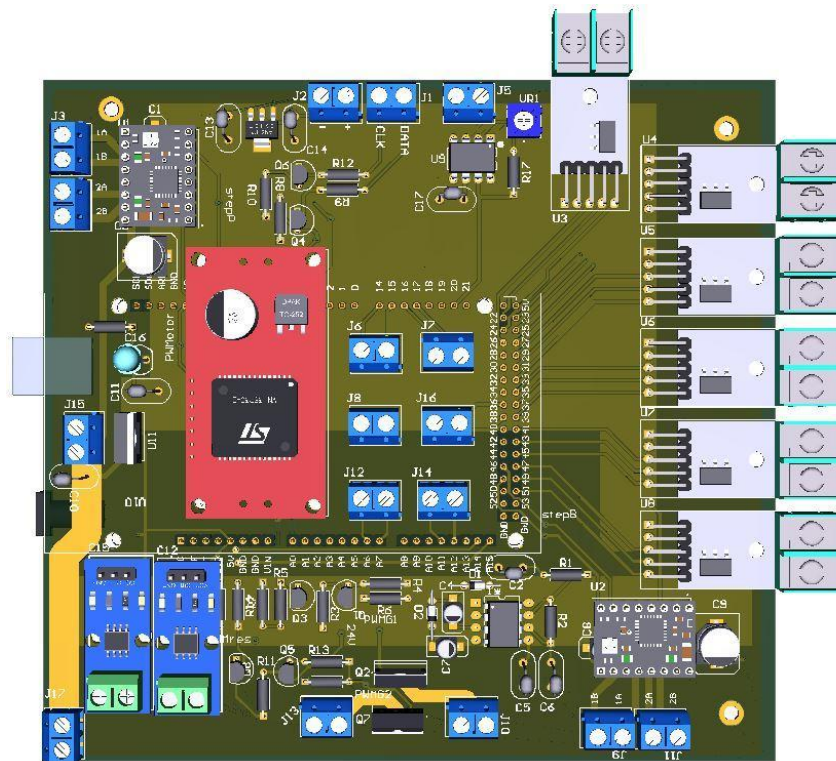
Figura 35 - Sistema de resfriamento, puxador e bobinador durante o processo



Fonte: Autoria própria.

A versão de circuito integrado, já certificada pela OSHWA (*Open Source Hardware Association*) é apresentada na Figura 36 e os arquivos para *download* podem ser obtidos usando a referência desta certificação. Este circuito vem a reduzir os efeitos térmicos gerados na versão 1.0. Para minimizar esses efeitos, foi substituído o terminal preto KRE KF301, que suporta até 10 A, pelo terminal azul, KRE KF128, que suporta até 16 A. A trilha de alimentação das resistências foi reduzida também, posicionando o módulo de corrente próximo do terminal. Os terminais J6, J7, J8, J16, J12 e J14, são acessos a portas digitais e analógicas do Arduino. Eles foram propostos para dar modularidade ao circuito, podendo instrumentar ainda mais a máquina, caso o operador desejar.

Figura 36 - Circuito modular e integrado, versão 2.0



Fonte: Oliveira-Filho; Jesus; Nakazato; *et al.* (2022)

Na Figura 37 é possível observar a extrusora montada e com todos os componentes periféricos. É importante ressaltar que nesta imagem a extrusora está utilizando a placa de circuito da primeira versão. Portanto, alguns circuitos necessários estavam externos à placa.

Figura 37 - Extrusora com todos os componentes montados



Fonte: Autoria própria.

A máquina teve um custo total de peças de R\$ 2869,87, inferior a equipamentos de fabricante nacional, como a da FILMAQ3D (2021), cujo equipamento completo e sem

sistema de controle e aquisição de dados tem custo superior a 9 mil reais. Os valores reportados na Tabela 6 foram obtidos 29/04/2022, com o dólar americano a R\$5,00.

Tabela 6 - Custo dos sistemas da máquina e custo total do equipamento

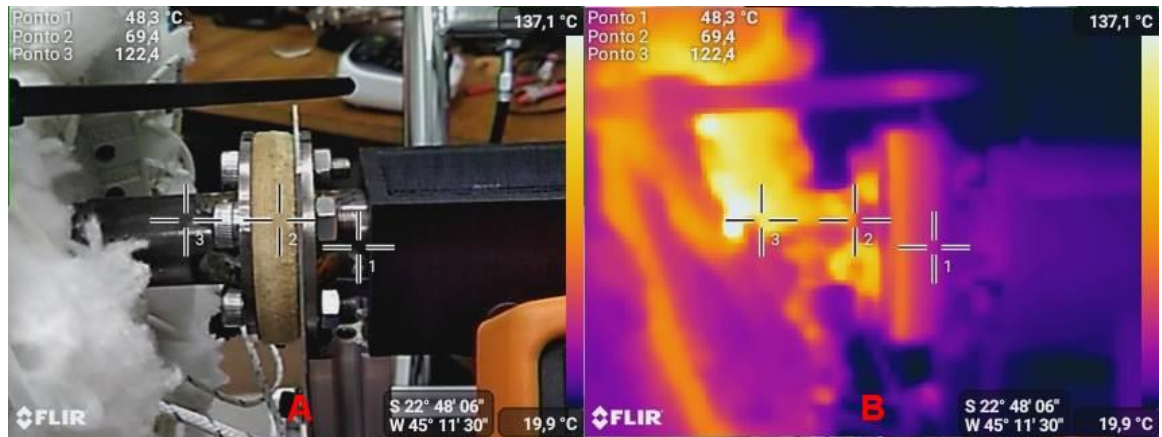
| Parte da máquina            | Custo               |
|-----------------------------|---------------------|
| Parte estrutural            | R\$ 236,25          |
| Sistema extrusor            | R\$ 760,97          |
| Sistema resfriador          | R\$ 76,65           |
| Sistema puxador             | R\$ 225,37          |
| Sistema bobinador           | R\$ 218,91          |
| Placa de circuito           | R\$ 779,82          |
| Componentes elétricos       | R\$ 571,91          |
| <b>Custo total de peças</b> | <b>R\$ 2.869,87</b> |

Fonte: Autoria própria.

#### 4.2 VALIDAÇÃO DOS COMPONENTES DA MÁQUINA POR ANÁLISE TÉRMICA.

Na Figura 38, é possível notar a distribuição de calor entre a região de extrusão com *nozzle* (A) e barril (N), parafuso Allen (R), porca (Q), flange (P) e bloco de madeira (S), flange duplo (U) e parte inferior do funil (AK), todos presentes na Tabela 2. Nesta imagem, tanto na Figura 38 (A), como na Figura 38(B), é possível notar que a região mais quente ficou, no sentido de processo, do flange (P) para o *nozzle*(A), chegando a valores superiores a 100°C. O bloco de madeira (S), próximo a 70°C o flange duplo (U) a uma temperatura próxima a 50°C. Estas temperaturas inviabilizam o uso de PLA, por exemplo, para a construção da parte inferior do funil (AK). Portanto, o uso de ABS deu a resistência térmica e o *infill* de 70% ajudou a suportar o choque dos particulados, durante a rotação da broca indicada para uso em madeira (T).

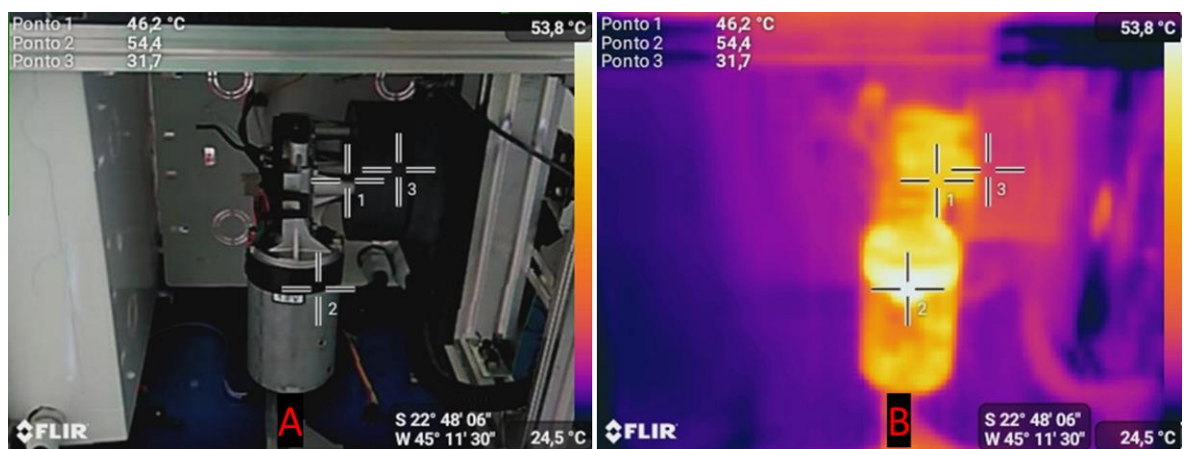
Figura 38 - Análise térmica entre a zona quente e de alimentação da extrusora, no qual (A) foto com análise térmica em três pontos e (B) análise térmica geral



Fonte: Autoria própria.

O motor (AD), presente na Tabela 2, também gera calor durante o processo, atingindo temperaturas próximas a 50°C, como pode ser observado na Figura 39. Portanto, o suporte de rolamento (AB) e o (AC) em ABS foram utilizados corretamente. Também não foi observado desgaste mecânico das peças durante os ensaios.

Figura 39 - Análise térmica do sistema de transmissão e torque, no qual (a) foto com análise térmica em três pontos e (b) análise térmica geral



Fonte: Autoria própria.

A corrente máxima suportada pelo motor extrusor (AD) conforme o fabricante, é de 30,0 A. Portanto, como pode ser observado na Tabela 7, o motor foi selecionado adequadamente, visto que a maior corrente foi de 7,22 A, a temperatura de 210°C e 60 de PWM.

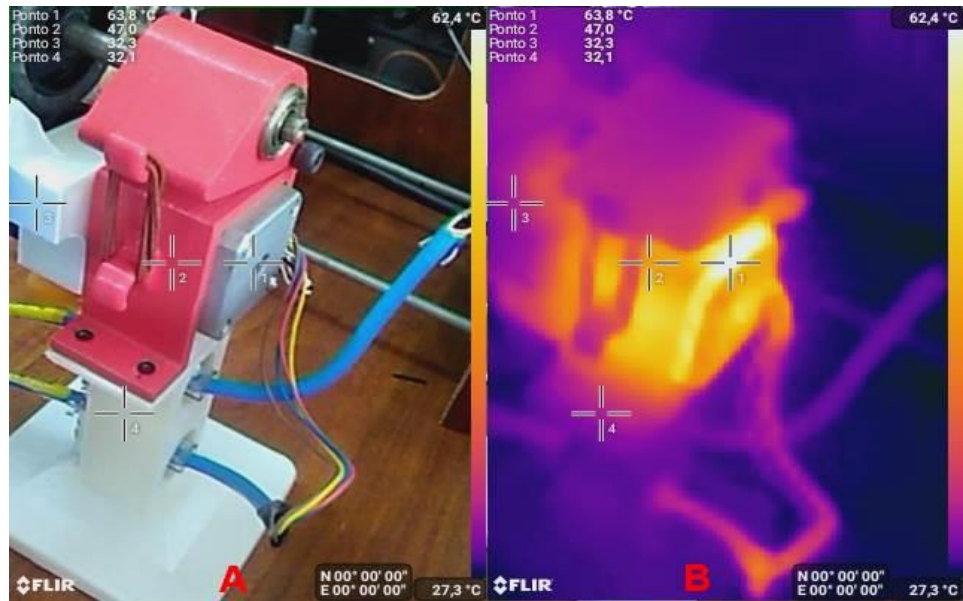
Tabela 7 - Corrente média e máxima do motor extrusor por parâmetro de processo

| Parâmetros de processo | Média da corrente consumida pelo motor (A) | Máxima corrente durante o processo (A) |
|------------------------|--|--|
| 205/40                 | 2,34                                       | 4,05                                   |
| 205/50                 | 2,35                                       | 3,81                                   |
| 205/60                 | 3,06                                       | 4,62                                   |
| 210/40                 | 2,18                                       | 3,89                                   |
| 210/50                 | 3,22                                       | 5,30                                   |
| 210/60                 | 4,52                                       | 7,22                                   |
| 215/40                 | 2,03                                       | 3,56                                   |
| 215/50                 | 2,85                                       | 4,58                                   |
| 215/60                 | 3,99                                       | 6,21                                   |
| 220/40                 | 1,82                                       | 3,63                                   |
| 220/50                 | 2,77                                       | 4,91                                   |
| 220/60                 | 3,62                                       | 5,44                                   |
| 225/40                 | 1,81                                       | 3,53                                   |
| 225/50                 | 2,66                                       | 4,71                                   |
| 225/60                 | 3,71                                       | 6,11                                   |

Fonte: Autoria própria.

No sistema puxador com análise de diâmetro, Tabela 4, o motor de passo (A) é o elemento que mais gera calor no sistema, como pode ser observado na Figura 40, chegando a temperaturas superiores a 60°C. Portanto as peças parte superior (C) e inferior (L), que ficam em contato com o motor (A), devem utilizar materiais que suportem temperaturas superiores a esta, baixo custo e com possibilidade de ser impressa em qualquer impressora. Portanto, a escolha do ABS foi adequada. O guia de filamento (G), suporte inferior (I), base puxador (J) não têm influência direta da temperatura do motor (A). Portanto, foi utilizado o PLA como material, devido ser impresso em qualquer impressora e ter baixa contração térmica durante o processo de impressão.

Figura 40 - Análise térmica do sistema bobinador, no qual (a) foto com análise térmica em três pontos e (b) análise térmica geral



Fonte: Autoria própria.

O componente que gera calor no sistema bobinador, Tabela 5, é o motor de passo (B), chegando a temperaturas acima de 50°C, como pode ser observado na Figura 41. Portanto, foi proposto utilizar ABS no suporte de motor de passo (D).

Figura 41 - Análise térmica do sistema bobinador, no qual (A) foto com análise térmica em três pontos e (B) análise térmica geral

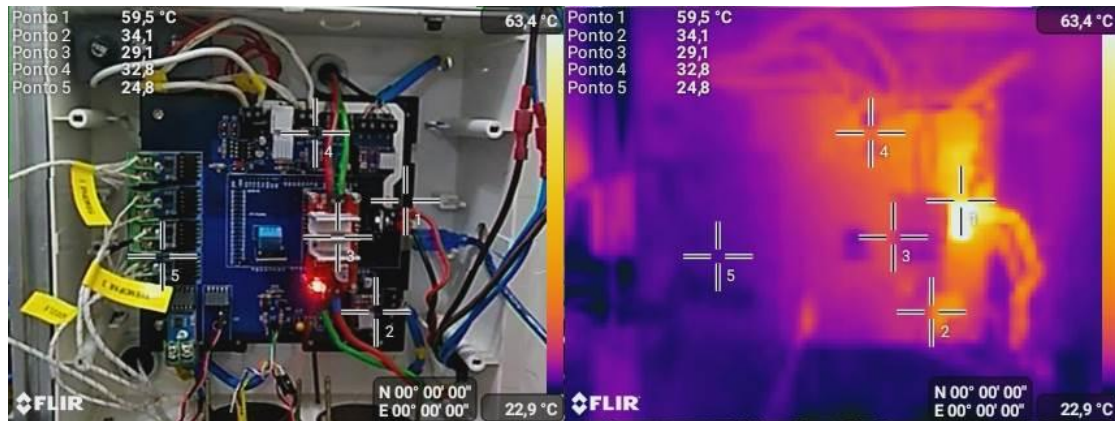


Fonte: Autoria própria.

A região com maiores temperaturas no circuito integrado foi no terminal KRE KF301 preto, para até 10 A, de alimentação da placa e na trilha de alimentação do circuito na

resistência, chegando a valores próximos a  $60^{\circ}\text{C}$ , como pode ser observado na Figura 41. Portanto, para o registro no circuito versão 2.0 foi proposta a mudança do terminal por um de cor azul, KRE KF128, suportando até 16 A e redução do comprimento da trilha de alimentação das resistências. Ambos apresentados no registro do Oliveira-Filho; Jesus; Nakazato; *et al.* (2022).

Figura 42 - Análise térmica do circuito integrador, no qual (a) foto com análise térmica com cinco pontos e (b) análise térmica geral

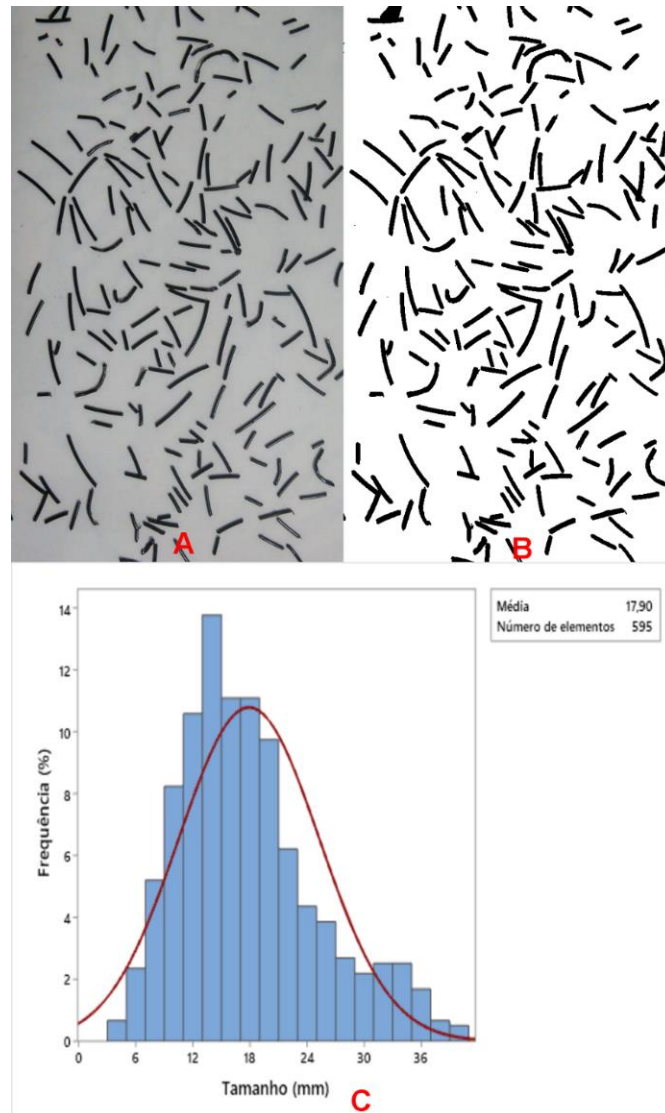


Fonte: Autoria própria.

### 4.3 PARÂMETROS DE PROCESSO

O tamanho dos grânulos do filamento triturado foi analisado por *software* ImageJ. A uniformidade deste parâmetro reduz efeitos de instabilidades no processamento, como mudança de fluxo durante a produção do filamento, como reportado na literatura. Na Figura 43 é possível observar a imagem adquirida, seu processamento (seleção dos objetos) e a distribuição de tamanho dos grânulos, sendo possível notar a frequência de cada comprimento. A média foi de 17,9 mm e foram analisados 595 objetos ao todo. O desvio padrão foi de 7,39 mm. Conforme reportado por Rauwendaal (2014), a inconstância do tamanho de particulado favorece a ter distúrbios de processo, como variabilidade do fluxo.

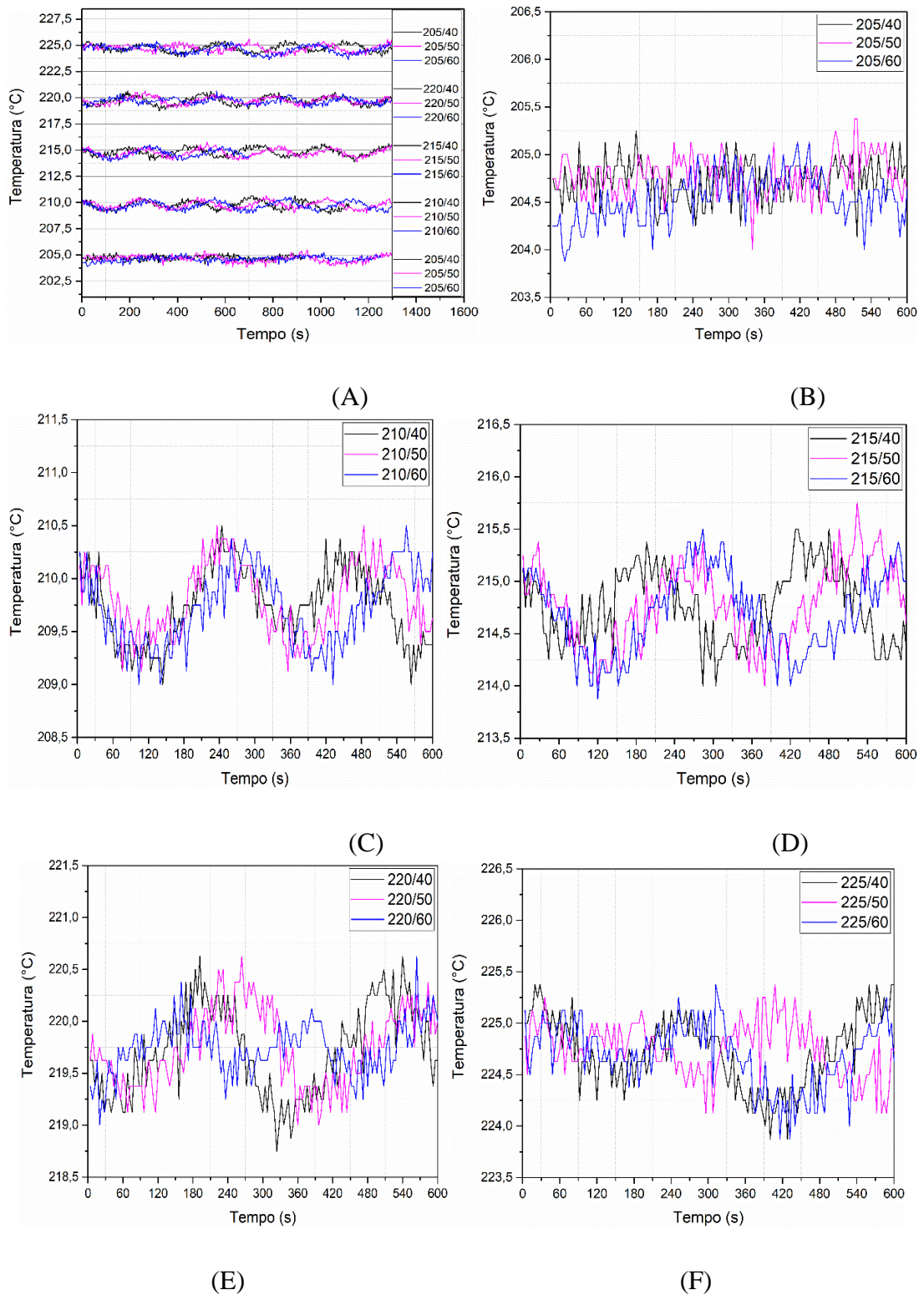
Figura 43 - Processamento e análise do diâmetro de grânulos, (a) foto adquirida por celular, (b) *threshold e fill holes* e (c) Distribuição de particulado



Fonte: Autoria própria

Variação na velocidade e corrente do motor e resistências, como reportado por Deng *et al.* (2014a) e Abeykoon *et al.* (2020), são parâmetros importantes para análise e controle de processo. Estas variações para a extrusora desta tese podem ser observadas na Figura 44. As maiores flutuações de temperatura aconteceram em valores superiores a 210°C, mantendo-se dentro da faixa de 1,5°C. Também é possível notar que não houve diferença entre as curvas de temperaturas para PWM distintos. O primeiro ponto é que a rosca, como não foi projetada diretamente para extrusão de polímero, gera pouco cisalhamento entre os grânulos. Portanto, não ocorreu aquecimento, mesmo em diferentes temperaturas de controle. Rauwendaal (2014), reportou que mesmo com o aumento de vazão da máquina, também não foi notado aumento significativo de temperatura analisada, para o mesmo tipo de rosca e equipamento do presente trabalho.

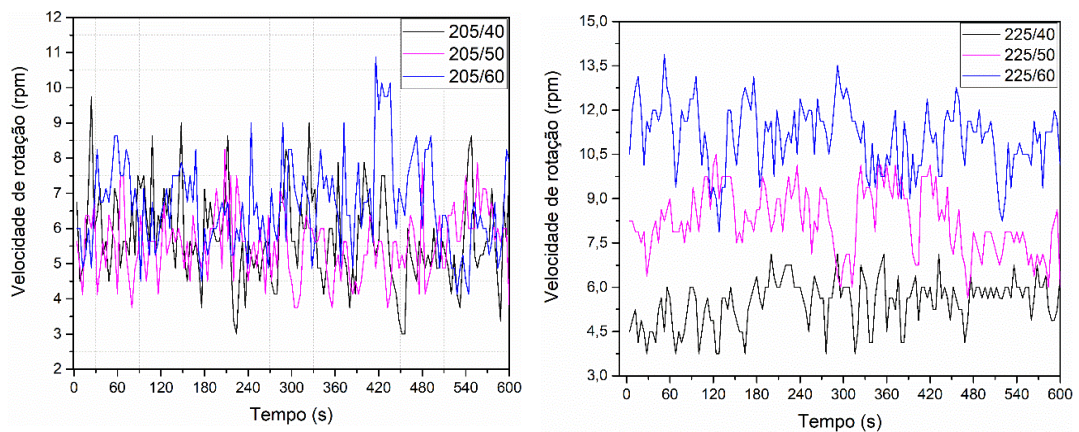
Figura 44 - Comportamento da temperatura no polímero por diferentes velocidades de rotação do motor extrusor, (A) comparativo de todas as temperaturas e velocidades, (B) comparativo de velocidades para temperatura de 205°C, comparativo de velocidades para temperatura de 210°C, (D) comparativo de velocidades para temperatura de 215°C, (E) comparativo de velocidades para temperatura de 220°C e (F) comparativo de velocidades para temperatura de 225°C



Fonte: Autoria própria.

A velocidade de rotação teve diferença significativa dos ensaios a 205°C para os a 225°C, como pode ser observado na Figura 45. Este fenômeno pode estar ocorrendo por capacidade insuficiente de energia para fusão ou amolecimento não homogêneo do material. Nos demais parâmetros não foi observada variação significativa.

Figura 45 - Comparativo de rotação do motor extrusor X tempo X temperatura, (A) temperatura de 205°C e (B) temperatura de 225°C

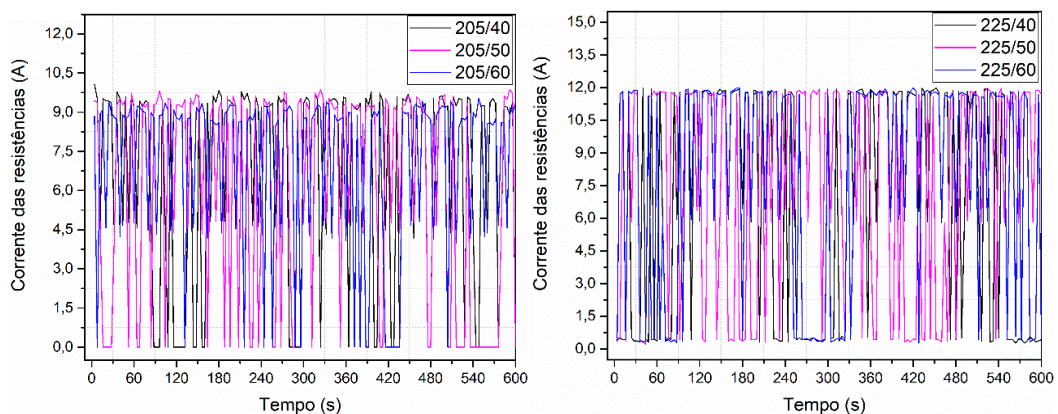


(A)(B)

Fonte: Autoria própria.

Não foi notada diferença significativa nos pulsos de corrente enviados para as resistências, como pode ser notado pela Figura 46. Este comportamento reitera a falta de cisalhamento provocado pela rosca e, portanto, pouco calor gerado. Com isso, é necessária maior ativação das resistências durante o processo, mesmo com maiores PWM. O gráfico tem diferença significativa ao apresentado por Deng *et al.* (2014a), que neste a rosca gerava energia, podendo o sistema diminuir os pulsos enviados para as resistências.

Figura 46 - Comportamento da corrente das resistências X tempo X rotação do motor extrusor, (a) 205°C e (b) 225°C



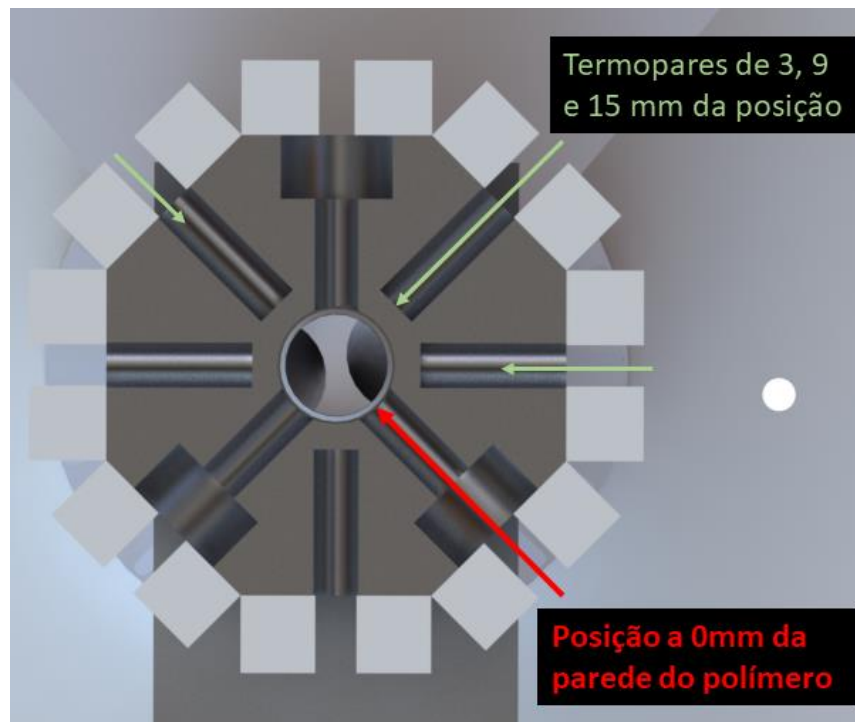
(a)

(b)

Fonte: Autoria própria.

O posicionamento dos termopares para controle de processo (posição a 0 mm, e para análise radial, 3, 9 e 15 mm da face interna do tambor) pode ser observado na Figura 47, que é a imagem renderizada do equipamento. Neste corte é possível notar que todos os termopares estão no mesmo plano e que este é paralelo ao plano da rosca, portanto perpendicular o eixo de rotação da mesma.

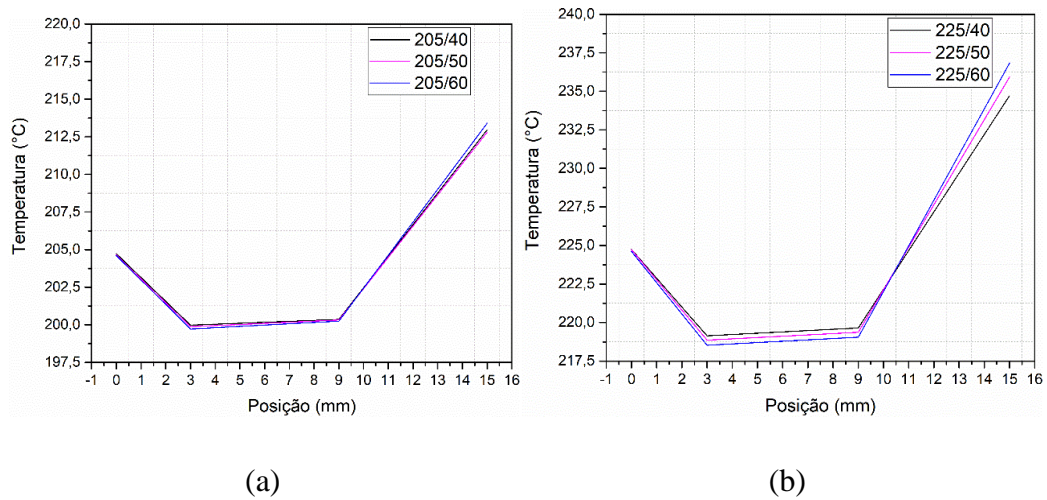
Figura 47 - Posicionamento dos termopares durante a análise



Fonte: Autoria própria

O comportamento radial pode ser observado na Figura 48. Nele é possível notar um distanciamento entre as curvas medidas entre na temperatura de processo de 225°C e o mesmo não ocorreu na temperatura de processo de 205°C. Os termopares intermediários, entre o polímero e as resistências, na Figura 47(B), foram menores em vazões maiores e, em contrapartida, esta relação se inverte no termopar perto da resistência. Isto demonstra que a rosca gera pouco calor durante o processo. Com isso, o polímero precisou de mais calor das resistências para manter a temperatura do processo. Abeykoon *et al.* (2011) observou variação significativa de temperatura durante o processo. Entretanto, a extrusora era de maior tamanho e a análise foi feita no centro do material extrudado, algo que não foi analisado no equipamento deste projeto.

Figura 48 - Comportamento radial de temperatura do barril por diferentes rotações do motor extrusor, (a) 205°C de temperatura setada e (b) 225°C de temperatura setada



Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 8 é possível observar os diâmetros médios, vazão, amostra por análise de área projetada/ superfície de área e coeficiente de variação do diâmetro. As amostras que tiveram os valores de diâmetro mais próximos de 1,75 foram as de 210/60, 215/50, 215/60, 220/50 e 220/60. Nos experimentos, as condições que apresentaram rugosidade superficial (superfície de área/área projetada) mais próximas do fabricante, que foi de 1,07, foram as de 210/60, 215/50, 215/60, 220/50. Os valores de 220°C para a análise de rugosidade foram os piores, mostrando que o efeito de temperatura na qualidade superficial do processo foi maior do que o do aumento de vazão. O mesmo foi reportado por Kumar *et al.* (2020). Outro ponto a ser observado na Tabela 8 é o coeficiente de correlação. A condição que apresentou menor variabilidade de diâmetro durante o processo foi 215/60, que foi de 1,88%.

Tabela 8 - Análise de rugosidade, vazão, diâmetro médio, coeficiente de variação de diâmetro dos filamentos e velocidade do motor puxador

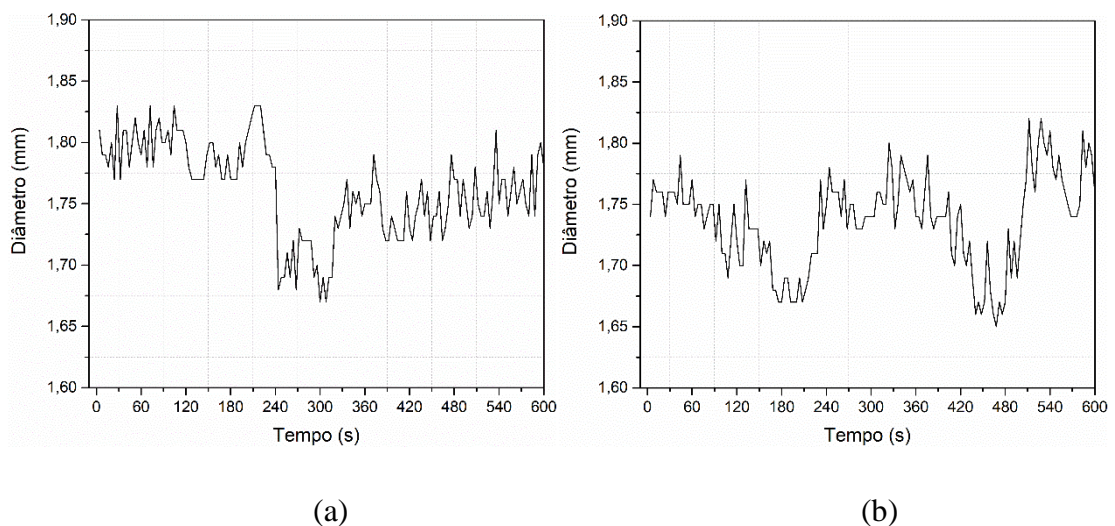
| Amostra    | Média das áreas da superfície/Áreas projetadas | Vazão (g/h) | Diâmetro médio (mm) | Coeficiente de variação do diâmetro (%) | Velocidade do motor puxador (rpm) |
|------------|--|-------------|---------------------|---|-----------------------------------|
| Fabricante | 1,07   |             |                     |   |                                   |
| 205/40     | 1,03   | 72,89       | 1,85                | 9,79                                    | 3                                 |
| 205/50     | 1,09   | 113,67      | 1,67                | 7,83                                    | 4                                 |
|            | 1,09   | 145,50      | 1,79                | 2,57                                    |                                   |

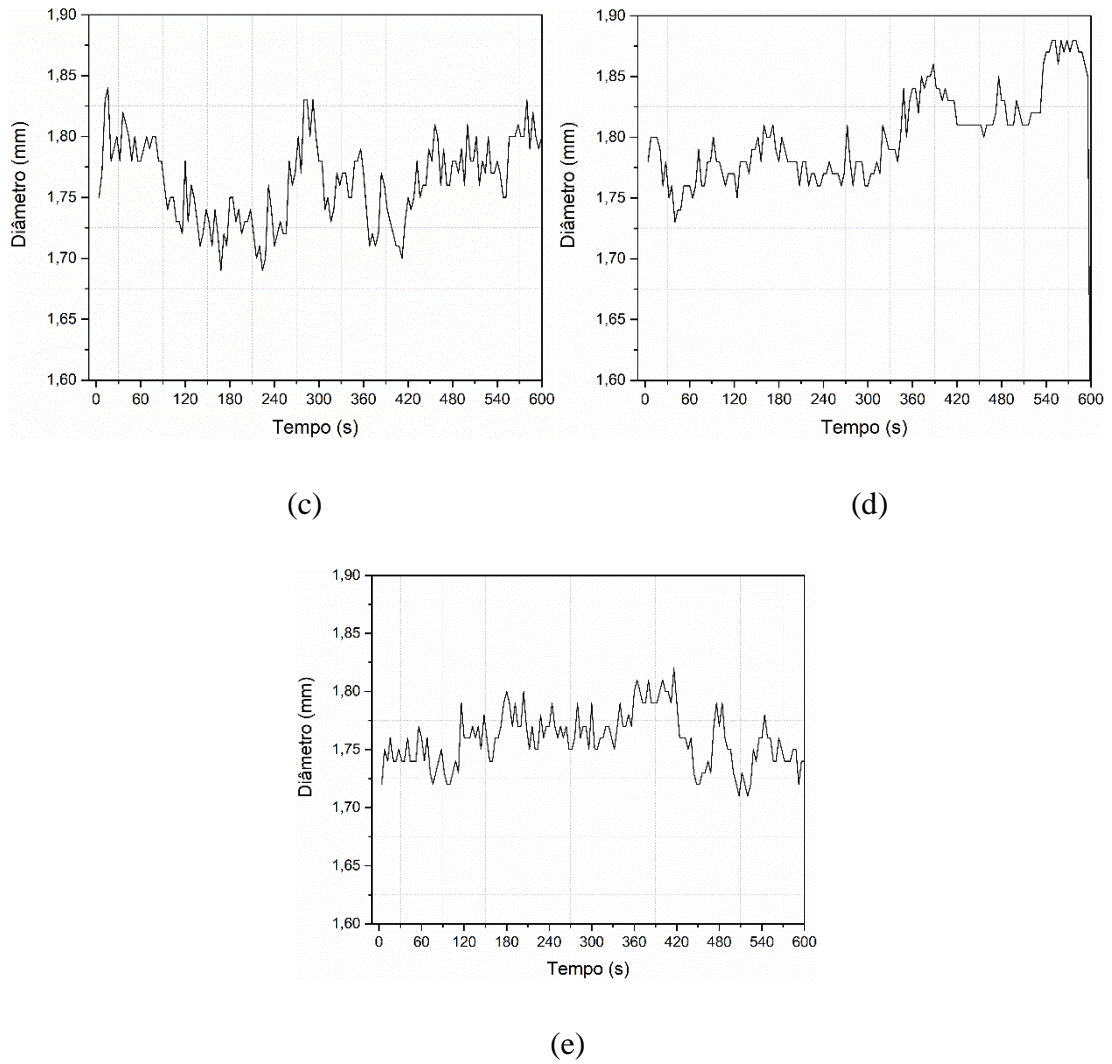
|        |      |        |      |      |    |
|--------|------|--------|------|------|----|
| 205/60 |      |        |      |      | 5  |
| 210/40 | 1,10 | 181,50 | 1,81 | 9,79 | 5  |
| 210/50 | 1,05 | 196,62 | 1,83 | 7,83 | 7  |
| 210/60 | 1,07 | 250,84 | 1,78 | 2,57 | 10 |
| 215/40 | 1,05 | 184,62 | 1,70 | 5,86 | 6  |
| 215/50 | 1,07 | 220,67 | 1,75 | 2,03 | 9  |
| 215/60 | 1,05 | 259,72 | 1,76 | 1,88 | 12 |
| 220/40 | 1,11 | 187,75 | 1,83 | 1,00 | 7  |
| 220/50 | 1,06 | 248,90 | 1,76 | 3,66 | 10 |
| 220/60 | 1,12 | 278,02 | 1,76 | 1,14 | 12 |
| 225/40 | 1,20 | 234,05 | 1,78 | 3,70 | 8  |
| 225/50 | 1,24 | 257,10 | 1,71 | 5,05 | 15 |
| 225/60 | 1,15 | 321,95 | 1,61 | 4,31 | 17 |

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 49 é possível observar o comportamento do diâmetro dos filamentos mais estáveis, durante o processo de fabricação.

Figura 49 - Comportamento do diâmetro X tempo, (a) 210/60, (b) 215/50, (c) 215/60, (d) 220/50 e (e) 220/60

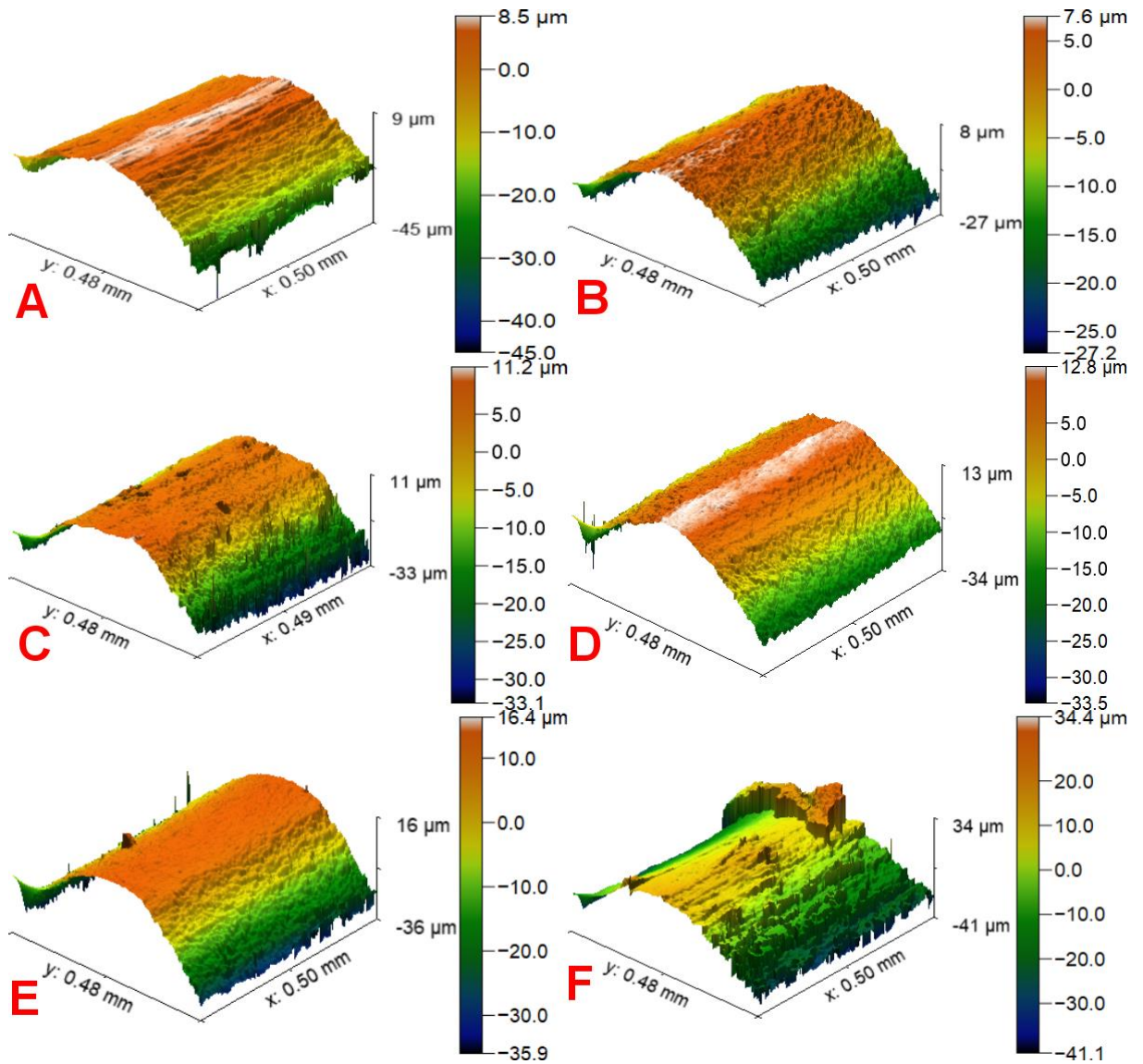




Fonte: Autoria própria.

Os filamentos produzidos mais estáveis e o comprado direto do fabricante, podem ser observados na Figura 50. Nele é possível notar o efeito da temperatura no filamento, como o ressalto identificado na Figura 50 (f). Nesta análise não foi possível observar efeito de pele de tubarão, como apresentado em Adesina *et al.* (2015) e Gansen *et al.* (2020).

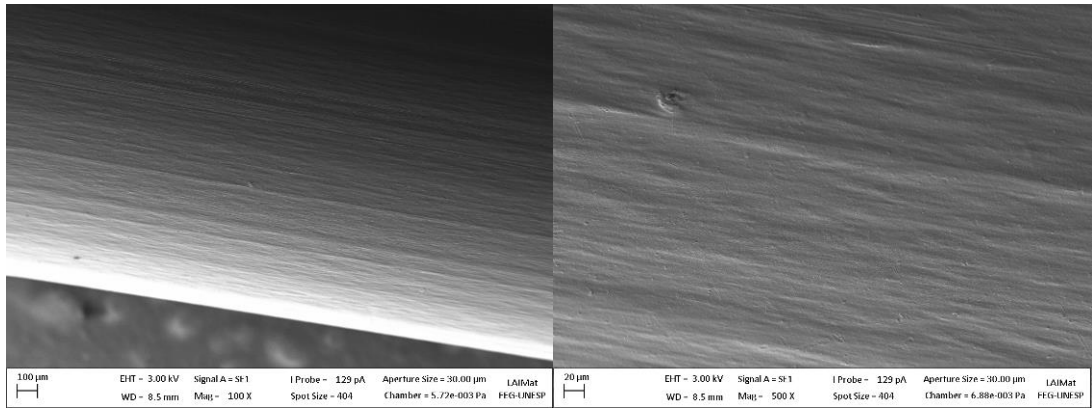
Figura 50 - Superfícies das amostras analisadas no Gwyddion, (a) filamento industrial, (b) 210/60, (c) 215/50, (d) 215/60, (e) 220/50 e (f) 220/60



Fonte: Autoria própria.

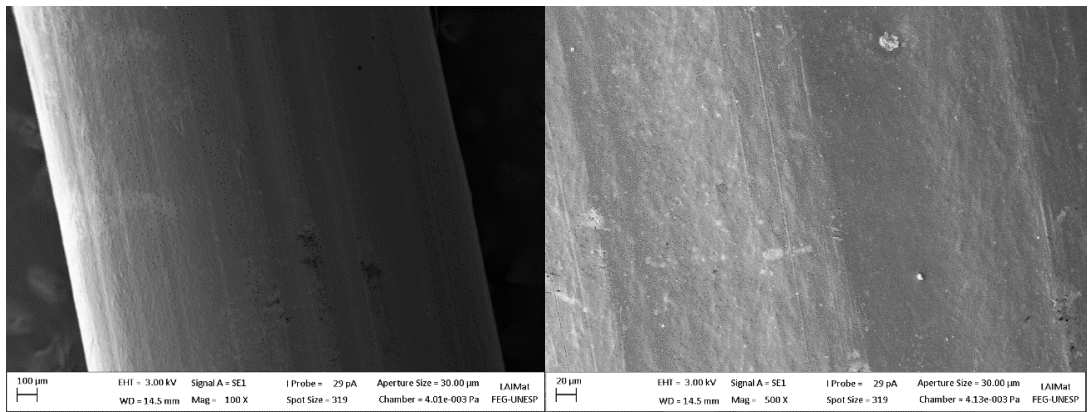
A microscopia eletrônica dos filamentos produzidos pode ser observada na Figura 51. Não foram observados efeitos de pele de tubarão, como apresentados por Ghanta *et al.* (1999) e Denn (2001).

Figura 51 - Imagens de MEV, no qual (a) é o material do fabricante com ampliação de 100X, (b) material do fabricante com ampliação de 500X, (c) 210/60 com 100X, (d) 210/60 com 500X, (e) 215/50 com 100X, (f) 215/50 com 500X, (g) 215/60 com 100X, (h) 215/60 com 500X, (i) 220/50 com 100X, (j) 220/50 com 500X, (l) 220/60 com 100X e (m) 220/60 com 500X



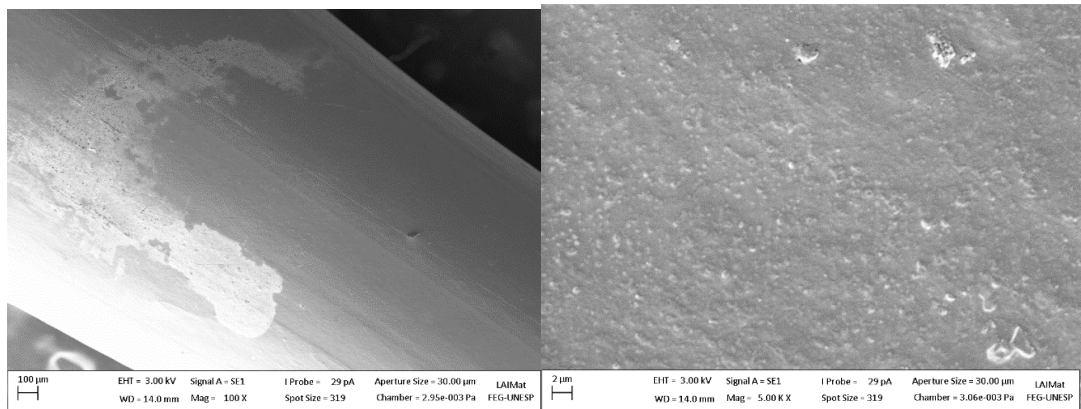
(a)

(b)



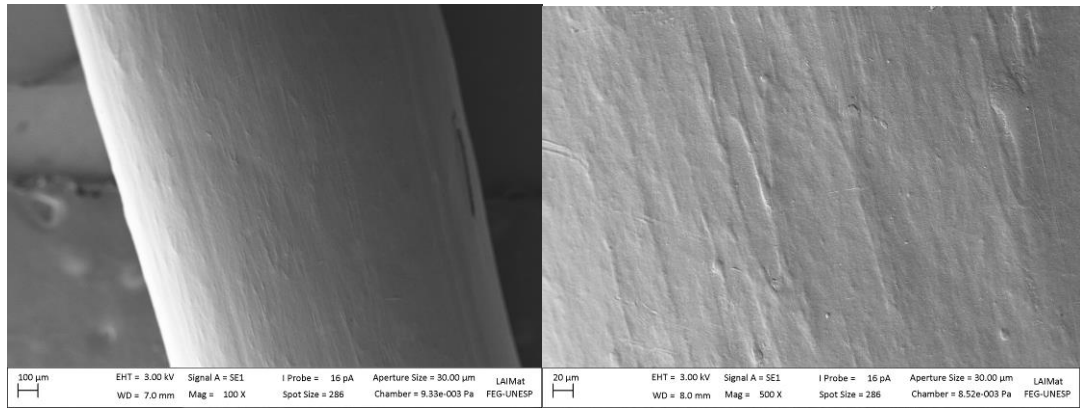
(c)

(d)



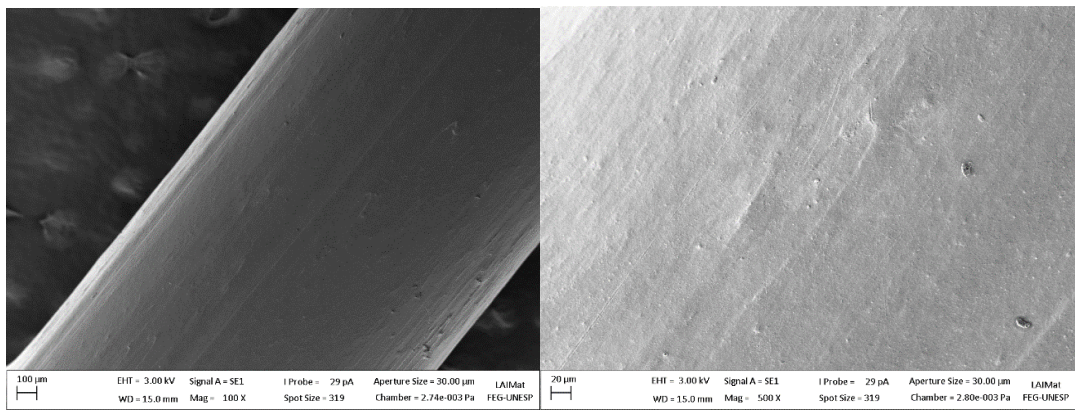
(e)

(f)



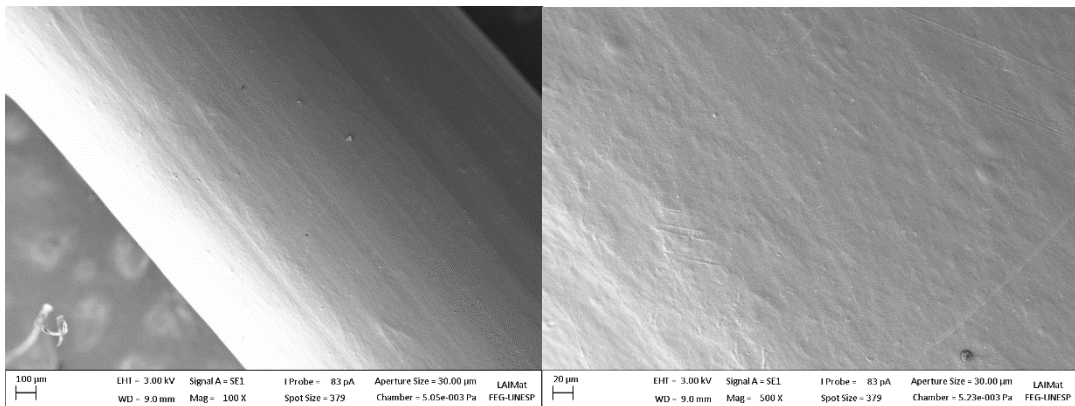
(g)

(h)



(i)

(j)



(l)

(m)

Fonte: Autoria própria.

Como foi observado nas Figura 50 e Figura 51, não foi possível notar o efeito de pele de tubarão nas amostras. Alguns fatores podem ter auxiliado para o não surgimento dela. O primeiro foi a escolha do *nozzle* de latão, elemento (K) da Tabela 2. Como reportado por Ghanta *et al.* (1999) este tipo de material reduz o efeito de cisalhamento entre a superfície da

matriz de extrusão e o polímero. Outro possível efeito é a velocidade de extrusão da máquina, não conseguindo gerar esse tipo de efeito no material.

Na Tabela 9 pode ser observado a ANOVA para avaliação dos efeitos dos parâmetros temperatura e PWM na variável resposta diâmetro do fio extrudado, ANOVA aplicada com nível de significância de 95% ( $\alpha=0,05$ ).

Tabela 9 - Análise de variância dos fatores temperatura, PWM e interação no diâmetro

| Fonte                      | Graus de liberdade | Adj SQ | Adj MS | Valor de F | Valor de P | Contribuição (%) |
|----------------------------|--------------------|--------|--------|------------|------------|------------------|
| Modelo                     | 14                 | 18,03  | 1,288  | 225        | 0          | 39,76            |
| Linear                     | 6                  | 8,623  | 1,437  | 251        | 0          | 19,01            |
| Temperatura [°C]           | 4                  | 6,692  | 1,673  | 293        | 0          | 14,75            |
| PWM [%]                    | 2                  | 2,269  | 1,134  | 199        | 0          | 5,00             |
| Interação de 2 fatores     | 8                  | 8,527  | 1,066  | 187        | 0          | 18,80            |
| Temperatura [°C] * PWM [%] | 8                  | 8,527  | 1,066  | 187        | 0          | 18,80            |
| Erro                       | 4783               | 27,33  | 0,006  |            |            | 60,24            |
| Total                      | 4797               | 45,36  | 7      |            |            |                  |

Fonte: Autoria própria.

Os fatores que mostraram influência significativa no diâmetro do fio foram a temperatura, o PWM e a interação de temperatura e PWM juntos, indicado pelo valor de p menor que 0,05. A contribuição é obtida pela divisão entre a soma dos quadrados ajustados pelo total, e foi calculada pela Equação (1).

$$\text{Contribuição} = 100 \cdot \text{Adj SQ fator} / \text{Adj SQ total} \quad (1)$$

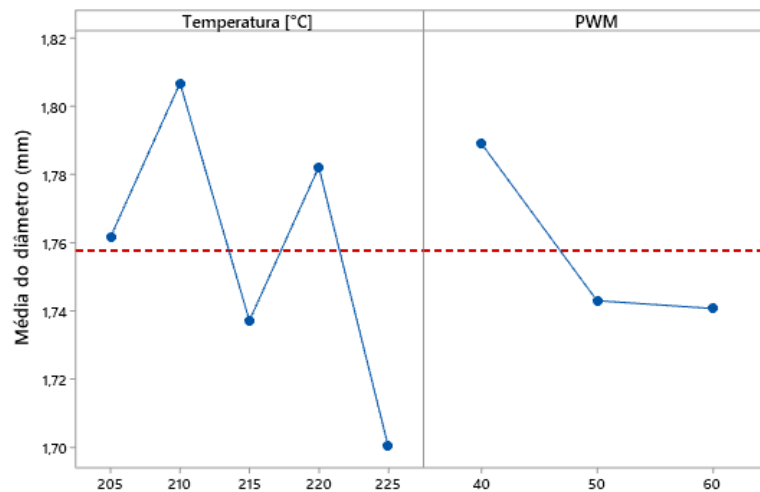
Onde, soma dos quadrados ajustados (Adj SQ) e quadrados médios ajustados (Adj MS)

Observa-se que a contribuição da temperatura é maior no processo do que a rotação do motor (PWM). Entretanto, a influência da interação dos dois fatores é a que tem mais influência no processo. Outro ponto a ser observado na análise estatística é a influência do erro (60,24%). Dentro da influência do erro podem ser englobados fatores que não foram controlados na análise experimental, tais como o tamanho do particulado não uniforme, que tem influência conforme Woern; Byard; *et al.* (2018), a variação de pressão utilizando

controle de malha fechada, como analisado por Abeykoon *et al.* (2020), e o efeito do puxador no processo. Este último tensiona o polímero extrudado e ajuda ao usuário a atingir o diâmetro correto, que neste projeto é de 1,75 mm.

No gráfico da Figura 52, é possível observar o efeito da temperatura e do PWM no diâmetro médio do filamento. Nessa, a linha tracejada em vermelho é média das médias dos diâmetros obtidos (1,758mm). Neste gráfico é possível observar que o aumento do PWM, logo o de vazão, reduz a média do diâmetro. Isto ocorre pois foi necessário imputar maiores velocidades do motor puxador.

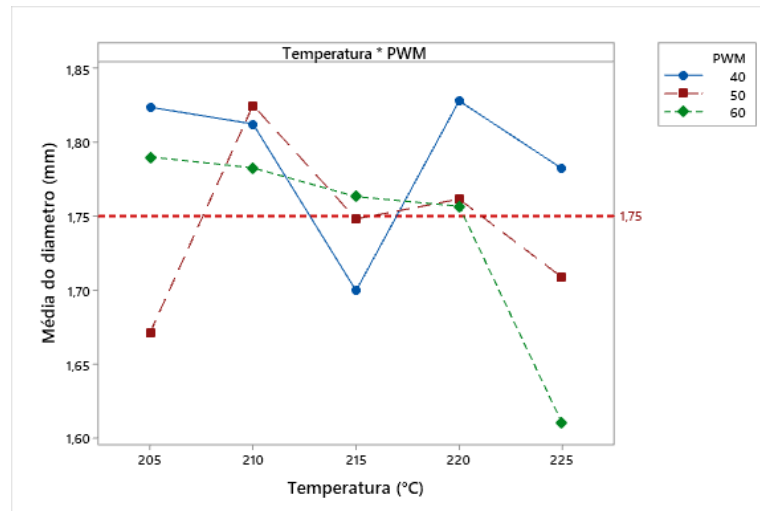
Figura 52 - Gráfico do efeito da temperatura e do PWM no diâmetro médio



Fonte: Autoria própria.

A Figura 53 é o gráfico dos efeitos das interações, temperatura e PWM no diâmetro médio.

Figura 53 - Gráfico da interação pelo diâmetro



Fonte: Autoria própria.

Nele é possível observar, na interação, que o parâmetro que mais se aproxima do diâmetro requerido foi o de 215°C e 50 de PWM.

Outra análise interessante é a da diferença honestamente significativa de Tukey. Ela pode ser observada na Tabela 10. Nela é possível observar que a temperatura teve variação significativa em todos os parâmetros analisados. Isto ocorre porque com maiores temperaturas de processo o ABS fica mais fluído, aumentando sua vazão e, portanto, precisando de maiores velocidades do motor puxador para conseguir valores próximos a 1,75 mm, como já apresentado na Tabela 8.

Tabela 10 - Análise de Tukey do fator temperatura na média do diâmetro

| Temperatura [°C] | N    | Média (mm) | Grupo |
|------------------|------|------------|-------|
| 210              | 951  | 1,805      | A     |
| 220              | 1058 | 1,782      | B     |
| 205              | 864  | 1,751      | C     |
| 215              | 878  | 1,731      | D     |
| 225              | 1047 | 1,700      | E     |

Fonte: Autoria própria.

A análise de Tukey para o efeito do PWM na média do diâmetro foi significativa entre as amostras de 40 e as de 50 e 60 de PWM, como pode ser observado na Tabela 11. Isto pode ser o efeito do puxador em maiores vazões. Como foi utilizado um motor de passo e, como só é possível programar valores inteiros para as rotações, portanto, em velocidades maiores é mais fácil obter valores próximos a 1,75 mm, já que são menores os ajustes necessários na velocidade do motor puxador. Consequentemente, as variações entre parâmetros de processo

com vazões mais altas têm menores discrepâncias entre elas, portanto, não gerou diferença significativa entre PWM maiores.

Tabela 11 - Análise de Tukey do fator PWM na média do diâmetro

| PWM | N    | Média (mm) | Grupo |
|-----|------|------------|-------|
| 40  | 1550 | 1,7851     | A     |
| 50  | 1717 | 1,74209    | B     |
| 60  | 1531 | 1,73635    | B     |

Fonte: Autoria própria.

Houve diferença significativa nos diâmetros obtidos com a mudança do nível do fator temperatura, ou seja, a utilização de diferentes temperaturas de processamento resultou em diferentes valores de diâmetro.

Para o caso do fator PWM, há apenas diferença significativa quando se utiliza o valor de 40. Entre os níveis 50 e 60 não há diferença significativa.

Na Tabela 12 é possível observar a contribuição no processo. Sendo que o fator temperatura é o que teve maior relevância. O erro teve grande contribuição no processo (82%). Portanto, há necessidade de analisar outros parâmetros para averiguar outros fatores que têm relevância no processo, reduzindo o efeito do erro.

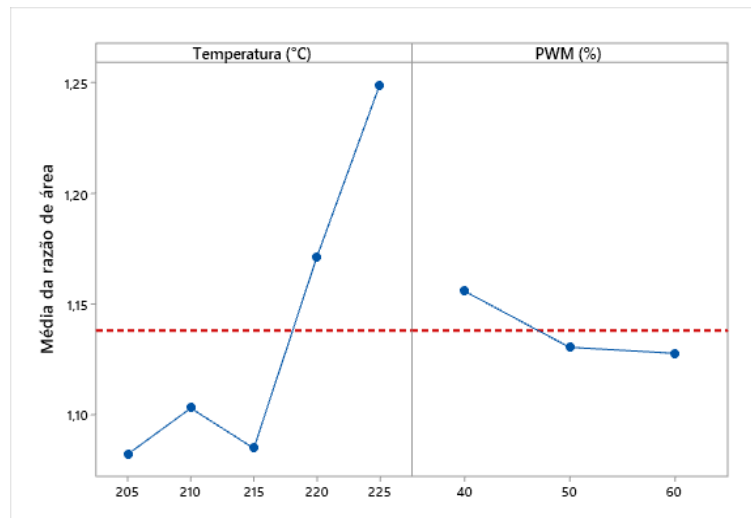
Tabela 12 - Análise de variância dos fatores temperatura, PWM e interação na rugosidade

| Fonte            | Graus de liberdade | Adj SQ | Adj MS | Valor de F | Valor de P | Contribuição (%) |
|------------------|--------------------|--------|--------|------------|------------|------------------|
|                  |                    | 0,8192 | 0,0585 |            |            |                  |
| Modelo           | 14                 | 3      | 2      | 2,01       | 0,021      | 17,93            |
|                  |                    | 0,6130 | 0,1021 |            |            |                  |
| Linear           | 6                  | 3      | 7      | 3,52       | 0,003      | 13,42            |
|                  |                    | 0,5941 | 0,1485 |            |            |                  |
| Temperatura (°C) | 4                  | 6      | 4      | 5,11       | 0,001      | 13,01            |
|                  |                    | 0,0235 | 0,0117 |            |            |                  |
| PWM (%)          | 2                  | 7      | 9      | 0,41       | 0,667      | 0,52             |
|                  |                    | 0,1814 | 0,0226 |            |            |                  |
| 2-Interação      | 8                  | 8      | 9      | 0,78       | 0,621      | 3,97             |
| Temperatura(°C)  |                    | 0,1814 | 0,0226 |            |            |                  |
| x PWM            | 8                  | 8      | 9      | 0,78       | 0,621      | 3,97             |
|                  |                    |        | 0,0290 |            |            |                  |
| Erro             | 129                | 3,7494 | 7      |            |            | 82,07            |
|                  |                    | 4,5686 |        |            |            |                  |
| Total            | 143                | 3      |        |            |            |                  |

Fonte: Autoria própria.

O efeito dos fatores temperatura e PWM podem ser observados na Figura 54. Nele é possível ressaltar como a temperatura afetou a rugosidade das amostras, sendo que as mais elevadas tiveram os piores valores de rugosidade, similar ao reportado por Kumar *et al.* (2020). Outra informação importante é que não pode ser observada a influência do PWM. Nele os maiores tiveram menores valores médios de razão.

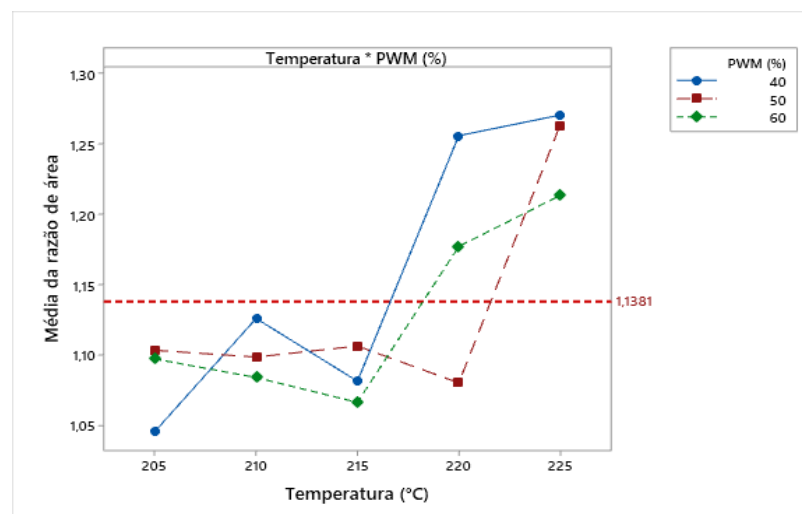
Figura 54 - Efeito da temperatura e PWM na razão de área



Fonte: Autoria própria.

No gráfico da Figura 55, é possível observar como a interação da temperatura e do PWM afetaram a média da razão de área, elevando-a.

Figura 55 - Gráfico da interação de temperatura e PWM na razão de área



Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 13 é possível ver que a temperatura tem diferença significativa na razão de área. Sendo que 225°C não teve diferença significativa com 220°C, mas tem em relação de 205 a 215°C. A temperatura de 220°C não teve diferença significativa com as demais.

Tabela 13 - Análise de Tukey do fator temperatura na razão de área

| Temperatura (°C) | N  | Média  | Grupo |
|------------------|----|--------|-------|
| 225              | 30 | 1,2491 | A     |
| 220              | 30 | 1,1712 | A B   |
| 210              | 30 | 1,103  | B     |
| 205              | 30 | 1,0822 | B     |
| 215              | 24 | 1,0811 | B     |

Fonte: Autoria própria.

## 5 CONCLUSÕES

A máquina atingiu o que foi proposto. Ficou robusta, com custo de um terço de uma máquina nacional, mas com instrumentação e monitoramento muito superiores.

Foi analisado o comportamento de ABS no primeiro ciclo de reciclagem e os dados foram coerentes com os apresentados na literatura. A temperatura é o parâmetro mais influente para este tipo de rosca, para este tipo de material no primeiro ciclo de reciclagem.

A vazão imposta para este tipo de material não gerou efeitos superficiais.

A temperatura de 215°C, para o primeiro ciclo de reciclagem, levou ao resultado ótimo de rugosidade e diâmetro e, no caso desta temperatura, o aumento de vazão reduziu a variabilidade do processo (coeficiente de variação).

## 6 SUGESTÕES FUTURAS

Desenvolver uma trituradora para ter maior disponibilidade de matéria prima para a extrusora. Nesta, é preciso adicionar um sistema de separação de particulados por tamanho, para padronizar e reduzir efeitos de instabilidades processuais.

Modificar o sistema motriz da extrusão, ampliando a rotação da rosca em relação ao eixo do motor, já que atualmente este é de 1:1. Desta forma será possível analisar efeitos superficiais utilizando vazões maiores.

Acrescentar análise de diferença de potencial no circuito integrado da máquina, tanto para as resistências, como para a ponte H do motor extrusor. Desta maneira será possível analisar a potência consumida dos sistemas, já que eles usam PWM.

Substituir os motores de passo do sistema puxador e bobinador por motores DC. Desta forma será mais fácil obter frações de rpm, algo que atrapalhou durante o ajuste do diâmetro necessário, que era de 1,75mm. Outro ponto é que será mais fácil gerar modelos de controle utilizando motores de corrente contínua, do que os de passo.

Desenvolver um sistema de análise de variação de pressão no interior do tambor, que é uma ferramenta encontrada em artigos mais recentes, para análise, controle e, portanto, antecipação de variações de processo.

Produzir e ensaiar corpos de prova conforme norma ASTM D638-14, cujos modelos já estão presentes na plataforma *thingiverse*, submetidos por Pearce (2018).

Testar e analisar o equipamento utilizando diferentes materiais e ciclos de reciclagem, observando e analisando as influências do processo na produção dos filamentos.

## REFERÊNCIA

- 3DLAB. **Conheça as propriedades técnicas dos materiais para impressora 3D**. Disponível em: <https://3dlab.com.br/propriedades-dos-materiais-para-impressora-3d/>. Acesso em: 17 set. 2020.
- ABEYKOON, C. Single screw extrusion control: a comprehensive review and directions for improvements. **Control Engineering Practice**, Manchester, v. 51, p. 69–80, 2016.
- ABEYKOON, C. *et al.* Extruder melt temperature control with fuzzy logic. **IFAC**, Milano, 2011.
- ABEYKOON, C. *et al.* A review and evaluation of melt temperature sensors for polymer extrusion. **Sensors and Actuators, A: Physical**, Bradford, v. 182, p. 16–27, 2012.
- ABEYKOON, C.; PÉREZ, P.; KELLY, A. L. The effect of materials' rheology on process energy consumption and melt thermal quality in polymer extrusion. **Polymer Engineering and Science**, Manchester, v. 60, n. 6, p. 1244–1265, 2020.
- ADESINA, A. A.; NASSER, M. S.; HUSSEIN, I. A. Comparative analysis of the effect of organoclay, boron nitride, and fluoropolymer on the rheology and instabilities in the extrusion of high-density polyethylene. **International Journal of Polymer Science**, Dhahran, v. 2015, 2015.
- AGASSANT, J. F. *et al.* Polymer processing extrusion instabilities and methods for their elimination or minimisation. **International Polymer Processing**, Paris, v. 21, n. 3, p. 239–255, 2006.
- ALICIA. **Open hardware trailblazers fellowship**. Disponível em: <https://www.oshwa.org/2022/03/05/were-launching-a-new-open-hardware-trailblazers-fellowship/>. Acesso em: 16 mar. 2022.
- ANDEREGG, D. A. *et al.* In-situ monitoring of polymer flow temperature and pressure in extrusion based additive manufacturing. **Additive Manufacturing**, Blacksburg, v. 26, p. 76–83, 2019.
- BAECHLER, C.; DEVUONO, M.; PEARCE, J. M. Distributed recycling of waste polymer into RepRap feedstock. **Rapid Prototyping Journal**, Ontario, v. 19, n. 2, p. 118–125, 2013.
- BENDICKSON, J. S.; MADDEN, L.; MATHERNE, C. F. Graduate students mentoring undergraduate students' business innovation pitches. **International Journal of Management Education**, Los Angeles, v. 18, n. 2, p. 100390, 2020.
- BROWN, E. C.; KELLY, A. L.; COATES, P. D. Melt temperature field measurement in single screw extrusion using thermocouple meshes. **Review of Scientific Instruments**, Bradford, v. 75, n. 11, p. 4742–4748, 2004.

BYARD, D. J. *et al.* Green fab lab applications of large-area waste polymer-based additive manufacturing. **Additive Manufacturing**, Houghton, v. 27, p. 515–525, 2019.

CAMPBELL, G. A. *et al.* **Analyzing and troubleshooting single-screw extruders**. München: Hanser, 2013.

COLORADO, H. A.; VELÁSQUEZ, E. I. G.; MONTEIRO, S. N. Sustainability of additive manufacturing: the circular economy of materials and environmental perspectives. **Journal of Materials Research and Technology**, Medellin, v. 9, n. 4, p. 8221–8234, 2020.

CORREIA JUNIOR, I. **Projeto do hardware para automação: máquina para extrusão de plástico**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2019.

CRUZ, F. *et al.* Polymer recycling and additive manufacturing in an open-source context: Optimization of processes and methods. *In: ANNUAL INTERNATIONAL SOLID FREEFORM FABRICATION SYMPOSIUM: an additive manufacturing conference*, 26., 2015, Nancy. **Proceedings [...]**. Nancy, p.1591–1600, 2020.

CRUZ SANCHEZ, F. A. *et al.* Plastic recycling in additive manufacturing: A systematic literature review and opportunities for the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, Nancy, v. 264, p. 121602, 2020.

DEGHANI, S.; HOSSEINI, M. S.; BEHZADFAR, E. Slip behavior of high-density polyethylene at small shear stresses in the presence of esterified polyethylene glycol Slip behavior of high-density polyethylene at small shear stresses in the presence of esterified polyethylene glycol. **Physics of Fluids**, Sahand New Town, v. 063101, 2021.

DENG, J. *et al.* Energy monitoring and quality control of a single screw extruder. **Applied Energy**, Belfast, v. 113, p. 1775–1785, 2014a.

DENG, J. *et al.* Energy monitoring and quality control of a single screw extruder. **Applied Energy**, Belfast, v. 113, p. 1775–1785, 2014b.

DENN, M. M. Extrusion instabilities and wall slip. **Annual Review of Fluid Mechanics**, New York, v. 33, p. 265–287, 2001.

DENNIS-GERMUSKA, D.; TAYLOR, P. A.; WRIGHT, J. D. Adaptive and multivariable control of a single screw extrusion system. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, Hamilton, v. 62, n. 6, p. 790–801, 1984.

DISET. **Investimentos federais em pesquisa e desenvolvimento: estimativas para o período**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/todas-as-publicacoes/publicacoes/171-investimentos-federais-em-pesquisa-e-desenvolvimento-estimativas-para-o-periodo-2000-2020>. Acesso em: 07 jun. 2020.

FABLABFOUNDATION. **Distributed design Market platform**. Disponível em: <https://www.FabLabs.io>. Acesso em: 23 jun. 2020.

FILMAQ3D. **Máquinas**. Disponível em:

<https://www.filmaq3d.com.br/index.php?route=product/category&path=17>. Acesso em: 24 out. 2021.

FLIPPER. **Filament width sensor prototype version 3**. Disponível em:

<https://www.thingiverse.com/thing:454584>. Acesso em: 14 jan. 2019.

GANSEN, A.; ŘEHOŘ, M.; SILL, C.; *et al.* Investigation of the Sharkskin melt instability using optical Fourier analysis. **Journal of Applied Polymer Science**, Luxembourg, v. 137, n. 24, p. 1–14, 2020.

GHANTA, V. G.; RIISE, B. L.; DENN, M. M. Disappearance of extrusion instabilities in brass capillary dies. **Journal of Rheology**, Berkeley, v. 43, n. 2, p. 435–442, 1999.

GRIES, R. **1- Russ's home brewed filament extruder for 3d printer. first look** : built from recycled material. Youtube, 2013a. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=jFxFUgaUOX6M>. Acesso em: 01 nov. 2018a.

GRIES, R. **#3 ~Russ's home brewed filament extruder: the break down V1**. Youtube, 2013b. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=M7e5xrDGShI&list=PLsiIKXpZfLKIEMifKWP5CMRSv2mvcSrJL&index=3>. Acesso em: 31 jan. 2019b.

GRIES, R. **#5 ~Russ's filament extruder: air cool jig test. "this is just a test" time laps**. Youtube, 2013c. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=0nEkwTsr11A&index=5&list=PLsiIKXpZfLKIEMifKWP5CMRSv2mvcSrJL>. Acesso em: 14 jan. 2019.

GRIES, R. **#8 ~Russ's filament extruder: testing the water cooler. works via surface tension (hand pulling)**. Youtube, 2013d.

<https://www.youtube.com/watch?v=8mqCHQSSxNs&list=PLsiIKXpZfLKIEMifKWP5CMRSv2mvcSrJL&index=8>. Acesso em: 14 jan. 2019.

GRIES, R. **#10 ~russ's filament extruder: testing "the puller" & some conclusions thus far**. Youtube, 2013e. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=SIZE6mT6VT90&index=10&list=PLsiIKXpZfLKIEMifKWP5CMRSv2mvcSrJL>. Acesso em: 14 jan. 2018.

GRIES, R. **#15 ~Russ's filament extruder: digital caliper filament measuring device finished**. Youtube, 2014. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=R2jDiR9Zltw>. Acesso em: 14 jan. 2018.

HARTEK. **Lab 3D printer filament extruder**. Disponível em: [http://www.extrusion-lab.com/Lab\\_3D\\_printer\\_filament\\_extrud/show/142.html](http://www.extrusion-lab.com/Lab_3D_printer_filament_extrud/show/142.html). Acesso em: 15 set. 2020.

INFORÇATTI NETO, P. *et al.* Thermoplastic filament extruder head for desktop Additive Manufacturing machines. **Innovative Developments in Virtual and Physical Prototyping**, London. p. 635–638, 2012.

JESUS, M. C.; HEIN, L. R. O. Closed-loop spooling control system for 3D printing filament produced by open source extruder. **Fapesp**, 2020. Disponível em:

<https://bv.fapesp.br/en/bolsas/187852/closed-loop-spooling-control-system-for-3d-printing-filament-produced-by-open-source-extruder/>. Acesso em: 25 maio 2022.

KHOO, H. H. LCA of plastic waste recovery into recycled materials, energy and fuels in Singapore. **Resources, Conservation and Recycling**, Singapore, v. 145, p. 67–77, 2019.

KING, D. L. *et al.* Mobile Open-Source Solar-Powered 3-D Printers for Distributed Manufacturing in Off-Grid Communities. **Challenges in Sustainability**, Houghton, v. 2, n. 1, 2014.

KUMAR, V.; SINGH, R.; AHUJA, I. P. S. Effect of extrusion parameters on primary recycled ABS: Mechanical, rheological, morphological and thermal properties. **Materials Research Express**, Ludhiana, v. 7, n. 1, 2020.

LABCTI. **Projeto e construção de uma mini extrusora para fabricação de filamento para impressão 3D**. Laboratório de ciência e tecnologia e inovação da UFSC, 2016. Disponível em: <http://www.labcti.ufsc.br/projeto-e-construcao-de-uma-mini-extrusora-para-fabricacao-de-filamento-para-impressao-3d-2/>. Acesso em: 09 nov. 2018.

LIPÁR, S.; NOGA, P.; HULKÓ, G. Modelling and Control of Extruder Barrel Temperature Field. **IFAC Proceedings Volumes**, Bratislava, v. 46, n. 26, p. 191–196, 2013.

LIU, Z. *et al.* Sustainability of 3D printing: A critical review and recommendations. **ASME 2016 11th International Manufacturing Science and Engineering Conference, MSE 2016**, Blacksburg, v. 2, n. Junho de 2016.

LYMAN, H. M. **Lyman filament extruder II**, Thingiverse, 2012a. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:34653> /. Acesso em: 17 out. 2018.

LYMAN, H. M. **Lyman filament extruder video 4**. Youtube, 2012b. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=JebhbXgJBgA&pbjreload=10> Lyman. Acesso em: 17 out. 2018.

LYMAN, H. M. **LYMAN filament extruder v4.1**: construction manual. Idocpub, 2014a. Disponível em: <https://idoc.pub/documents/lyman-filament-extruder-v41-manual-34wmr13zjl7>. Acesso em: 01 nov. 2018. 2018b.

LYMAN, H. M. **Lyman mulier filament extruder V5**: video 1. Youtube, 2014b. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=vL9zDODrQBo%0ALYMAN>. Acesso em: 01 nov. 2018.

LYMAN., H. M. **Filament sensor setup on lyman filament extruder V4.1**. Youtube, 2014c. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=S6Z-1sT7fGc>. Acesso em: 14 jan. 2019.

LYMAN, H. M. **Lyman / mulier filament extruder V5**. Thingiverse, 2014d. Disponível em: <http://www.thingiverse.com/thing:380987>. Acesso em: 14 jan. 2019.

LYMAN, H. M. **Extruder V6 with spool winder** - video 2. Youtube, 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=H6h1yDzoPMU>. Acesso em: 01 nov. 2018.

LYMAN, H. M. **Lyman filament extruder V6**. Thingiverse, 2015. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:1199870>. Acesso em: 17 out. 2018.

MACHINERY, Z. F. **1,75mm ABS PP PE PLA PC Mini 3d printer plastic filament extruder for laboratory**. Alibaba, 2020a. Disponível em: [https://www.alibaba.com/product-detail/1-75mm-ABS-PP-PE-PLA\\_62333477122.html?spm=a2700.details.deiletai6.9.41b5545c39NWO4](https://www.alibaba.com/product-detail/1-75mm-ABS-PP-PE-PLA_62333477122.html?spm=a2700.details.deiletai6.9.41b5545c39NWO4). Acesso em: 15 set. 2020.

MACHINERY, Z. F. **1,75mm 3D printer filament extruding machine**. Alibaba, 2020. Disponível em: <https://friendmachine.en.alibaba.com/?spm=a2700.details.cordpanyb.4.38115e193bd7YL>. Acesso em: 15 set 2020b.

MAKING-STUFF. **filament extruder #4** - finally making some filament. Youtube, 2016a. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=7qVD\\_rvyHnY&index=3&list=PLTWf8k\\_vFMqU6VXPeTm-tiwPwrJIT2LG1](https://www.youtube.com/watch?v=7qVD_rvyHnY&index=3&list=PLTWf8k_vFMqU6VXPeTm-tiwPwrJIT2LG1). Acesso em: 01 nov. 2018.

MAKING-STUFF. **DIY digital caliper data plug**. Youtube, 2016b. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=34IsYgL4cMw&list=PLsiIKXpZfLKIEMifKWP5CMRSv2mvcSrJL&index=20>. Acesso em: 14 jan. 2019.

MAKING-STUFF. **DIY digital caliper data plug part 2: Arduino code and special announcement**. Youtube, 2016c. Disponível <https://www.youtube.com/watch?v=5Us-V6410j8&index=21&list=PLsiIKXpZfLKIEMifKWP5CMRSv2mvcSrJL>. Acesso em: 14 jan. 2019.

MAKING. **Filament extruder #14: circuit board and software for caliper measure device**. Youtube, 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=fXrqWH7ozXE&list=PLsiIKXpZfLKIEMifKWP5CMRSv2mvcSrJL&index=22>. Acesso em: 14 jan. 2019.

MANRICH, S. **Processamento de termoplásticos**. São Paulo: Artliber, 2013.

MARIS, J. *et al.* Mechanical recycling: Compatibilization of mixed thermoplastic wastes. **Polymer Degradation and Stability**, Le Mans Cedex, v. 147, p. 245–266, 2018.

MCCRACKEN, H. **How an 83-year-old inventor beat the high cost of 3D printing**. Techland, 2013. Disponível em: <http://techland.time.com/2013/03/04/how-an-83-year-old-inventor-beat-the-high-cost-of-3d-printing/>. Acesso em: 17 fev. 2018.

MOSHKIN, D. **Filament width sensor with Arduino uno and Thickness-Gauge**. Thingiverse, 2018. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:2854521>. Acesso em: 17 jul. 2018.

MUSIL, J.; ZATLOUKAL, M. historical review of secondary entry flows in polymer melt extrusion. **Polymer Reviews**, Zlín, v. 59, n. 2, p. 338–390, 2019.

OLIVEIRA-FILHO, M.; JESUS, M. C.; HEIN, R. DE O. **microscopy analysis base to leica confocal**: to filament and wire samples Thingiverse, 2022. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:5338346>. Acesso em: 02 abr. 2022

OLIVEIRA-FILHO, M.; JESUS, M. C.; NAKAZATO, A. Z.; HEIN, R. DE O.; NASCIMENTO, M. V. R. **Integrated and modulated system for polymer extrusion**. Oshwa, 2022. Disponível em: <https://certification.oshwa.org/br000009>. Acesso em: 11 mar. 2022.

ONU. **17 Objetivos para transformar nosso mundo**. Nações Unidas, 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acesso em: 16 out. 2018.

OSSWALD, T.; RUDOLPH, N. **Polymer Rheology: fundamentals and applications**. Munich: Hanser Publishers, 2014.

PEARCE, J. M. **ASTM D638-14 Type IV tensile bars - horizontal and vertical**. Thingiverse, 2018. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:2879550>. Acesso em: 24 nov. 2021.

PETSIUK, A.; PEARCE, J. M. Open source filament diameter sensor for recycling, winding, and additive manufacturing machines. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, Houghton, v. 143, n. 10, 2021.

PRECIOUS\_PLASTIC. **Set up a shredder workspace**. Preciousplastic, 2019. Disponível em: <https://community.preciousplastic.com/how-to/set-up-a-shredder-workspace>. Acesso em: 10 jul. 2020.

PRINTER, H. **High quality extruder machine plastic filament extruder for 3D printer**. Alibaba, 2020. Disponível em: [https://www.alibaba.com/product-detail/High-quality-extruder-machine-plastic-filament\\_60689243672.html?spm=a2700.themePage.offer-list.19.1ae25d287ffEMr](https://www.alibaba.com/product-detail/High-quality-extruder-machine-plastic-filament_60689243672.html?spm=a2700.themePage.offer-list.19.1ae25d287ffEMr). Acesso em: 15 set. 2020.

RAUWENDAAL, C. **Polymer extrusion**. 5th ed. Munich: Hanser, 2014.

ROSATO, D. V.; ROSATO, D. V.; ROSATO, M. V. **Plastic product material and process selection handbook**. Oxford: Elsevier Science & Technology Books, 2004.

RUSS. **Open-source research**: filament extruder. Disponível em: <https://rwgresearch.com/open-projects/3d-printing-research/filament-extruder/>. Acesso em: 24 set. 2020.

SILVA, L. I. L. *et al.* **Lei nº 12.305, de agosto de 2010**: política nacional de resíduos sólidos. Casa civil, 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 30 ago. 2022.

SIMPLIFY3D. **Ultimate 3D printing materials guide**. Simplify, 2020. Disponível em: <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/>. Acesso em: 23 jul. 2020.

SUB33D. **Sub33D Filament Extruder v1-00 - Build sequence - Nozzle heater assembly**. Youtube, 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=yi4yjBnVJm8>. Acesso em: 01 nov. 2018.

SUH, J.; YILMAZ, M. Economics of open source technology: a dynamic approach. **Dynamic Games and Applications**, Seoul, v. 9, p. 254–280, 2019.

TECHNOLOGY, K. M. E. **Factory supply attractive price lab scale mini 3D filament plastic extruder**. Alibaba, 2020. Disponível em: [https://www.alibaba.com/product-detail/Factory-Supply-Attractive-Price-Lab-Scale\\_62134375477.html?bypass=true&spm=a2700.galleryofferlist.0.0.5f37132beurhZC&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Factory-Supply-Attractive-Price-Lab-Scale_62134375477.html?bypass=true&spm=a2700.galleryofferlist.0.0.5f37132beurhZC&s=p). Acesso em: 15 set. 2020.

VASCONCELOS, Y. O dilema dos plásticos: o material com múltiplos usos tornou-se um grande vilão do meio ambiente. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, v. 281, p. 25 - 31, 2019.

VERA-SORROCHE, J. *et al.* Thermal optimisation of polymer extrusion using in-process monitoring techniques. **Applied Thermal Engineering**, Bradford, v. 53, n. 2, p. 405–413, 2013.

WHITE, J. L.; POTENTE, H.; BERGHAUS, U. **Screw extrusion: science and technology**, Munich: Hanser, 2003.

WINGMASTER. **Filament guide for filament extruder puller**. Thingiverse, 2015. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:681880>. Acesso em: 20 set. 2020.

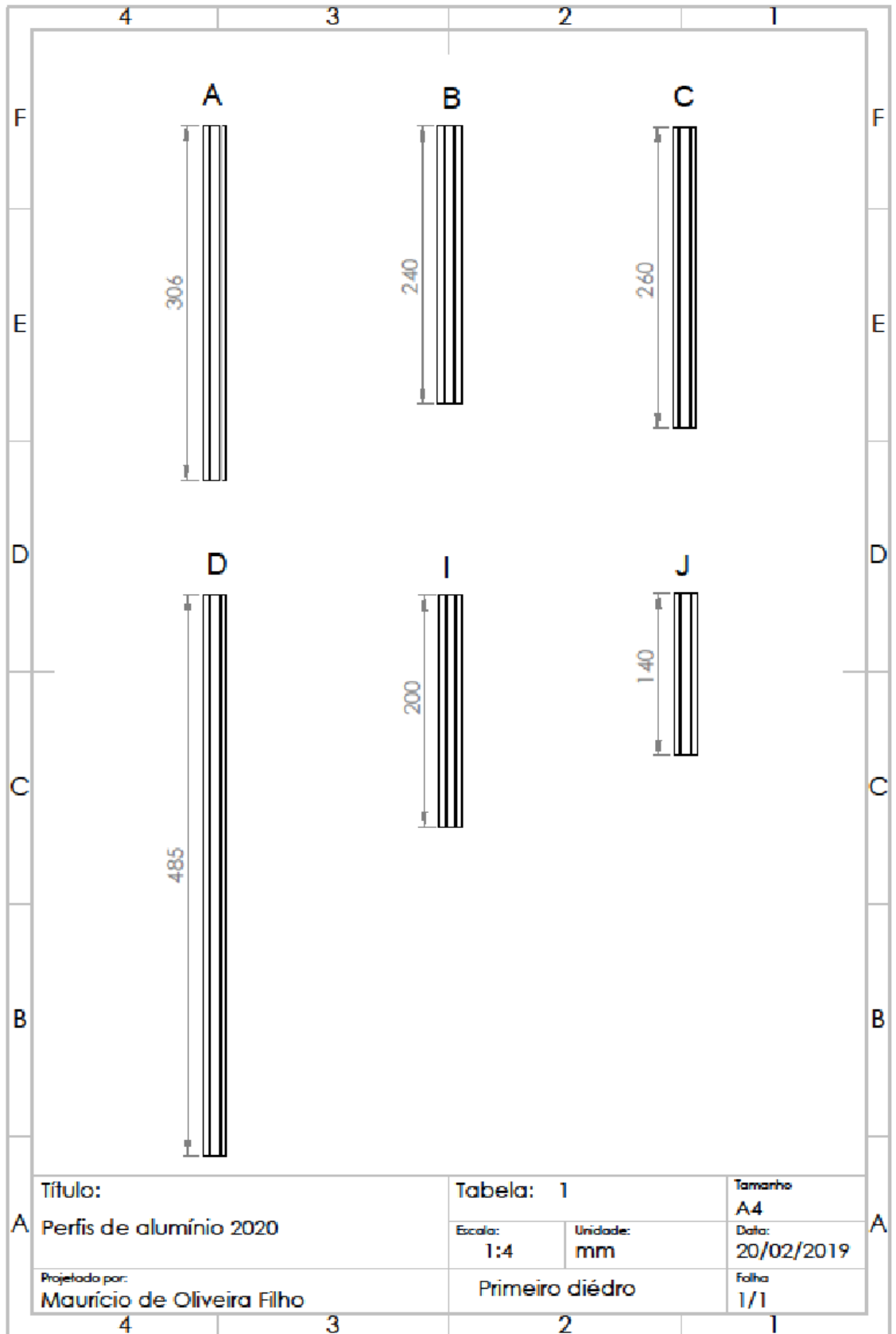
WOERN, A. L. *et al.* Fused particle fabrication 3-D printing: Recycled materials' optimization and mechanical properties. **Materials**, Houghton, v. 11, n. 8, 2018.

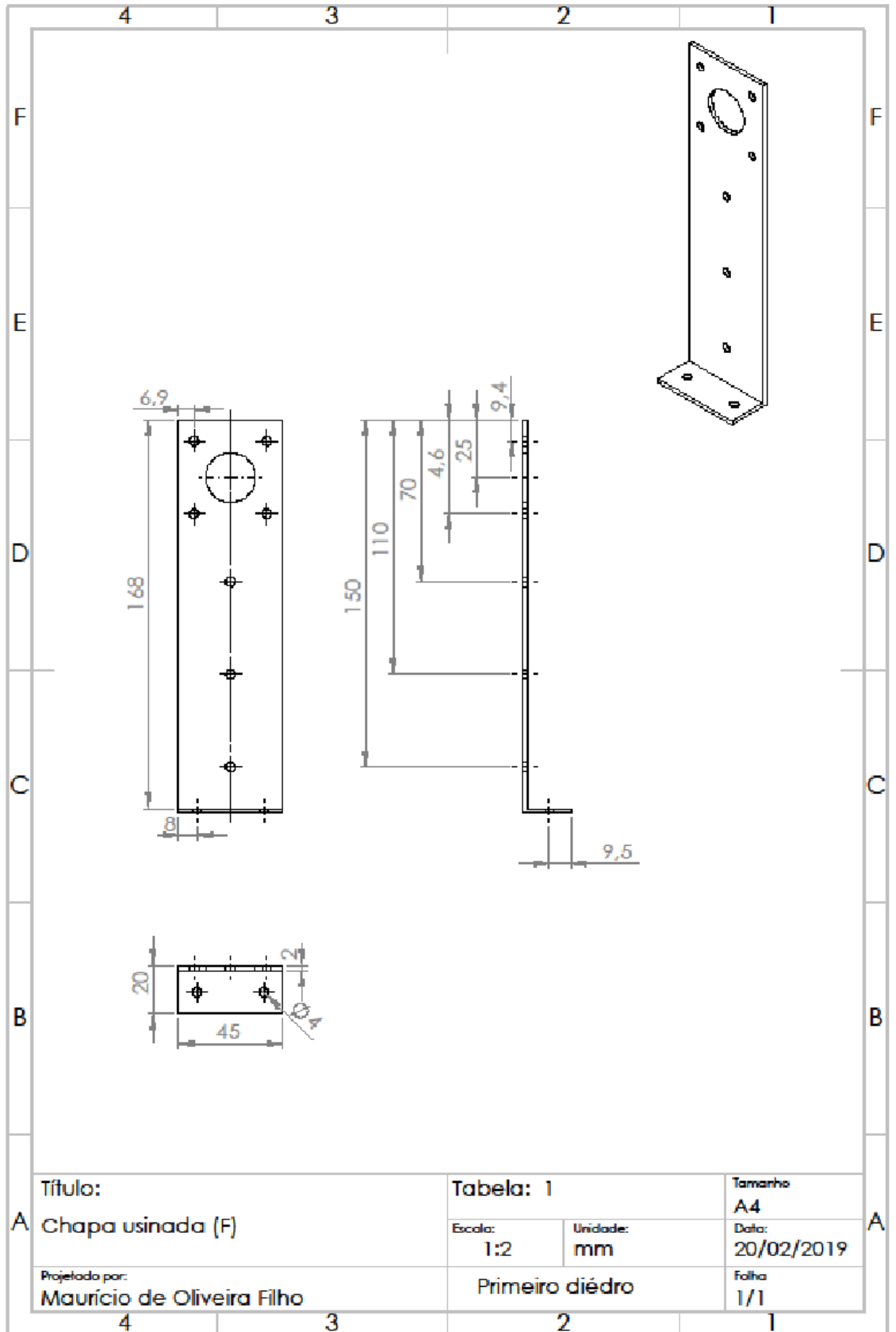
WOERN, A. L. *et al.* RepRapable Recyclebot: Open source 3-D printable extruder for converting plastic to 3-D printing filament. **HardwareX**, Houghton, v. 4, p. e00026, 2018.

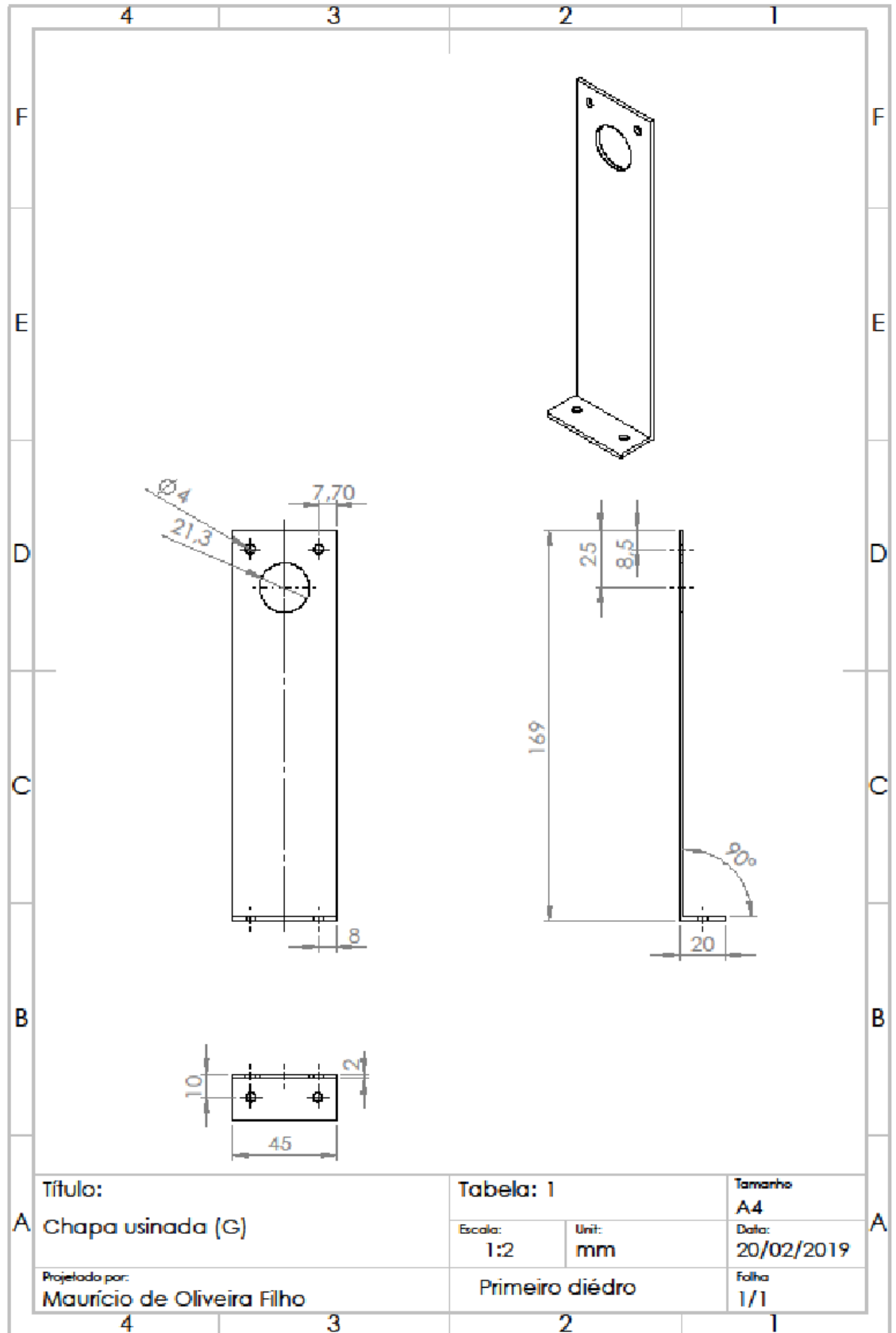
WOOD, A. K.; CLEVELEYS, T. Determination of Melt Temperature and Velocity Profiles in Flowing Polymer Melts. Proceedings of the 8th Brazilian Congress on Polymers, 2005, **Anais [...]**. Aguas de Lindoia, p. 1378–1381, 2005.

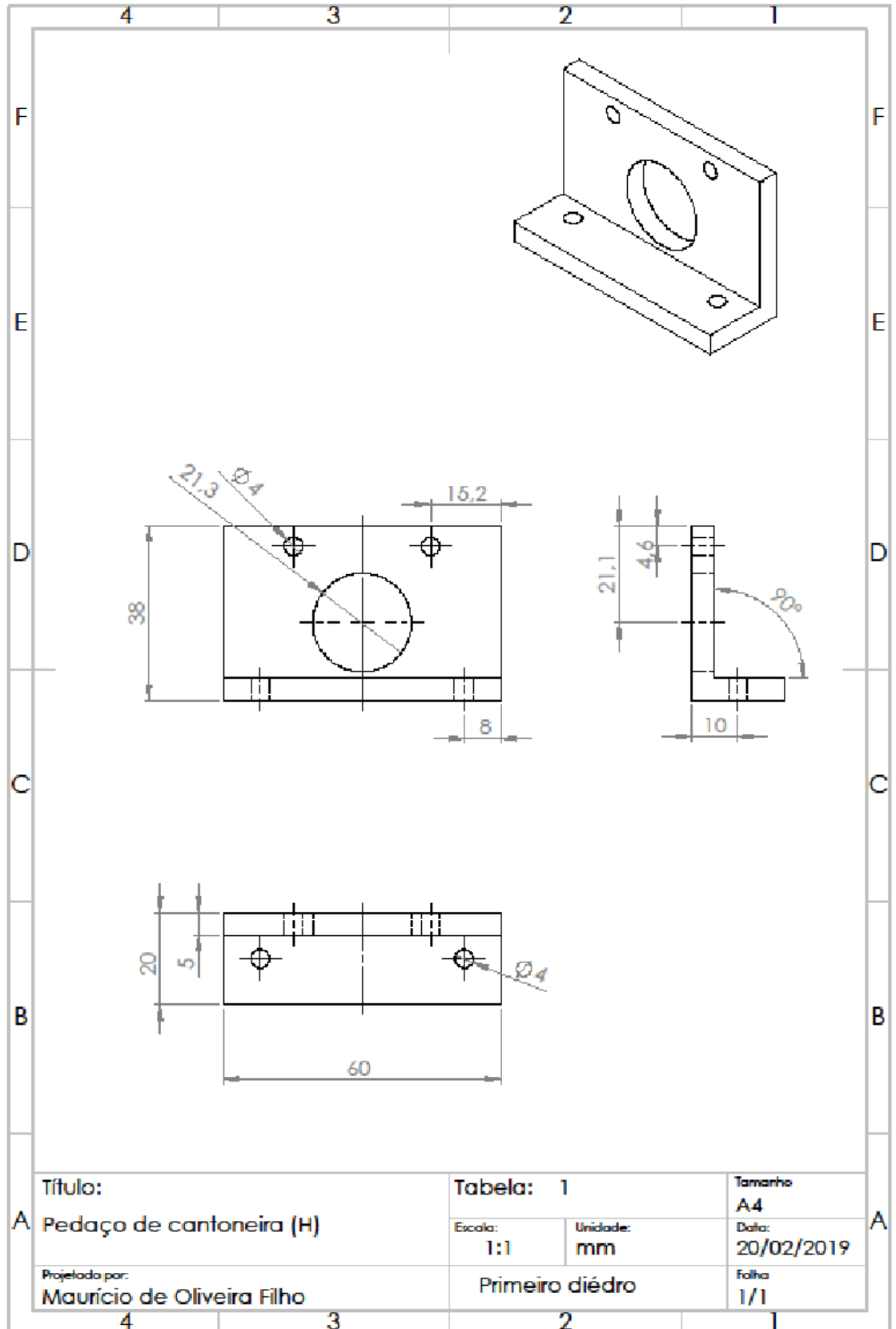
ZHOU, H. L.; ZHANG, X. D. Dynamic robustness of knowledge collaboration network of open-source product development community. **Physica A: statistical mechanics and its applications**, Beijing, v. 490, p. 601–612, 2018.

**Apêndice A – Peças usinadas da parte estrutural da extrusora**

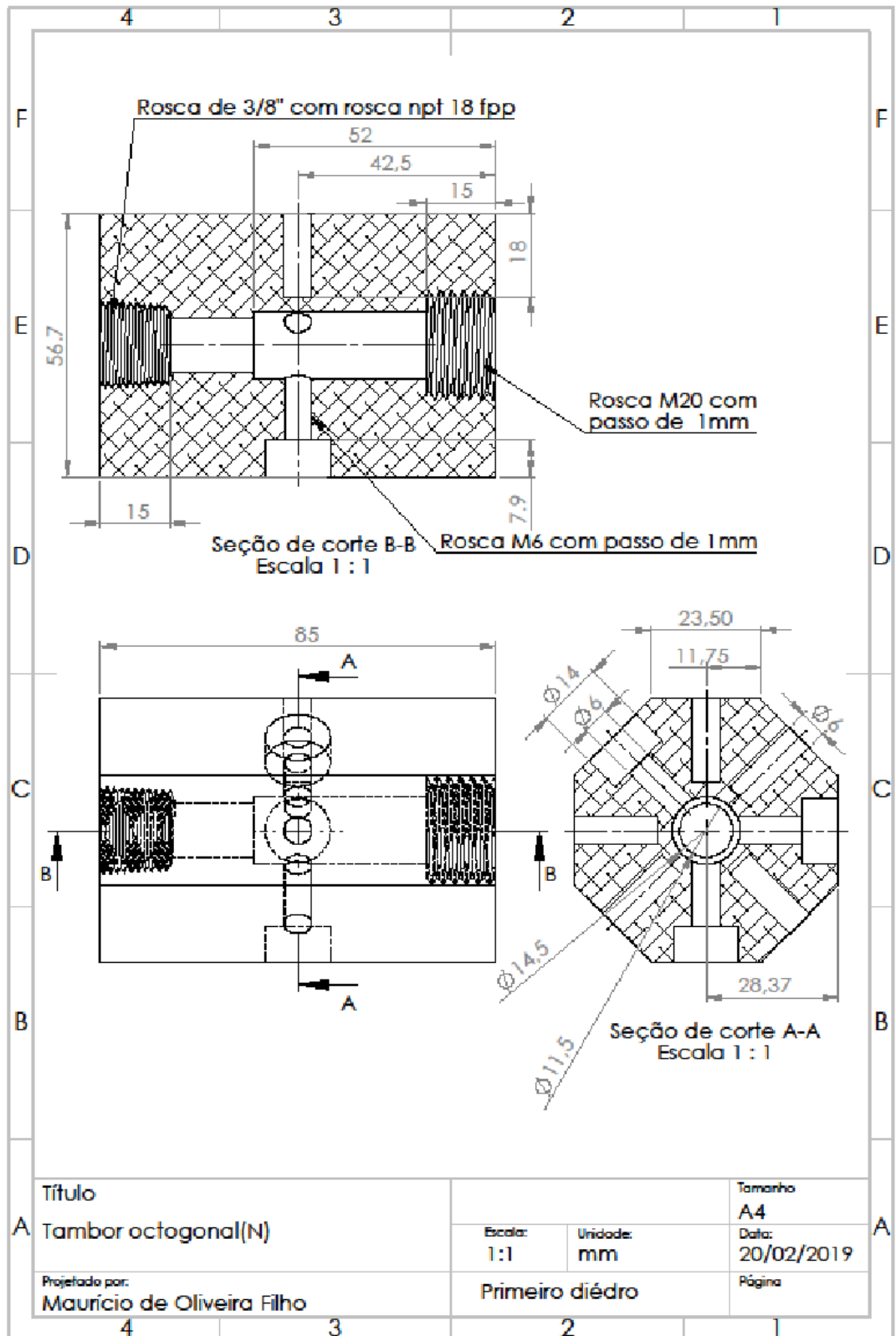


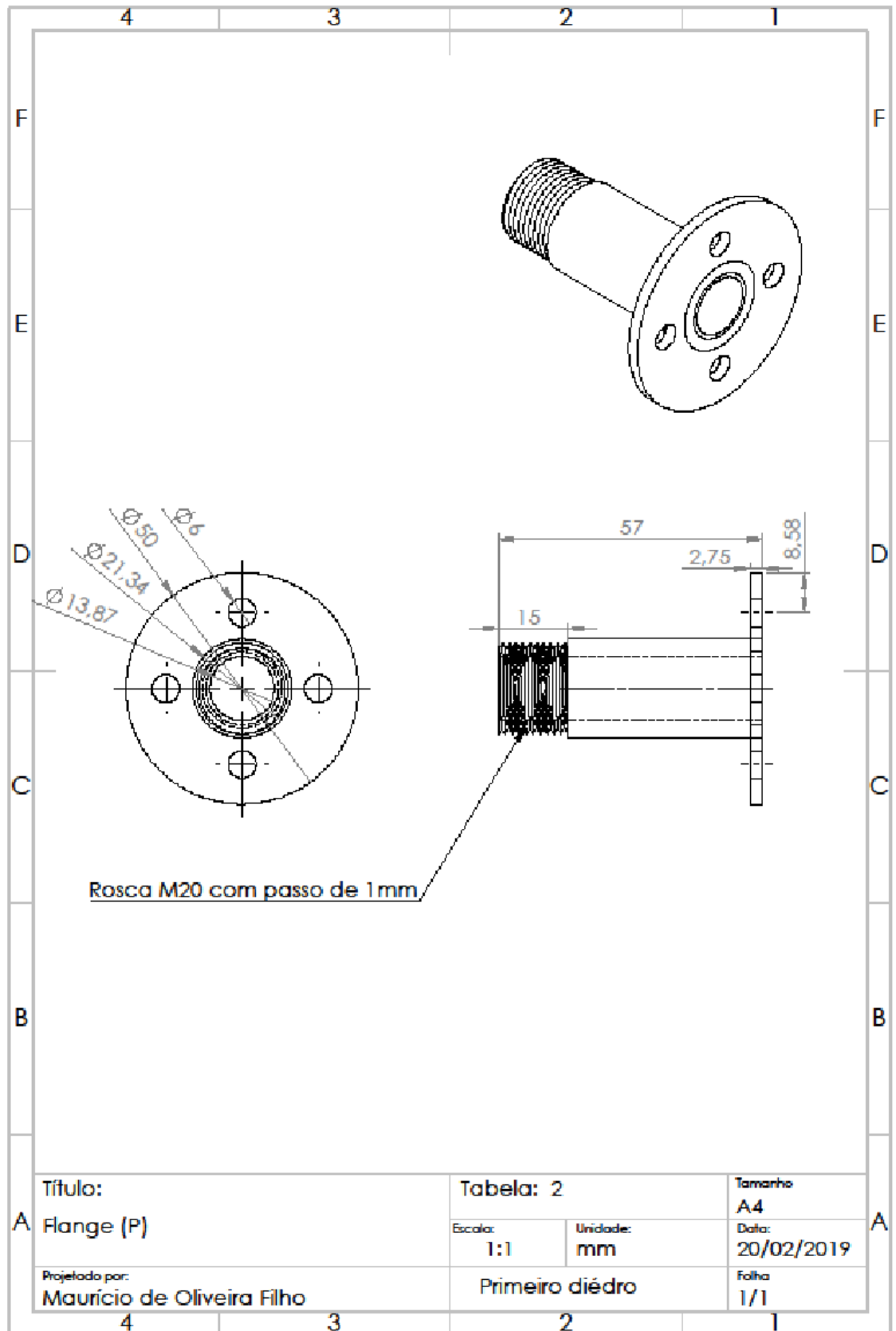


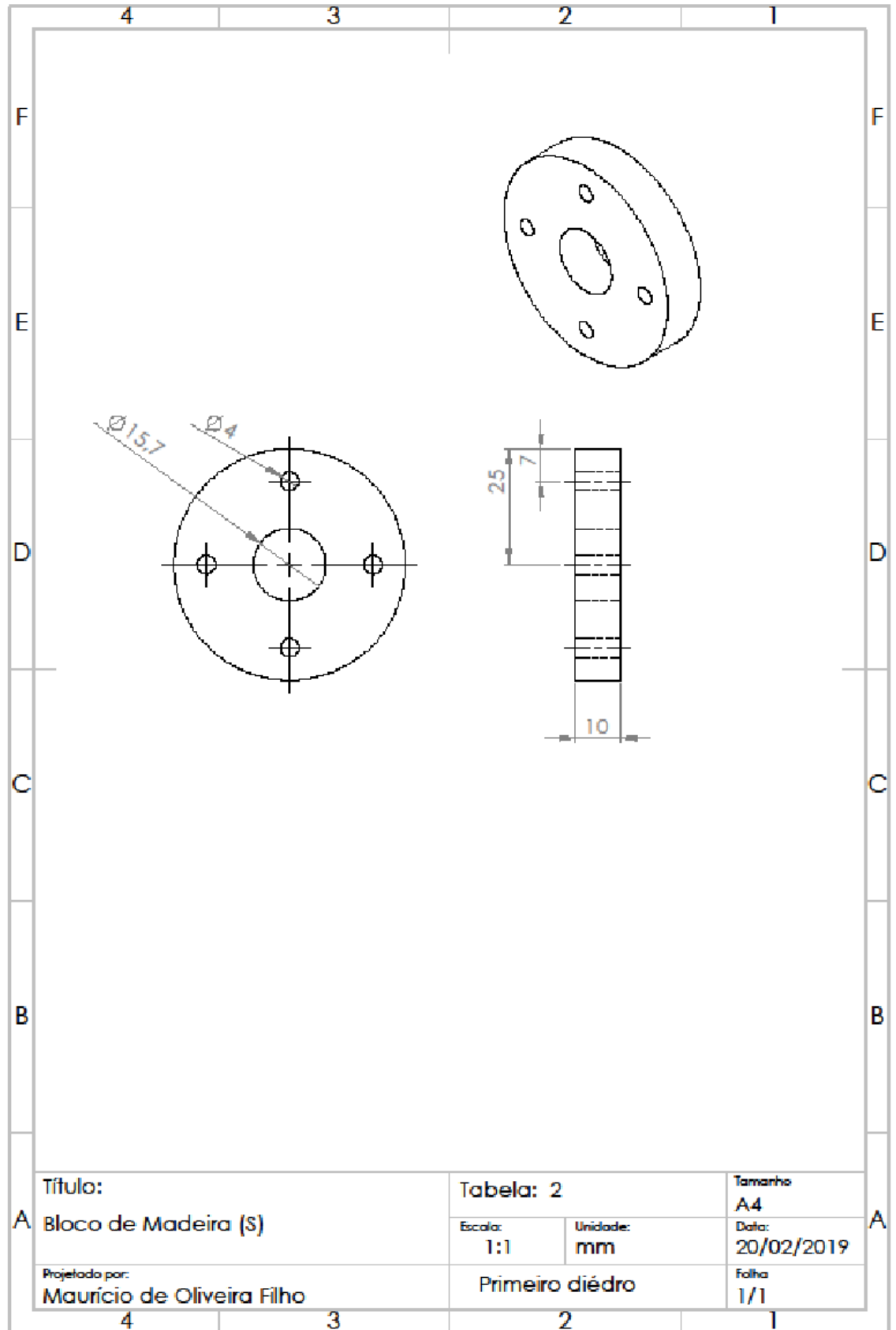




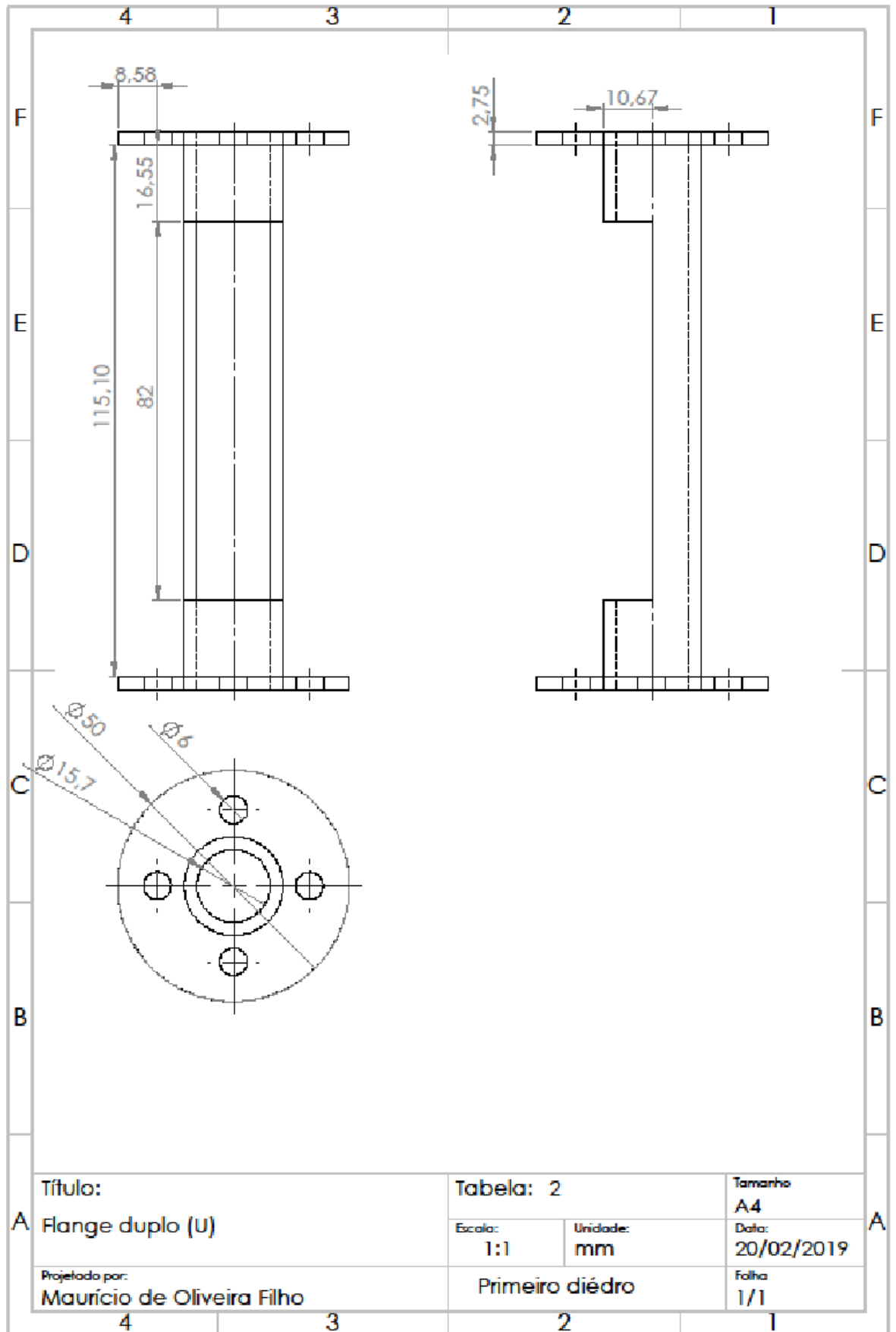
Apêndice B – Peças usinadas do sistema de extrusão

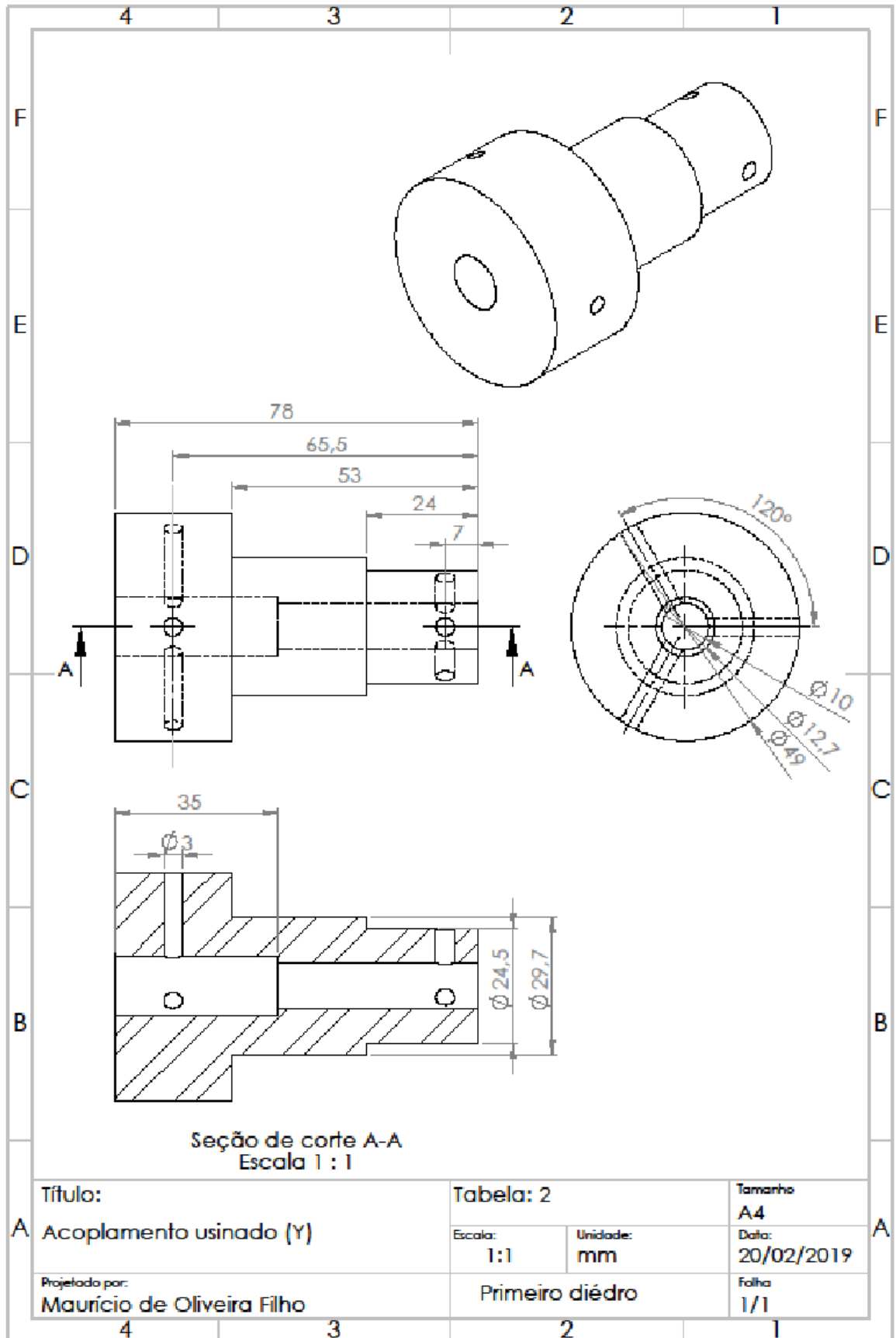




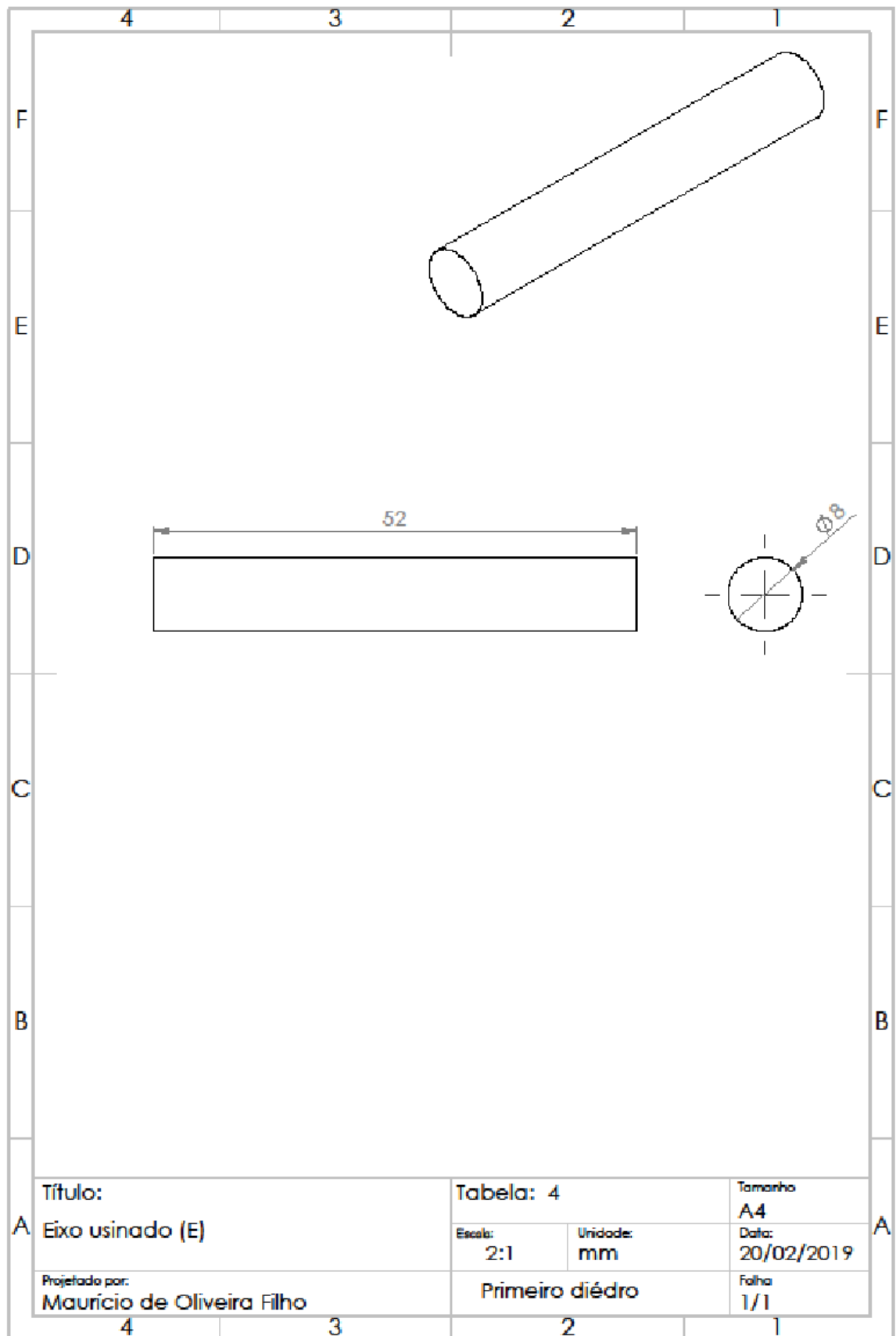


|   |                            |                  |          |            |
|---|----------------------------|------------------|----------|------------|
| A | Título:                    | Tabela: 2        |          | Tamanho    |
|   | Bloco de Madeira (S)       | Escala:          | Unidade: | A4         |
|   | Projetado por:             | 1:1              | mm       | Data:      |
|   | Maurício de Oliveira Filho | Primeiro diédrio |          | 20/02/2019 |
|   |                            |                  |          | Folha      |
|   |                            |                  |          | 1/1        |

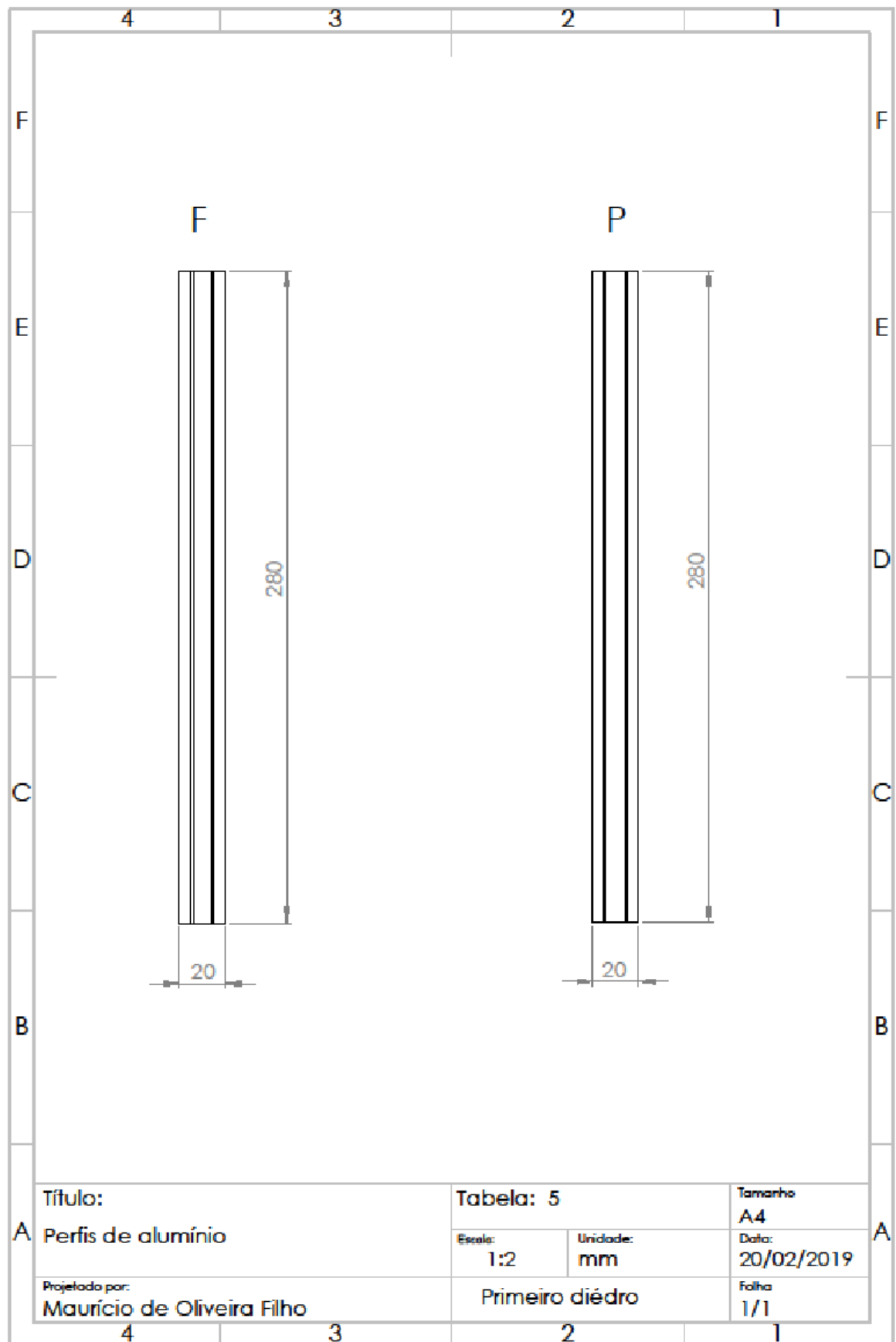


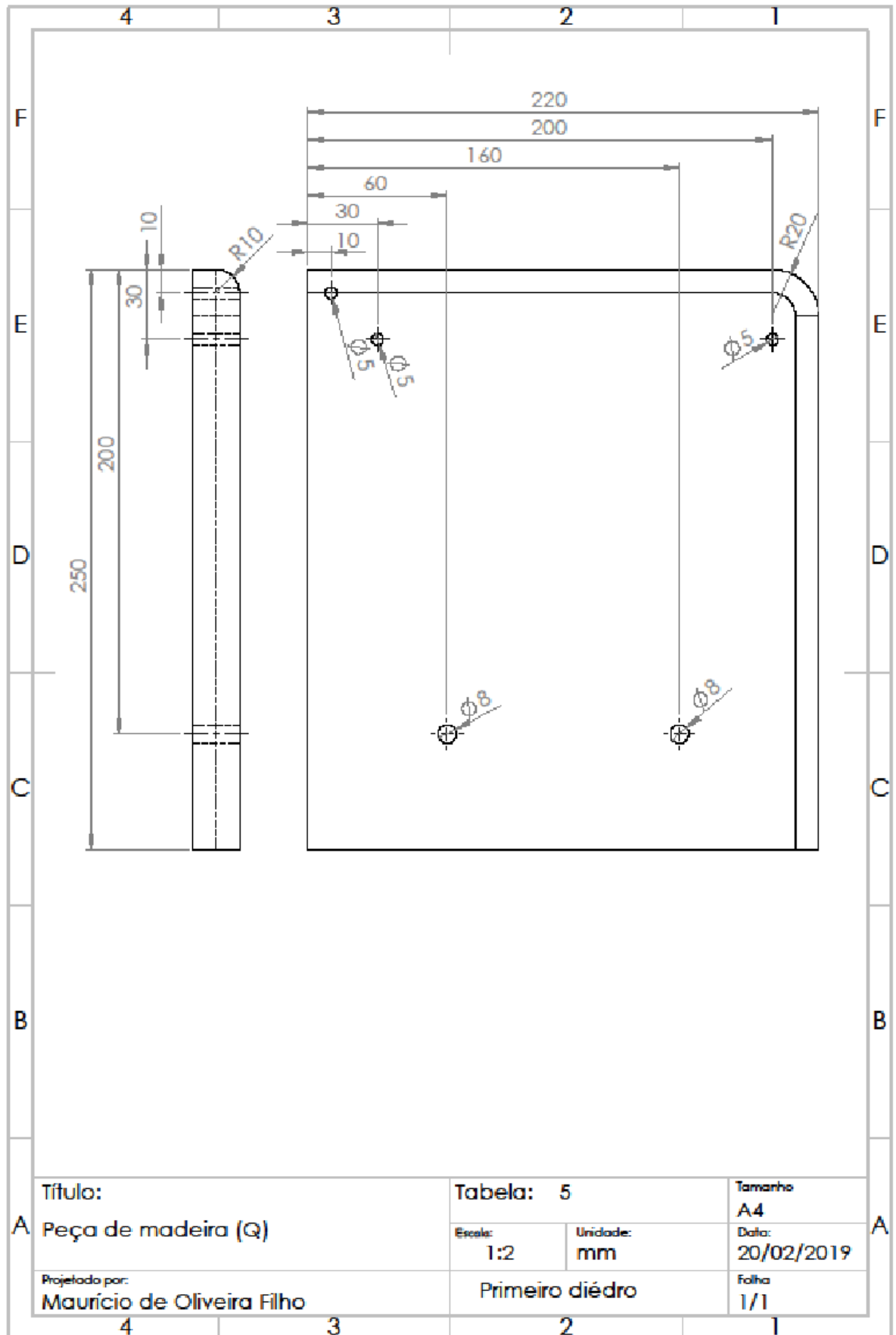


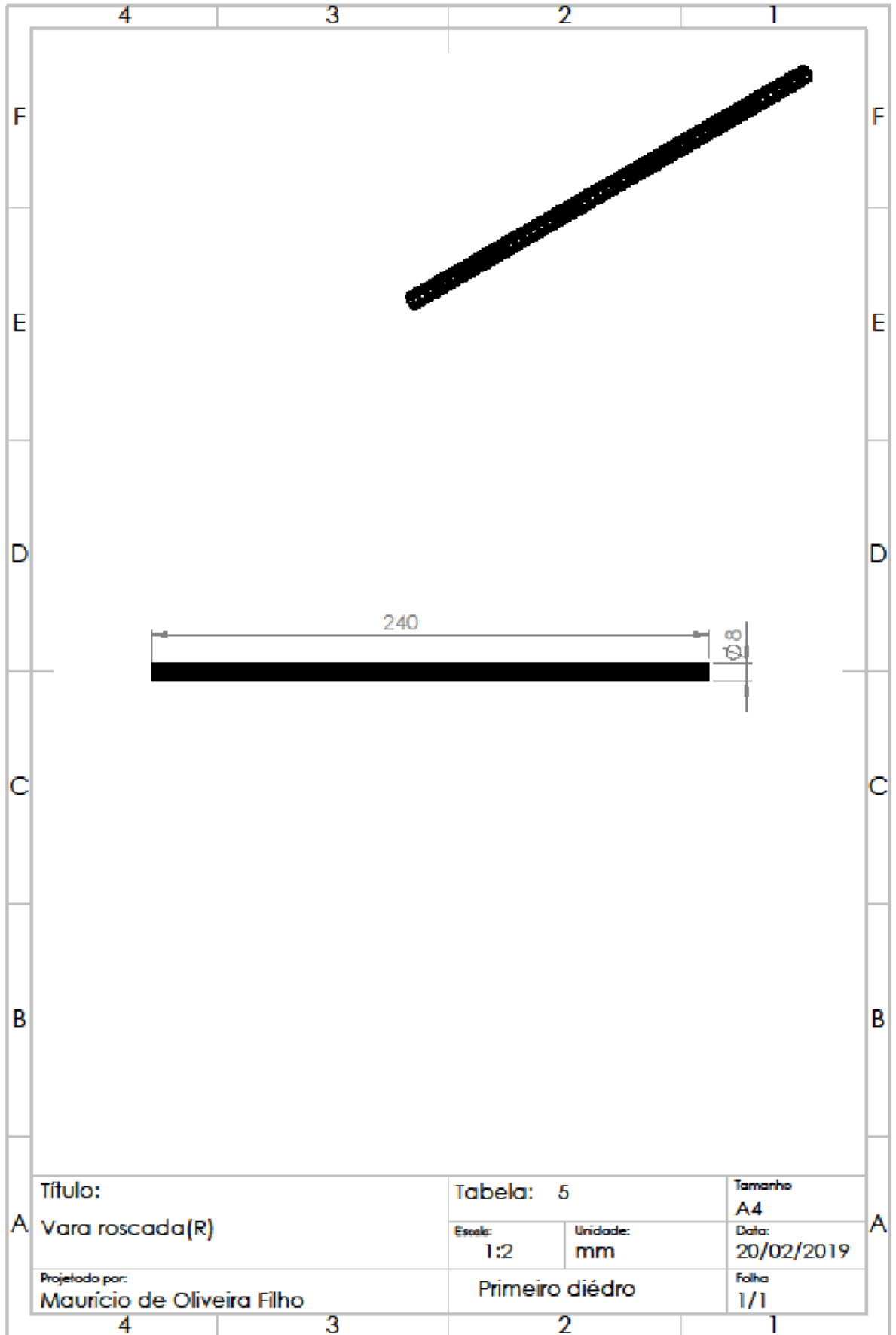
### Apêndice C – Peça usinada do sistema puxador e análise de diâmetro



### Apêndice D – Peças usinadas do sistema bobinador







Título:  
Vara roscada(R)

Tabela: 5

Tamanho  
A4

Escala:  
1:2

Unidade:  
mm

Data:  
20/02/2019

Projetado por:  
Maurício de Oliveira Filho

Primeiro diédrio

Folha  
1/1

## Apêndice F – Lista de materiais da parte estrutural da extrusora

| Nome  | Código | Número de peças | Custo por unidade | Custo total | Local de aquisição dos material   | Tipo de material |
|---|--------|-----------------|-------------------|-------------|---|------------------|
| Perfil 2020 (306mm)                             | A      | 2               | R\$ 12,24         | R\$ 24,48   | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1902658947-perfil-estrutural-aluminio-v-slot-20x20-openbuilds-cnc-3d-1m-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=8127f63b-0dfb-40f3-8e99-babba4017d72">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1902658947-perfil-estrutural-aluminio-v-slot-20x20-openbuilds-cnc-3d-1m-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=8127f63b-0dfb-40f3-8e99-babba4017d72</a>   | Alumínio         |
| Perfil 2020 (240mm)                             | B      | 6               | R\$ 9,60          | R\$ 57,60   | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1902658947-perfil-estrutural-aluminio-v-slot-20x20-openbuilds-cnc-3d-1m-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=8127f63b-0dfb-40f3-8e99-babba4017d72">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1902658947-perfil-estrutural-aluminio-v-slot-20x20-openbuilds-cnc-3d-1m-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=8127f63b-0dfb-40f3-8e99-babba4017d72</a>   | Alumínio         |
| Perfil 2020 (260mm)                             | C      | 4               | R\$ 10,40         | R\$ 41,60   | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1902658947-perfil-estrutural-aluminio-v-slot-20x20-openbuilds-cnc-3d-1m-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=8127f63b-0dfb-40f3-8e99-babba4017d72">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1902658947-perfil-estrutural-aluminio-v-slot-20x20-openbuilds-cnc-3d-1m-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=8127f63b-0dfb-40f3-8e99-babba4017d72</a>   | Alumínio         |
| Perfil 2020 (485mm)                             | D      | 2               | R\$ 19,40         | R\$ 38,80   | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1902658947-perfil-estrutural-aluminio-v-slot-20x20-openbuilds-cnc-3d-1m-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=8127f63b-0dfb-40f3-8e99-babba4017d72">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1902658947-perfil-estrutural-aluminio-v-slot-20x20-openbuilds-cnc-3d-1m-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=8127f63b-0dfb-40f3-8e99-babba4017d72</a>   | Alumínio         |
| Cantoneira Alumínio Para Perfil Estrutural 2020 | E      | 23              | R\$ 1,48          | R\$ 33,97   | <a href="https://pt.aliexpress.com/item/4000190579760.html?spm=a2e0o.productlist.0.0.30fd26dbiC1kw9&amp;algo_pvid=ba9068d4-1917-4121-adc7-8aa1c777f128-16&amp;pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2210000000711777300%22%7D&amp;pdp_pi=-1%3B28.84%3B-1%3B-1%40salePrice%3BBRL%3Bsearch-mainSearch">https://pt.aliexpress.com/item/4000190579760.html?spm=a2e0o.productlist.0.0.30fd26dbiC1kw9&amp;algo_pvid=ba9068d4-1917-4121-adc7-8aa1c777f128-16&amp;pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2210000000711777300%22%7D&amp;pdp_pi=-1%3B28.84%3B-1%3B-1%40salePrice%3BBRL%3Bsearch-mainSearch</a> | Alumínio         |
| Chapa usinada (190x45mr F)                      |        | 1               |                   | R\$ 0,00    | Material descartado   | Aço              |
| Chapa usinada (190x45mr G)                      |        | 1               |                   | R\$ 0,00    | Material descartado   | Aço              |
| Pedaço de cantoneira (usinada 20x60)            | H      | 1               |                   |             | Comércio local  | Alumínio         |
| Perfil 2040(200mm)                              | I      | 2               | R\$ 14,30         | R\$ 28,60   | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1276060174-perfil-de-aluminio-estrutural-v-slot-20x40-tipo-openbuilds-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=617355a3-6f8a-4837-88eb-bfd1aca28839">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1276060174-perfil-de-aluminio-estrutural-v-slot-20x40-tipo-openbuilds-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=617355a3-6f8a-4837-88eb-bfd1aca28839</a>   | Alumínio         |
| Perfil 2020 (140mm)                             | J      | 1               | R\$ 5,60          | R\$ 11,20   | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1902658947-perfil-estrutural-aluminio-v-slot-20x20-openbuilds-cnc-3d-1m-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=8127f63b-0dfb-40f3-8e99-babba4017d72">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1902658947-perfil-estrutural-aluminio-v-slot-20x20-openbuilds-cnc-3d-1m-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=8127f63b-0dfb-40f3-8e99-babba4017d72</a>   | Alumínio         |

## Apêndice G - Lista de materiais sistema de extrusão

| Nome  | Código | Número de peças | Custo por unidade | Custo total | Local de aquisição dos materiais  | Tipo de material   |
|---|--------|-----------------|-------------------|-------------|---|--------------------|
| Nozzle (1,75 mm machined hole)                        | K      | 1               | R\$ 15,00         | R\$ 15,00   | Comércio local  | Latão              |
| Chapa 0,5mm (500X110xø155mm)                          | L      | 1               | R\$ 7,01          | R\$ 7,01    | Comércio local  | Aço inox 304       |
| Resistor 15 ohms 10 w                                 | M      | 16              | R\$ 0,85          | R\$ 13,60   | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1618385873-resistor-de-porcelana-10w-15-ohms-JM#matt_tool=63064967&amp;matt_word=&amp;matt_source=google&amp;matt_campaign_id=14303413826&amp;matt_ad_group_id=125984298957&amp;matt_match_type=&amp;matt_network=g&amp;matt_device=c&amp;matt_create=539354957022&amp;matt_keyword=&amp;matt_ad_position=&amp;matt_ad_type=pla&amp;matt_merchant_id=495454905&amp;matt_product_id=MLB1618385873&amp;matt_product_partition_id=1404934605530&amp;matt_target_id=pla-1404934605530&amp;gclid=Cj0KCOiA09eOBhCxARIsAAYRiykBOty6PhOFU0p0GIEzrODEcIdPlaJTAHoESXDtqshLTaiF28QTYrsaAqmpEALw_wcB">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1618385873-resistor-de-porcelana-10w-15-ohms-JM#matt_tool=63064967&amp;matt_word=&amp;matt_source=google&amp;matt_campaign_id=14303413826&amp;matt_ad_group_id=125984298957&amp;matt_match_type=&amp;matt_network=g&amp;matt_device=c&amp;matt_create=539354957022&amp;matt_keyword=&amp;matt_ad_position=&amp;matt_ad_type=pla&amp;matt_merchant_id=495454905&amp;matt_product_id=MLB1618385873&amp;matt_product_partition_id=1404934605530&amp;matt_target_id=pla-1404934605530&amp;gclid=Cj0KCOiA09eOBhCxARIsAAYRiykBOty6PhOFU0p0GIEzrODEcIdPlaJTAHoESXDtqshLTaiF28QTYrsaAqmpEALw_wcB</a> | Cerâmico           |
| Tambor Octogonal                                      | N      | 1               |                   |             | Usinado   | Alumínio           |
| Termopar tipo K com rosca (rosca M6 com passo de 1mm) | O      | 3               |                   | R\$ 0,00    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/modulo-sensor-de-temperatura-max6675-termopar-tipo-k.html">https://www.baudaeletronica.com.br/modulo-sensor-de-temperatura-max6675-termopar-tipo-k.html</a>   |                    |
| Flange  | P      | 1               |                   |             | Usinado e soldado   | Aço inox           |
| Porca M6  | Q      | 6               | R\$ 0,38          | R\$ 2,27    | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1931961401-porca-sextavada-m6-inox-50-pecas-JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=pad&amp;tracking_id=453936c8-4266-4c37-bceb-fa4927a71a40&amp;is_advertising=true&amp;ad_domain=VOCATCORE_LST&amp;ad_position=1&amp;ad_click_id=OTY3ZWRlYTYtZDFhNi00ZTBjLTlhNmEiMml2Y2Y4ZWw3OWM3">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1931961401-porca-sextavada-m6-inox-50-pecas-JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=pad&amp;tracking_id=453936c8-4266-4c37-bceb-fa4927a71a40&amp;is_advertising=true&amp;ad_domain=VOCATCORE_LST&amp;ad_position=1&amp;ad_click_id=OTY3ZWRlYTYtZDFhNi00ZTBjLTlhNmEiMml2Y2Y4ZWw3OWM3</a>   | Aço inox           |
| Parafuso Allen (M6x25mm)                              | R      | 6               | R\$ 6,50          | R\$ 39,00   | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-930562086-parafuso-m6x25-625-allen-cabeca-inox-10-pcs-JM#position=4&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=28f2c43e-cc45-4ad9-a2db-36e5b85d0625">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-930562086-parafuso-m6x25-625-allen-cabeca-inox-10-pcs-JM#position=4&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=28f2c43e-cc45-4ad9-a2db-36e5b85d0625</a>   | Aço inox           |
| Bloco de Madeira                                      | S      | 1               |                   |             | Material proveniente de descarte  | Madeira            |
| Broca de madeira de 1/2"                              | T      | 1               | R\$ 60,00         | R\$ 60,00   | Comércio local  | Aço                |
| Flange dupla  | U      | 1               |                   |             | Material usinado e soldado  | Aço inox           |
| Disco para encoder óptico (fotolitografia)            | V      | 1               | R\$ 30,00         | R\$ 30,00   | Comércio local  | Filme transparente |
| Parafuso Allen sem cabeça (M3-8mm)                    | W      | 6               | R\$ 1,17          | R\$ 7,02    | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1275215986-parafuso-allen-sem-cabeca-inox-m3-x-8mm-pacote-c20-pecas-JM#position=26&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=bafc24d0-a4b6-4175-a83b-c970e8e10204">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1275215986-parafuso-allen-sem-cabeca-inox-m3-x-8mm-pacote-c20-pecas-JM#position=26&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=bafc24d0-a4b6-4175-a83b-c970e8e10204</a>   | Aço inox           |
| Travador de disco óptico (3g)                         | X      | 1               | R\$ 0,24          | R\$ 0,24    | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/</a>   | ABS                |
| Acoplamento usinado                                   | Y      | 1               |                   |             | Material usinado  | Alumínio           |
| Parafuso de cabeça hexagonal (M6,5x60mm)              | Z      | 3               |                   |             | Comércio local  | Aço                |
| Rolamento (72x30x28,5mm)                              | AA     | 1               | R\$ 55,00         | R\$ 55,00   | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1926629750-rolamento-cnico-32306-30x72x2875-mm-capa-e-cone-JM#Calcula%20o%20prazo%20de%20entrega">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1926629750-rolamento-cnico-32306-30x72x2875-mm-capa-e-cone-JM#Calcula%20o%20prazo%20de%20entrega</a>   |                    |
| Suporte para rolamento impresso 1 (298g)              | AB     | 1               | R\$ 24,32         | R\$ 24,32   | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/</a>   | ABS                |
| Suporte para rolamento impresso 2 (157g)              | AC     | 1               | R\$ 12,81         | R\$ 12,81   | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/</a>   | ABS                |
| Motor de parabrisa de caminhão bosch                  | AD     | 1               | R\$ 389,00        | R\$ 389,00  | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2034034141-motor-do-limpador-do-parabrisa-mercedes-benz-caminhoes-12v-JM#position=17&amp;search_layout=grid&amp;type=item&amp;tracking_id=612f0573-cf68-4e6d-a98b-5f9c73ee785d">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2034034141-motor-do-limpador-do-parabrisa-mercedes-benz-caminhoes-12v-JM#position=17&amp;search_layout=grid&amp;type=item&amp;tracking_id=612f0573-cf68-4e6d-a98b-5f9c73ee785d</a>   |                    |
| Parafuso M4   | AE     | 69              | R\$ 0,55          | R\$ 38,16   | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1272150467-parafuso-allen-cabeca-cilindrica-m4-x-10-aco-liga-50-pecas-JM#position=5&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=d7e3194b-fa72-45ba-8153-bca91717fe76">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1272150467-parafuso-allen-cabeca-cilindrica-m4-x-10-aco-liga-50-pecas-JM#position=5&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=d7e3194b-fa72-45ba-8153-bca91717fe76</a>   | Aço                |
| Porca martelo M4                                      | AF     | 69              | R\$ 0,45          | R\$ 31,19   | <a href="https://pt.aliexpress.com/item/1005002375778002.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.43b13169cBfQxr&amp;algo_pvid=9c5f2764-a4fb-426e-a6f7-fbde55473cd8&amp;algo_exp_id=9c5f2764-a4fb-426e-a6f7-fbde55473cd8-0&amp;pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000020416820982%22%7D&amp;pdp_pi=1%3B8.45%3B-1%3B-1%40salePrice%3BBRL%3Bsearch-mainSearch">https://pt.aliexpress.com/item/1005002375778002.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.43b13169cBfQxr&amp;algo_pvid=9c5f2764-a4fb-426e-a6f7-fbde55473cd8&amp;algo_exp_id=9c5f2764-a4fb-426e-a6f7-fbde55473cd8-0&amp;pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000020416820982%22%7D&amp;pdp_pi=1%3B8.45%3B-1%3B-1%40salePrice%3BBRL%3Bsearch-mainSearch</a>   | Aço                |
| Arruela M4  | AG     | 69              | R\$ 0,08          | R\$ 5,51    | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1177723618-arruela-lisa-zincada-m4-zincada-500-pecas-JM#position=6&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=544de93-68a0-41c5-9630-67317a0f7fd9">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1177723618-arruela-lisa-zincada-m4-zincada-500-pecas-JM#position=6&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=544de93-68a0-41c5-9630-67317a0f7fd9</a>   | Aço                |
| Sensor para Tacômetro                                 | AH     | 1               | R\$ 9,21          | R\$ 9,21    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/catalogsearch/result/?q=M%3C3%B3dulo+Sensor+de+Velicidade+Encoder">https://www.baudaeletronica.com.br/catalogsearch/result/?q=M%3C3%B3dulo+Sensor+de+Velicidade+Encoder</a>   |                    |
| Suporte para sensor do tacômetro (7g)                 | AI     | 1               | R\$ 0,90          | R\$ 0,90    | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/</a>   | PLA                |
| Parte superior do funil impresso (173g)               | AJ     | 1               | R\$ 14,12         | R\$ 14,12   | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/</a>   | ABS                |
| Parte inferior do funil impresso (81g)                | AK     | 1               | R\$ 6,61          | R\$ 6,61    | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/</a>   | ABS                |
| Parafuso Phillips (M5 x 40 mm)                        | AL     | 2               | R\$ 0,66          | R\$ 1,32    | Comércio local  | Aço                |

**Apêndice H - Lista de materiais do sistema de resfriamento**

| Nome                         | Código | Número de peças | Custo por unidade | Custo total | Local de aquisição dos materiais  | Tipo de material |
|------------------------------|--------|-----------------|-------------------|-------------|---|------------------|
| Barril de resfriamento (75g) | A      | 1               | R\$ 6,12          | R\$ 6,12    | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/</a> | ABS              |
| Tanque de água               | B      | 1               | R\$ 0,00          | R\$ 0,00    | Material proveniente de descarte  | PVC              |
| Bomba de água                | C      | 1               | R\$ 68,00         | R\$ 68,00   | Comércio local  |                  |
| Base seladora de tanque      | D      | 1               | R\$ 2,53          | R\$ 2,53    | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/</a> | ABS              |

## Apêndice I – Lista de materiais do sistema puxador e análise de diâmetro

| Nome  | Código | Número de peças | Custo por unidade | Custo total | Local de aquisição dos materiais  | Tipo de material |
|---|--------|-----------------|-------------------|-------------|---|------------------|
| Motor de passo Nema 17                          | A      | 1               | R\$ 67,20         | R\$ 67,20   | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1699089992-motor-de-passo-nema-17-17hs4401-42kgfcm-cabo-1-metro-_JM?matt_tool=56291529&amp;matt_word=&amp;matt_source=google&amp;matt_campaign_id=14303413604&amp;matt_ad_group_id=125984287157&amp;matt_match_type=&amp;matt_network=g&amp;matt_device=c&amp;matt_creative=539354956218&amp;matt_keyword=&amp;matt_ad_position=&amp;matt_ad_type=pla&amp;matt_merchant_id=279126063&amp;matt_product_id=MLB1699089992&amp;matt_product_partition_id=1404886571258&amp;matt_target_id=pla-1404886571258&amp;gclid=Cj0KCQIA09eOBhCxAARIsAAYRjn8POX2vzr6C9vzzYD-OxVa1t29OnV-wMjhliUlguesKHmpRZ5IEaAvppEALw_wcB">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1699089992-motor-de-passo-nema-17-17hs4401-42kgfcm-cabo-1-metro-_JM?matt_tool=56291529&amp;matt_word=&amp;matt_source=google&amp;matt_campaign_id=14303413604&amp;matt_ad_group_id=125984287157&amp;matt_match_type=&amp;matt_network=g&amp;matt_device=c&amp;matt_creative=539354956218&amp;matt_keyword=&amp;matt_ad_position=&amp;matt_ad_type=pla&amp;matt_merchant_id=279126063&amp;matt_product_id=MLB1699089992&amp;matt_product_partition_id=1404886571258&amp;matt_target_id=pla-1404886571258&amp;gclid=Cj0KCQIA09eOBhCxAARIsAAYRjn8POX2vzr6C9vzzYD-OxVa1t29OnV-wMjhliUlguesKHmpRZ5IEaAvppEALw_wcB</a>   |                  |
| Parafuso de cabeça hexagonal M6x40 mm           | B      | 3               | R\$ 3,87          | R\$ 11,60   | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1676655022-kit-parafusos-suporte-tv-philco-sextavado-m6-x-40mm-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=0d710920-f6cf-48f2-b29b-a0c096e5e0c3">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1676655022-kit-parafusos-suporte-tv-philco-sextavado-m6-x-40mm-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=0d710920-f6cf-48f2-b29b-a0c096e5e0c3</a>   | Aço              |
| Parte superior do sistema puxador (39g)         | C      | 1               | R\$ 3,18          | R\$ 3,18    | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/</a><br><a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1425559218-kit-100-rolamentos-608zz-abec-1-8x22x7-skate-patinsem-aco-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=pad&amp;tracking_id=76d7323a-389a-491e-4dd2ab40e6fa&amp;is_advertising=true&amp;ad_domain=VOCATCORE_LST&amp;ad_position=1&amp;ad_click_id=OThmNGY0NmQtMjF1ZC00N2Nhl.WFmOGhtNDdmNWZkNTRiMmIz">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1425559218-kit-100-rolamentos-608zz-abec-1-8x22x7-skate-patinsem-aco-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=pad&amp;tracking_id=76d7323a-389a-491e-4dd2ab40e6fa&amp;is_advertising=true&amp;ad_domain=VOCATCORE_LST&amp;ad_position=1&amp;ad_click_id=OThmNGY0NmQtMjF1ZC00N2Nhl.WFmOGhtNDdmNWZkNTRiMmIz</a>  | ABS              |
| Rolamento 608zz                                 | D      | 3               | R\$ 1,59          | R\$ 4,77    | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/</a><br><a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-766878742-paquimetro-digital-150mm-inox-profissional-c-estoiro-mtx-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=a7406f9f-cead-4029-a4ef-5a2288164ccb">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-766878742-paquimetro-digital-150mm-inox-profissional-c-estoiro-mtx-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=a7406f9f-cead-4029-a4ef-5a2288164ccb</a>  |                  |
| Eixo usinado (M8x52 mm)                         | E      | 2               |                   |             | Material usinado  | Aço              |
| Rodinhas de borracha de impressoras descartadas | F      | 2               |                   | R\$ 0,00    | Material proveniente de descarte  | Borracha         |
| Guia de filamento e suporte do paquímetro (98g) | G      | 1               | R\$ 12,65         | R\$ 12,65   | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/</a><br><a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2084350836-parafusos-philips-m3-x-12mm-m3x12mm-com-100-unidades-_JM?matt_tool=73118705&amp;matt_word=&amp;matt_source=google&amp;matt_campaign_id=14302215555&amp;matt_ad_group_id=134553706788&amp;matt_match_type=&amp;matt_network=g&amp;matt_device=c&amp;matt_creative=539425529245&amp;matt_keyword=&amp;matt_ad_position=&amp;matt_ad_type=pla&amp;matt_merchant_id=137818222&amp;matt_product_id=MLB2084350836&amp;matt_product_partition_id=1469248455037&amp;matt_target_id=aud-659781599642-pla-1469248455037&amp;gclid=EA1aIQobChMImuVlqgg9gIVgOyRCh33OQwpEAQYByABEgKYJfD_BwE">https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/</a><br><a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2084350836-parafusos-philips-m3-x-12mm-m3x12mm-com-100-unidades-_JM?matt_tool=73118705&amp;matt_word=&amp;matt_source=google&amp;matt_campaign_id=14302215555&amp;matt_ad_group_id=134553706788&amp;matt_match_type=&amp;matt_network=g&amp;matt_device=c&amp;matt_creative=539425529245&amp;matt_keyword=&amp;matt_ad_position=&amp;matt_ad_type=pla&amp;matt_merchant_id=137818222&amp;matt_product_id=MLB2084350836&amp;matt_product_partition_id=1469248455037&amp;matt_target_id=aud-659781599642-pla-1469248455037&amp;gclid=EA1aIQobChMImuVlqgg9gIVgOyRCh33OQwpEAQYByABEgKYJfD_BwE">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2084350836-parafusos-philips-m3-x-12mm-m3x12mm-com-100-unidades-_JM?matt_tool=73118705&amp;matt_word=&amp;matt_source=google&amp;matt_campaign_id=14302215555&amp;matt_ad_group_id=134553706788&amp;matt_match_type=&amp;matt_network=g&amp;matt_device=c&amp;matt_creative=539425529245&amp;matt_keyword=&amp;matt_ad_position=&amp;matt_ad_type=pla&amp;matt_merchant_id=137818222&amp;matt_product_id=MLB2084350836&amp;matt_product_partition_id=1469248455037&amp;matt_target_id=aud-659781599642-pla-1469248455037&amp;gclid=EA1aIQobChMImuVlqgg9gIVgOyRCh33OQwpEAQYByABEgKYJfD_BwE</a> | PLA              |
| Paquímetro                                      | H      | 1               |                   | R\$ 76,90   | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/</a><br><a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2065676528-porca-sextavada-m6-zincado-branco-passo-100-1000pecas-_JM#position=2&amp;search_layout=stack&amp;type=pad&amp;tracking_id=efaa0a61-4737-4750-8e13-f8b2afedbd&amp;is_advertising=true&amp;ad_domain=VOCATCORE_LST&amp;ad_position=2&amp;ad_click_id=MjEwNDJlYmMzZjI0Ni00MGJlLWE1NWU1NDAYyYjY1YXNlGfK">https://www.baudaeletronica.com.br/acoplamento-flexivel-para-motor-de-passo-6-35-x-8mm.html?gclid=EA1aIQobChMI16SM_qqg9gIVkIKRCh0Mmw91EAQYAiABEGgKyD_BwE</a><br><a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1528778452-parafuso-cabeca-panela-philips-m3-25mm-com-100-pecas-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=pad&amp;tracking_id=4ce0ba84-215d-464f-95e8-5ae8369bd98&amp;is_advertising=true&amp;ad_domain=VOCATCORE_LST&amp;ad_position=1&amp;ad_click_id=MTU4ZjBkZjAtMWYyZyS00ODU3LWFkYjQmMjQ1MmVnZWYxNGZl">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1528778452-parafuso-cabeca-panela-philips-m3-25mm-com-100-pecas-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=pad&amp;tracking_id=4ce0ba84-215d-464f-95e8-5ae8369bd98&amp;is_advertising=true&amp;ad_domain=VOCATCORE_LST&amp;ad_position=1&amp;ad_click_id=MTU4ZjBkZjAtMWYyZyS00ODU3LWFkYjQmMjQ1MmVnZWYxNGZl</a>   | PLA              |
| Parafuso Phillips (M3x12mm)                     | K      | 6               | R\$ 0,49          | R\$ 2,93    | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/</a><br><a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2065676528-porca-sextavada-m6-zincado-branco-passo-100-1000pecas-_JM#position=2&amp;search_layout=stack&amp;type=pad&amp;tracking_id=efaa0a61-4737-4750-8e13-f8b2afedbd&amp;is_advertising=true&amp;ad_domain=VOCATCORE_LST&amp;ad_position=2&amp;ad_click_id=MjEwNDJlYmMzZjI0Ni00MGJlLWE1NWU1NDAYyYjY1YXNlGfK">https://www.baudaeletronica.com.br/acoplamento-flexivel-para-motor-de-passo-6-35-x-8mm.html?gclid=EA1aIQobChMI16SM_qqg9gIVkIKRCh0Mmw91EAQYAiABEGgKyD_BwE</a><br><a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1528778452-parafuso-cabeca-panela-philips-m3-25mm-com-100-pecas-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=pad&amp;tracking_id=4ce0ba84-215d-464f-95e8-5ae8369bd98&amp;is_advertising=true&amp;ad_domain=VOCATCORE_LST&amp;ad_position=1&amp;ad_click_id=MTU4ZjBkZjAtMWYyZyS00ODU3LWFkYjQmMjQ1MmVnZWYxNGZl">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1528778452-parafuso-cabeca-panela-philips-m3-25mm-com-100-pecas-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=pad&amp;tracking_id=4ce0ba84-215d-464f-95e8-5ae8369bd98&amp;is_advertising=true&amp;ad_domain=VOCATCORE_LST&amp;ad_position=1&amp;ad_click_id=MTU4ZjBkZjAtMWYyZyS00ODU3LWFkYjQmMjQ1MmVnZWYxNGZl</a>   | Aço              |
| Sistema inferior do puxador (42g)               | L      | 2               | R\$ 5,42          | R\$ 10,85   | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/</a><br><a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1286378768-porca-autotravante-m8-zincado-parlok-com-500-pecas-_JM#position=2&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=c0aa1be4-3088-493d-b63e-f1f0dc2bf50">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1286378768-porca-autotravante-m8-zincado-parlok-com-500-pecas-_JM#position=2&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=c0aa1be4-3088-493d-b63e-f1f0dc2bf50</a>  | PLA              |
| Porca M6  | M      | 4               | R\$ 0,08          | R\$ 0,33    | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/</a><br><a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2065676528-porca-sextavada-m6-zincado-branco-passo-100-1000pecas-_JM#position=2&amp;search_layout=stack&amp;type=pad&amp;tracking_id=efaa0a61-4737-4750-8e13-f8b2afedbd&amp;is_advertising=true&amp;ad_domain=VOCATCORE_LST&amp;ad_position=2&amp;ad_click_id=MjEwNDJlYmMzZjI0Ni00MGJlLWE1NWU1NDAYyYjY1YXNlGfK">https://www.baudaeletronica.com.br/acoplamento-flexivel-para-motor-de-passo-6-35-x-8mm.html?gclid=EA1aIQobChMI16SM_qqg9gIVkIKRCh0Mmw91EAQYAiABEGgKyD_BwE</a><br><a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1528778452-parafuso-cabeca-panela-philips-m3-25mm-com-100-pecas-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=pad&amp;tracking_id=4ce0ba84-215d-464f-95e8-5ae8369bd98&amp;is_advertising=true&amp;ad_domain=VOCATCORE_LST&amp;ad_position=1&amp;ad_click_id=MTU4ZjBkZjAtMWYyZyS00ODU3LWFkYjQmMjQ1MmVnZWYxNGZl">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1528778452-parafuso-cabeca-panela-philips-m3-25mm-com-100-pecas-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=pad&amp;tracking_id=4ce0ba84-215d-464f-95e8-5ae8369bd98&amp;is_advertising=true&amp;ad_domain=VOCATCORE_LST&amp;ad_position=1&amp;ad_click_id=MTU4ZjBkZjAtMWYyZyS00ODU3LWFkYjQmMjQ1MmVnZWYxNGZl</a>   | Aço              |
| Acoplamento flexível                            | N      | 1               | R\$ 11,35         | R\$ 11,35   | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/</a><br><a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1934301939-parafuso-allen-cabeca-cilindrica-m8-x-35-aco-liga-20-pecas-_JM#position=9&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=5f781234-949f-4b17-ba44-a31b32e89448">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1934301939-parafuso-allen-cabeca-cilindrica-m8-x-35-aco-liga-20-pecas-_JM#position=9&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=5f781234-949f-4b17-ba44-a31b32e89448</a><br><a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1286378768-porca-autotravante-m8-zincado-parlok-com-500-pecas-_JM#position=2&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=c0aa1be4-3088-493d-b63e-f1f0dc2bf50">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1286378768-porca-autotravante-m8-zincado-parlok-com-500-pecas-_JM#position=2&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=c0aa1be4-3088-493d-b63e-f1f0dc2bf50</a>   | Alumínio         |
| Parafuso Phillips (M3x25)                       | O      | 5               | R\$ 0,27          | R\$ 1,34    | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/</a><br><a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1934301939-parafuso-allen-cabeca-cilindrica-m8-x-35-aco-liga-20-pecas-_JM#position=9&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=5f781234-949f-4b17-ba44-a31b32e89448">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1934301939-parafuso-allen-cabeca-cilindrica-m8-x-35-aco-liga-20-pecas-_JM#position=9&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=5f781234-949f-4b17-ba44-a31b32e89448</a><br><a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1286378768-porca-autotravante-m8-zincado-parlok-com-500-pecas-_JM#position=2&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=c0aa1be4-3088-493d-b63e-f1f0dc2bf50">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1286378768-porca-autotravante-m8-zincado-parlok-com-500-pecas-_JM#position=2&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=c0aa1be4-3088-493d-b63e-f1f0dc2bf50</a>   | Aço              |
| Parafuso Allen(M8x35)                           | P      | 2               | R\$ 2,18          | R\$ 4,35    | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/</a><br><a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1286378768-porca-autotravante-m8-zincado-parlok-com-500-pecas-_JM#position=2&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=c0aa1be4-3088-493d-b63e-f1f0dc2bf50">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1286378768-porca-autotravante-m8-zincado-parlok-com-500-pecas-_JM#position=2&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=c0aa1be4-3088-493d-b63e-f1f0dc2bf50</a>  | Aço              |
| Porca parlock M8                                | Q      | 2               | R\$ 0,50          | R\$ 1,00    | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-pla-easyfill/</a><br><a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1286378768-porca-autotravante-m8-zincado-parlok-com-500-pecas-_JM#position=2&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=c0aa1be4-3088-493d-b63e-f1f0dc2bf50">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1286378768-porca-autotravante-m8-zincado-parlok-com-500-pecas-_JM#position=2&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=c0aa1be4-3088-493d-b63e-f1f0dc2bf50</a>  | Aço              |

## Apêndice J – Lista de materiais do sistema bobinador

| Nome  | Código | Número | Custo por unidade | Custo total | Local de aquisição dos materiais  | Tipo de material |
|---|--------|--------|-------------------|-------------|---|------------------|
| Parafuso M4                                     | A      | 14     | R\$ 0,55          | R\$ 7,74    | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1272150467-parafuso-allen-cabeca-cilindrica-m4-x-10-aco-liga-50-pecas-_JM#position=5&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=d7e3194b-fa72-45ba-8153-bca91717fe76">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1272150467-parafuso-allen-cabeca-cilindrica-m4-x-10-aco-liga-50-pecas-_JM#position=5&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=d7e3194b-fa72-45ba-8153-bca91717fe76</a>   | Aço              |
| Motor de passo Nema 17                          | B      | 1      | R\$ 67,20         | R\$ 67,20   | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1699089992-motor-de-passo-nema-17-17hs4401-42kgfcm-cabo-1-metro-_JM?matt_tool=56291529&amp;matt_word=&amp;matt_source=google&amp;matt_campaign_id=14303413604&amp;matt_ad_group_id=125984287157&amp;matt_match_type=&amp;matt_network=g&amp;matt_device=c&amp;matt_creative=539354956218&amp;matt_keyword=&amp;matt_ad_position=&amp;matt_ad_type=pla&amp;matt_merchant_id=279126063&amp;matt_product_id=MLB1699089992&amp;matt_product_partition_id=1404886571258&amp;matt_target_id=pla-1404886571258&amp;gclid=Cj0KCQIA09eQBhCxAARIsAAyRiyn8POX2vzr6C9vzzYD-OxVaJt29OnV-wMjhliUlguesKHJmpRZ5IEaAvppEALw_wcB">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1699089992-motor-de-passo-nema-17-17hs4401-42kgfcm-cabo-1-metro-_JM?matt_tool=56291529&amp;matt_word=&amp;matt_source=google&amp;matt_campaign_id=14303413604&amp;matt_ad_group_id=125984287157&amp;matt_match_type=&amp;matt_network=g&amp;matt_device=c&amp;matt_creative=539354956218&amp;matt_keyword=&amp;matt_ad_position=&amp;matt_ad_type=pla&amp;matt_merchant_id=279126063&amp;matt_product_id=MLB1699089992&amp;matt_product_partition_id=1404886571258&amp;matt_target_id=pla-1404886571258&amp;gclid=Cj0KCQIA09eQBhCxAARIsAAyRiyn8POX2vzr6C9vzzYD-OxVaJt29OnV-wMjhliUlguesKHJmpRZ5IEaAvppEALw_wcB</a> |                  |
| Polia dentada 2gt 8                             | C      | 2      | R\$ 3,71          | R\$ 7,42    | <a href="https://pt.aliexpress.com/item/1005003238020209.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.6df332d0kvzG8q&amp;algo_pvid=779700e6-3e8a-4d2c-a1e3-262adb3d8e67&amp;aeem_p4p_detail=20220225064656909648734128360012494818&amp;algo_exp_id=779700e6-3e8a-4d2c-a1e3-262adb3d8e67-1&amp;pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000024793378926%22%7D&amp;pdp_pi=-1%3B3.71%3B-1%3B1996%40salePrice%3BBRL%3Bsearch-mainSearch">https://pt.aliexpress.com/item/1005003238020209.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.6df332d0kvzG8q&amp;algo_pvid=779700e6-3e8a-4d2c-a1e3-262adb3d8e67&amp;aeem_p4p_detail=20220225064656909648734128360012494818&amp;algo_exp_id=779700e6-3e8a-4d2c-a1e3-262adb3d8e67-1&amp;pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000024793378926%22%7D&amp;pdp_pi=-1%3B3.71%3B-1%3B1996%40salePrice%3BBRL%3Bsearch-mainSearch</a>   | Alumínio         |
| Suporte para motor de passo (66g)               | D      | 1      | R\$ 5,39          | R\$ 5,39    | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/_pt.aliexpress.com/item/32903705568.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.lccf32d2MeyPXQ&amp;algo_pvid=9dd07d4b-34b6-4ddc-b5cf-e0263bc1af94&amp;algo_exp_id=9dd07d4b-34b6-4ddc-b5cf-e0263bc1af94-31&amp;pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2265921080505%22%7D&amp;pdp_pi=-1%3B8.5%3B-1%3B-1%40salePrice%3BBRL%3Bsearch-mainSearch">https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/_pt.aliexpress.com/item/32903705568.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.lccf32d2MeyPXQ&amp;algo_pvid=9dd07d4b-34b6-4ddc-b5cf-e0263bc1af94&amp;algo_exp_id=9dd07d4b-34b6-4ddc-b5cf-e0263bc1af94-31&amp;pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2265921080505%22%7D&amp;pdp_pi=-1%3B8.5%3B-1%3B-1%40salePrice%3BBRL%3Bsearch-mainSearch</a>   | ABS              |
| Mancal com rolamento KP08                       | E      | 2      | R\$ 8,50          | R\$ 17,00   | Comércio local  | Aço              |
| Perfil 2020 (280 mm)                            | F      | 2      | R\$ 8,40          | R\$ 22,40   | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1902658947-perfil-estrutural-aluminio-v-slot-20x20-openbuilds-cnc-3d-1m-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=8127f63b-0dfb-40f3-8e99-babba4017d72">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1902658947-perfil-estrutural-aluminio-v-slot-20x20-openbuilds-cnc-3d-1m-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=8127f63b-0dfb-40f3-8e99-babba4017d72</a>   | Alumínio         |
| Travador de rolo de filamento (53 g)            | G      | 2      | R\$ 4,33          | R\$ 8,65    | <a href="https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/">https://3dfila.com.br/produto/filamento-abs-premium/</a>   | ABS              |
| Vara roscada (M8 - 380 mm)                      | H      | 1      | R\$ 12,92         | R\$ 12,92   | Comércio local  | Aço              |
| Porca martelo M4                                | I      | 14     | R\$ 0,45          | R\$ 6,33    | <a href="https://pt.aliexpress.com/item/1005002375778002.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.43b13169cBfOxr&amp;algo_pvid=9c5f2764-a4fb-426e-a6f7-fbde55473cd8-0&amp;pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000020416820982%22%7D&amp;pdp_pi=-1%3B8.45%3B-1%3B-1%40salePrice%3BBRL%3Bsearch-mainSearch">https://pt.aliexpress.com/item/1005002375778002.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.43b13169cBfOxr&amp;algo_pvid=9c5f2764-a4fb-426e-a6f7-fbde55473cd8-0&amp;pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000020416820982%22%7D&amp;pdp_pi=-1%3B8.45%3B-1%3B-1%40salePrice%3BBRL%3Bsearch-mainSearch</a>   | Aço              |
| Parafuso phillips ( M4 - 40mm)                  | J      | 6      | R\$ 1,50          | R\$ 9,00    | Comércio local  | Aço              |
| Porca M8  | K      | 4      | R\$ 0,45          | R\$ 1,80    | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2158283746-porca-sextavada-m8-zincado-branco-passo-125-c50-pecas-_JM?matt_tool=14372353&amp;matt_word=&amp;matt_source=google&amp;matt_campaign_id=14302215552&amp;matt_ad_group_id=134553706508&amp;matt_match_type=&amp;matt_network=g&amp;matt_device=c&amp;matt_creative=539425529230&amp;matt_keyword=&amp;matt_ad_position=&amp;matt_ad_type=pla&amp;matt_merchant_id=341805245&amp;matt_product_id=MLB2158283746&amp;matt_product_partition_id=1403979574469&amp;matt_target_id=aud-39564238602:pla-1403979574469&amp;gclid=EAlaQobChMIteXx16Wg9gIVCgaRCh2DzAC3EAQYAiABEGj81PD_BwE">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2158283746-porca-sextavada-m8-zincado-branco-passo-125-c50-pecas-_JM?matt_tool=14372353&amp;matt_word=&amp;matt_source=google&amp;matt_campaign_id=14302215552&amp;matt_ad_group_id=134553706508&amp;matt_match_type=&amp;matt_network=g&amp;matt_device=c&amp;matt_creative=539425529230&amp;matt_keyword=&amp;matt_ad_position=&amp;matt_ad_type=pla&amp;matt_merchant_id=341805245&amp;matt_product_id=MLB2158283746&amp;matt_product_partition_id=1403979574469&amp;matt_target_id=aud-39564238602:pla-1403979574469&amp;gclid=EAlaQobChMIteXx16Wg9gIVCgaRCh2DzAC3EAQYAiABEGj81PD_BwE</a>   | Aço              |
| Arruela M4                                      | L      | 6      | R\$ 0,08          | R\$ 0,48    | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-117723618-arruela-lisa-zincada-m4-zincada-500-pecas-_JM#position=6&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=544def93-68a0-41c5-9630-67317a0f7fd9">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-117723618-arruela-lisa-zincada-m4-zincada-500-pecas-_JM#position=6&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=544def93-68a0-41c5-9630-67317a0f7fd9</a>   | Aço              |
| Porca M4  | M      | 18     | R\$ 0,16          | R\$ 2,91    | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1782968438-porca-sextavada-m4-zincada-pacote-com-100-pecas-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=pad&amp;tracking_id=ac7f9e20-895f-4026-aae0-55cd42b96216&amp;is_advertising=true&amp;ad_domain=VQCATCORE_LST&amp;ad_position=1&amp;ad_click_id=NzUzZDRhZGQZTZhMC00NDhiLWE3OGQYzgxMzUzOGQyMmNm">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1782968438-porca-sextavada-m4-zincada-pacote-com-100-pecas-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=pad&amp;tracking_id=ac7f9e20-895f-4026-aae0-55cd42b96216&amp;is_advertising=true&amp;ad_domain=VQCATCORE_LST&amp;ad_position=1&amp;ad_click_id=NzUzZDRhZGQZTZhMC00NDhiLWE3OGQYzgxMzUzOGQyMmNm</a>   | Aço              |
| Cantoneira Alumínio Para Perfil Estrutural 2020 | N      | 6      | R\$ 1,48          | R\$ 8,86    | <a href="https://pt.aliexpress.com/item/4000190579760.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.30fd26dbiC1kw9&amp;algo_pvid=ba9068d4-1917-4121-adc7-8aa1c777f128-8aa1c777f128&amp;algo_exp_id=ba9068d4-1917-4121-adc7-8aa1c777f128-16&amp;pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2210000000711777300%22%7D&amp;pdp_pi=-1%3B28.84%3B-1%3B-1%40salePrice%3BBRL%3Bsearch-mainSearch">https://pt.aliexpress.com/item/4000190579760.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.30fd26dbiC1kw9&amp;algo_pvid=ba9068d4-1917-4121-adc7-8aa1c777f128-8aa1c777f128&amp;algo_exp_id=ba9068d4-1917-4121-adc7-8aa1c777f128-16&amp;pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2210000000711777300%22%7D&amp;pdp_pi=-1%3B28.84%3B-1%3B-1%40salePrice%3BBRL%3Bsearch-mainSearch</a>   | Alumínio         |
| Parafuso allen (M3 - 10 mm)                     | O      | 4      | R\$ 0,46          | R\$ 1,84    | Comércio local  | Aço              |
| Perfil 2020 (280 mm)                            | P      | 1      | R\$ 16,00         | R\$ 11,20   | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1902658947-perfil-estrutural-aluminio-v-slot-20x20-openbuilds-cnc-3d-1m-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=8127f63b-0dfb-40f3-8e99-babba4017d72">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1902658947-perfil-estrutural-aluminio-v-slot-20x20-openbuilds-cnc-3d-1m-_JM#position=1&amp;search_layout=stack&amp;type=item&amp;tracking_id=8127f63b-0dfb-40f3-8e99-babba4017d72</a>   | Alumínio         |
| Peça de madeira (215 - 220 mm)                  | Q      | 2      |                   | R\$ 0,00    | Material descartado   | Madeira          |
| Vara roscada (M8 - 300 mm)                      | R      | 2      | R\$ 12,92         | R\$ 25,84   | Comércio local  | Aço              |
| Travador de plugue Rj45 (15 g)                  | S      | 1      | R\$ 1,94          | R\$ 1,94    | Comércio local  | PLA              |

## Apêndice L – Lista de materiais da parte elétrica da máquina

| Descrição de uso   | Nome  | Número | Custo por unidade | Custo total | Local de aquisição dos materiais  |
|--|---|--------|-------------------|-------------|---|
| Responsável por ligar a placa de circuito ao módulo tacômetro, código AH do sistema extrusor. Nele não foi utilizado conector RJ45, as fiações foram ligadas como referenciados nos respectivos datasheets.  | Cabo CAT6 A (250mm)                           | 1      | RS 0,09           | RS 0,09     | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2152190517-cabo-de-rede-furukawa-cat6-cmx-cx-305m-azul-utp-sobolus-JM?mt=31508429&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=14303413595&amp;match_ad_group_id=125984286637&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539354956068&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=191699217&amp;match_product_id=MLB2152190517&amp;match_pr oduct_partition_id=1457960502647&amp;match_target_id=pla-1457960502647&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH3X: BmLgIXkgEM1_1stI60ORDi8wX1HJRwU3SviW96S3udZQC67xoCM_cQAvD_BwE">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2152190517-cabo-de-rede-furukawa-cat6-cmx-cx-305m-azul-utp-sobolus-JM?mt=31508429&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=14303413595&amp;match_ad_group_id=125984286637&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539354956068&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=191699217&amp;match_product_id=MLB2152190517&amp;match_pr oduct_partition_id=1457960502647&amp;match_target_id=pla-1457960502647&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH3X: BmLgIXkgEM1_1stI60ORDi8wX1HJRwU3SviW96S3udZQC67xoCM_cQAvD_BwE</a>                           |
| Responsável enviar informações e potência ao paquímetro, código H do sistema puxador. Ele ligar a placa ao plugue fêmea RJ45, por meio de um plugue RJ45 macho, localizado no cabo. O plugue fêmea está localizado na peça, código J, do sistema puxador.  | Cabo CAT6 B (950mm)                           | 1      | RS 0,35           | RS 0,35     | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2152190517-cabo-de-rede-furukawa-cat6-cmx-cx-305m-azul-utp-sobolus-JM?mt=31508429&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=14303413595&amp;match_ad_group_id=125984286637&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539354956068&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=191699217&amp;match_product_id=MLB2152190517&amp;match_pr oduct_partition_id=1457960502647&amp;match_target_id=pla-1457960502647&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH3X: BmLgIXkgEM1_1stI60ORDi8wX1HJRwU3SviW96S3udZQC67xoCM_cQAvD_BwE">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2152190517-cabo-de-rede-furukawa-cat6-cmx-cx-305m-azul-utp-sobolus-JM?mt=31508429&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=14303413595&amp;match_ad_group_id=125984286637&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539354956068&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=191699217&amp;match_product_id=MLB2152190517&amp;match_pr oduct_partition_id=1457960502647&amp;match_target_id=pla-1457960502647&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH3X: BmLgIXkgEM1_1stI60ORDi8wX1HJRwU3SviW96S3udZQC67xoCM_cQAvD_BwE</a>                           |
| Responsável enviar informações e potência ao motor puxador, código A do sistema puxador. Ele ligar a placa ao plugue fêmea RJ45, por meio de um plugue RJ45 macho, localizado no cabo. O plugue fêmea está localizado na peça, código J, do sistema puxador.   | Cabo CAT6 C (950mm)                           | 1      | RS 0,35           | RS 0,35     | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2152190517-cabo-de-rede-furukawa-cat6-cmx-cx-305m-azul-utp-sobolus-JM?mt=31508429&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=14303413595&amp;match_ad_group_id=125984286637&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539354956068&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=191699217&amp;match_product_id=MLB2152190517&amp;match_pr oduct_partition_id=1457960502647&amp;match_target_id=pla-1457960502647&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH3X: BmLgIXkgEM1_1stI60ORDi8wX1HJRwU3SviW96S3udZQC67xoCM_cQAvD_BwE">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2152190517-cabo-de-rede-furukawa-cat6-cmx-cx-305m-azul-utp-sobolus-JM?mt=31508429&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=14303413595&amp;match_ad_group_id=125984286637&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539354956068&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=191699217&amp;match_product_id=MLB2152190517&amp;match_pr oduct_partition_id=1457960502647&amp;match_target_id=pla-1457960502647&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH3X: BmLgIXkgEM1_1stI60ORDi8wX1HJRwU3SviW96S3udZQC67xoCM_cQAvD_BwE</a>                           |
| Conecta o paquímetro, código H do sistema puxador ao plugue fêmea rj45, fixado na peça código J do sistema puxador. Este cabo se conecta ao plugue fêmea por meio de um plugue rj45 em uma das extremidades do cabo, a outra extremidade está ligada ao paquímetro.  | Cabo CAT6 D (120mm)                           | 1      | RS 0,04           | RS 0,04     | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2152190517-cabo-de-rede-furukawa-cat6-cmx-cx-305m-azul-utp-sobolus-JM?mt=31508429&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=14303413595&amp;match_ad_group_id=125984286637&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539354956068&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=191699217&amp;match_product_id=MLB2152190517&amp;match_pr oduct_partition_id=1457960502647&amp;match_target_id=pla-1457960502647&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH3X: BmLgIXkgEM1_1stI60ORDi8wX1HJRwU3SviW96S3udZQC67xoCM_cQAvD_BwE">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2152190517-cabo-de-rede-furukawa-cat6-cmx-cx-305m-azul-utp-sobolus-JM?mt=31508429&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=14303413595&amp;match_ad_group_id=125984286637&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539354956068&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=191699217&amp;match_product_id=MLB2152190517&amp;match_pr oduct_partition_id=1457960502647&amp;match_target_id=pla-1457960502647&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH3X: BmLgIXkgEM1_1stI60ORDi8wX1HJRwU3SviW96S3udZQC67xoCM_cQAvD_BwE</a>                           |
| Conecta o motor, código A do sistema puxador ao plugue fêmea rj45, fixado na peça código J do sistema puxador. Este cabo se conecta ao plugue fêmea por meio de um plugue rj45 em uma das extremidades do cabo, a outra extremidade está ligada ao motor.  | Cabo CAT6 E (100mm)                           | 1      | RS 0,04           | RS 0,04     | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2152190517-cabo-de-rede-furukawa-cat6-cmx-cx-305m-azul-utp-sobolus-JM?mt=31508429&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=14303413595&amp;match_ad_group_id=125984286637&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539354956068&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=191699217&amp;match_product_id=MLB2152190517&amp;match_pr oduct_partition_id=1457960502647&amp;match_target_id=pla-1457960502647&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH3X: BmLgIXkgEM1_1stI60ORDi8wX1HJRwU3SviW96S3udZQC67xoCM_cQAvD_BwE">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2152190517-cabo-de-rede-furukawa-cat6-cmx-cx-305m-azul-utp-sobolus-JM?mt=31508429&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=14303413595&amp;match_ad_group_id=125984286637&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539354956068&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=191699217&amp;match_product_id=MLB2152190517&amp;match_pr oduct_partition_id=1457960502647&amp;match_target_id=pla-1457960502647&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH3X: BmLgIXkgEM1_1stI60ORDi8wX1HJRwU3SviW96S3udZQC67xoCM_cQAvD_BwE</a>                           |
| Responsável por enviar informação de sentido e velocidade ao motor bobinador, código B do sistema bobinador, Figura (X). Ele é conectado a placa da máquina por um chicote de cabo CAT6, e conectores RJ45. Sendo que o chicote é plugado a um plugue fêmea, localizado na peça com código R, também do sistema bobinador. | Cabo CAT6 F (1250mm)                          | 1      | RS 0,46           | RS 0,46     | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2152190517-cabo-de-rede-furukawa-cat6-cmx-cx-305m-azul-utp-sobolus-JM?mt=31508429&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=14303413595&amp;match_ad_group_id=125984286637&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539354956068&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=191699217&amp;match_product_id=MLB2152190517&amp;match_pr oduct_partition_id=1457960502647&amp;match_target_id=pla-1457960502647&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH3X: BmLgIXkgEM1_1stI60ORDi8wX1HJRwU3SviW96S3udZQC67xoCM_cQAvD_BwE">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2152190517-cabo-de-rede-furukawa-cat6-cmx-cx-305m-azul-utp-sobolus-JM?mt=31508429&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=14303413595&amp;match_ad_group_id=125984286637&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539354956068&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=191699217&amp;match_product_id=MLB2152190517&amp;match_pr oduct_partition_id=1457960502647&amp;match_target_id=pla-1457960502647&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH3X: BmLgIXkgEM1_1stI60ORDi8wX1HJRwU3SviW96S3udZQC67xoCM_cQAvD_BwE</a>                           |
| Conecta o motor, código B do sistema puxador ao plugue fêmea rj45, fixado na peça código R do sistema bobinador. Este cabo se conecta ao plugue fêmea por meio de um plugue rj45 em uma das extremidades do cabo, a outra extremidade está ligada ao motor.  | Cabo CAT6 G 1                                 | 1      | RS 1,30           | RS 1,30     | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2152190517-cabo-de-rede-furukawa-cat6-cmx-cx-305m-azul-utp-sobolus-JM?mt=31508429&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=14303413595&amp;match_ad_group_id=125984286637&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539354956068&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=191699217&amp;match_product_id=MLB2152190517&amp;match_pr oduct_partition_id=1457960502647&amp;match_target_id=pla-1457960502647&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH3X: BmLgIXkgEM1_1stI60ORDi8wX1HJRwU3SviW96S3udZQC67xoCM_cQAvD_BwE">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2152190517-cabo-de-rede-furukawa-cat6-cmx-cx-305m-azul-utp-sobolus-JM?mt=31508429&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=14303413595&amp;match_ad_group_id=125984286637&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539354956068&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=191699217&amp;match_product_id=MLB2152190517&amp;match_pr oduct_partition_id=1457960502647&amp;match_target_id=pla-1457960502647&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH3X: BmLgIXkgEM1_1stI60ORDi8wX1HJRwU3SviW96S3udZQC67xoCM_cQAvD_BwE</a>                           |
| Todos já explicados nas abas anteriores  | Plugue RJ45                                   | 6      | RS 0,50           | RS 3,00     | Comércio local<br><a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1963411876-fonte-chaveada-50a-12v-600w-bivolt-som-cameras-cftv-fita-led-JM?mt=56291529&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=14303413604&amp;match_ad_group_id=125984287157&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539354956218&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=465715779&amp;match_product_id=MLB1963411876&amp;match_pr oduct_partition_id=1404886571258&amp;match_target_id=pla-1404886571258&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH1MT0qanAHikN2W8vcPvXXSf6l84GPp: HO6l6ngFEco3ULqCk2xoC_F0QAvD_BwE">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1963411876-fonte-chaveada-50a-12v-600w-bivolt-som-cameras-cftv-fita-led-JM?mt=56291529&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=14303413604&amp;match_ad_group_id=125984287157&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539354956218&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=465715779&amp;match_product_id=MLB1963411876&amp;match_pr oduct_partition_id=1404886571258&amp;match_target_id=pla-1404886571258&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH1MT0qanAHikN2W8vcPvXXSf6l84GPp: HO6l6ngFEco3ULqCk2xoC_F0QAvD_BwE</a> |
|  | Fonte chaveada 12V 50A                        | 1      | RS 78,99          | RS 78,99    | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2061835068-chave-seletoira-metaltex-n20scr3-b-1a-JM?mt=73118705&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=1430221555&amp;match_ad_group_id=134553706708&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539425529639&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=151764940&amp;match_product_id=MLB2061835068&amp;match_pr oduct_partition_id=1408932717052&amp;match_target_id=pla-1408932717052&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH1eh_ufEXOD7m4WksAvwbF6THI4VvXdsIZtUSV09 evdqOv9rwhCdw4QAvD_BwE">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2061835068-chave-seletoira-metaltex-n20scr3-b-1a-JM?mt=73118705&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=1430221555&amp;match_ad_group_id=134553706708&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539425529639&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=151764940&amp;match_product_id=MLB2061835068&amp;match_pr oduct_partition_id=1408932717052&amp;match_target_id=pla-1408932717052&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH1eh_ufEXOD7m4WksAvwbF6THI4VvXdsIZtUSV09 evdqOv9rwhCdw4QAvD_BwE</a>   |
|  | Chave seletora de duas posições               | 1      | RS 26,93          | RS 26,93    | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-897091772-boto-de-emergencia-vermelho-c-trava-1nf-m20akr-r-1b-JM?mt=71406470&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=1430221557&amp;match_ad_group_id=134553711588&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539425529659&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=379848079&amp;match_product_id=MLB897091772&amp;match_pr oduct_partition_id=1405369324943&amp;match_target_id=pla-1405369324943&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH: KzPcvYW_pc56q9wGHEPmDrBwOIAmS4DlNMwoAUOnTdcvnrTDFxoC1U0QAvD_BwE">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-897091772-boto-de-emergencia-vermelho-c-trava-1nf-m20akr-r-1b-JM?mt=71406470&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=1430221557&amp;match_ad_group_id=134553711588&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539425529659&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=379848079&amp;match_product_id=MLB897091772&amp;match_pr oduct_partition_id=1405369324943&amp;match_target_id=pla-1405369324943&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UH: KzPcvYW_pc56q9wGHEPmDrBwOIAmS4DlNMwoAUOnTdcvnrTDFxoC1U0QAvD_BwE</a>   |
|  | Disjuntor bifásico de 10A                     | 1      | RS 28,19          | RS 28,19    | <a href="https://www.magazineleza.com.br/botao-de-emergencia-tramontina-trp-2-bs542-1nf-base-de-metal/p/gdckecq60d/cj/boip/?&amp;seller_id=lsdpditalcommerce">https://www.magazineleza.com.br/botao-de-emergencia-tramontina-trp-2-bs542-1nf-base-de-metal/p/gdckecq60d/cj/boip/?&amp;seller_id=lsdpditalcommerce</a>   |
| Os três foram montados por interferência, dois na peça código J do sistema puxador e, na peça R do sistema bobinador.  | Adaptador fêmea rj45                          | 3      | RS 46,04          | RS 138,12   | <a href="https://www.dualshop.com.br/conector-rj45-ip65-femea-180-p-painel-tipo-c">https://www.dualshop.com.br/conector-rj45-ip65-femea-180-p-painel-tipo-c</a>   |
| Ligam os dois circuitos de resistores, código M do sistema extrusor, a placa de circuito.  | Fio de silicone para alta temperatura (2.5mm) | 4      |                   |             |   |
|  | Termopar tipo K                               | 3      | RS 22,84          | RS 68,52    | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1942276404-sensor-termopar-tipo-k-50-400c-eza-tp-01-JM?mt=56291529&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=14303413604&amp;match_ad_group_id=125984287157&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539354956218&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=243788758&amp;match_product_id=MLB1942276404&amp;match_pr oduct_partition_id=1404886571258&amp;match_target_id=pla-1404886571258&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UHqvwVnY5BFAa5xAsYbAsC00V1YnYjYkVZaU5SelI999jt xoYipWOrBoCj0QAvD_BwE">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1942276404-sensor-termopar-tipo-k-50-400c-eza-tp-01-JM?mt=56291529&amp;match_word=&amp;match_source=google&amp;match_campaign=14303413604&amp;match_ad_group_id=125984287157&amp;match_match_type=&amp;match_network=g&amp;match_device=c&amp;match_creative=539354956218&amp;match_keyword=&amp;match_ad_position=&amp;match_ad_type=pla&amp;match_merchant_id=243788758&amp;match_product_id=MLB1942276404&amp;match_pr oduct_partition_id=1404886571258&amp;match_target_id=pla-1404886571258&amp;gclid=CjwKCAiApfeOBhAUeIwA7K_UHqvwVnY5BFAa5xAsYbAsC00V1YnYjYkVZaU5SelI999jt xoYipWOrBoCj0QAvD_BwE</a>   |
| Caixa de pvc, localizada na parte lateral, oposta ao processo de extrusão. Nela é posicionado a fonte, o disjuntor e a entrada AC da rede.   | Caixa de potência                             | 1      | RS 98,76          | RS 98,76    | <a href="https://www.extra.com.br/caixa-de-passagem-embutir-cp-20-240x240mm-branca-plastico-pvc-ip-40-tigre/p/1501427530">https://www.extra.com.br/caixa-de-passagem-embutir-cp-20-240x240mm-branca-plastico-pvc-ip-40-tigre/p/1501427530</a>   |
| Caixa localizada na parte frontal da máquina.  | Caixa de controle                             | 1      | RS 98,76          | RS 98,76    | <a href="https://www.extra.com.br/caixa-de-passagem-embutir-cp-20-240x240mm-branca-plastico-pvc-ip-40-tigre/p/1501427530">https://www.extra.com.br/caixa-de-passagem-embutir-cp-20-240x240mm-branca-plastico-pvc-ip-40-tigre/p/1501427530</a>   |

## Apêndice M – Lista de materiais do circuito integrado

| Nome  | Número | Custo por unidade | Custo total | Local de aquisição dos materiais  |
|---|--------|-------------------|-------------|---|
| Arduino Mega 2560                                     | 1      | R\$ 125,55        | R\$ 125,55  | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/arduino-mega-2560-compativel-cabo-usb.html?gclid=EAlaQobChMI052TusOg9glVDBKRCh1B5QVoEAAAYASAAEgLO-ID_BwE">https://www.baudaeletronica.com.br/arduino-mega-2560-compativel-cabo-usb.html?gclid=EAlaQobChMI052TusOg9glVDBKRCh1B5QVoEAAAYASAAEgLO-ID_BwE</a>   |
| Resistor axial, 1KOhm, +/- 5%, 0.25W                  | 2      | R\$ 0,06          | R\$ 0,12    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/resistor-1k-5-1-4w.html">https://www.baudaeletronica.com.br/resistor-1k-5-1-4w.html</a>   |
| Resistor axial, 10KOhm, +/- 5%, 0.25W                 | 12     | R\$ 0,06          | R\$ 0,72    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/resistor-10k-5-1-4w.html">https://www.baudaeletronica.com.br/resistor-10k-5-1-4w.html</a>   |
| Resistor axial, 100KOhm, +/- 5%, 0.25W                | 1      | R\$ 0,06          | R\$ 0,06    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/resistor-100k-5-1-4w.html">https://www.baudaeletronica.com.br/resistor-100k-5-1-4w.html</a>   |
| Resistor axial, 100KOhm, +/- 1%, 0.25 W               | 1      | R\$ 0,06          | R\$ 0,06    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/resistor-100k-5-1-4w.html">https://www.baudaeletronica.com.br/resistor-100k-5-1-4w.html</a>   |
| Resistor Axial, 100Ohm, +/- 1%, 0.25 W                | 2      | R\$ 0,06          | R\$ 0,12    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/resistor-100k-5-1-4w.html">https://www.baudaeletronica.com.br/resistor-100k-5-1-4w.html</a>   |
| Módulo de sensor de corrente ACS712 IC                | 2      | R\$ 28,30         | R\$ 56,60   | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/sensor-de-corrente-acs712-30a-a-30a.html">https://www.baudaeletronica.com.br/sensor-de-corrente-acs712-30a-a-30a.html</a>   |
| LED 5mm   | 1      | R\$ 0,19          | R\$ 0,19    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/led-difuso-5mm-vermelho.html">https://www.baudaeletronica.com.br/led-difuso-5mm-vermelho.html</a>   |
| Módulo termopar MAX6675 IC                            | 6      | R\$ 51,99         | R\$ 311,94  | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/modulo-sensor-de-temperatura-max6675-termopar-tipo-k.html">https://www.baudaeletronica.com.br/modulo-sensor-de-temperatura-max6675-termopar-tipo-k.html</a>   |
| Regulador de tensão AMS1117 IC                        | 1      | R\$ 1,68          | R\$ 1,68    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/regulador-de-tens-o-1-8v-ams1117-smd.html">https://www.baudaeletronica.com.br/regulador-de-tens-o-1-8v-ams1117-smd.html</a>   |
| Ponte H VNH2SP30                                      | 1      | R\$ 65,00         | R\$ 65,00   | <a href="https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1038624798-ponte-h-30a-ampere-arduino-monster-vnh2sp30-JM?matt_tool=56291529&amp;matt_word=&amp;matt_source=google&amp;matt_campaign_id=14303413604&amp;matt_ad_group_id=125984287157&amp;matt_match_type=&amp;matt_network=&amp;matt_device=c&amp;matt_creative=539354956218&amp;matt_keyword=&amp;matt_ad_position=&amp;matt_ad_type=pla&amp;matt_merchant_id=109543422&amp;matt_product_id=MLB1038624798&amp;matt_product_partition_id=1435016894331&amp;matt_target_id=aud-1414365823100:pla-1435016894331&amp;gclid=EAlaQobChMI00jw-Mmg9glVUwArCh0iLAjYEAQYASABEgIBx-D_BwE">https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1038624798-ponte-h-30a-ampere-arduino-monster-vnh2sp30-JM?matt_tool=56291529&amp;matt_word=&amp;matt_source=google&amp;matt_campaign_id=14303413604&amp;matt_ad_group_id=125984287157&amp;matt_match_type=&amp;matt_network=&amp;matt_device=c&amp;matt_creative=539354956218&amp;matt_keyword=&amp;matt_ad_position=&amp;matt_ad_type=pla&amp;matt_merchant_id=109543422&amp;matt_product_id=MLB1038624798&amp;matt_product_partition_id=1435016894331&amp;matt_target_id=aud-1414365823100:pla-1435016894331&amp;gclid=EAlaQobChMI00jw-Mmg9glVUwArCh0iLAjYEAQYASABEgIBx-D_BwE</a> |
| Trimpot linear, 10KOhm, 300 V, -55 to 125 °C, 3-Pin   | 1      | R\$ 1,73          | R\$ 1,73    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/trimpot-linear-horizontal-de-10k-10000.html">https://www.baudaeletronica.com.br/trimpot-linear-horizontal-de-10k-10000.html</a>   |
| Motor de passo nema 17                                | 2      | R\$ 15,72         | R\$ 31,44   | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/driver-de-motor-de-passo-a4988.html">https://www.baudaeletronica.com.br/driver-de-motor-de-passo-a4988.html</a>   |
| Controlador A4988 IC                                  | 2      | R\$ 0,23          | R\$ 0,46    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/capacitor-eletrolitico-100uf-35v.html">https://www.baudaeletronica.com.br/capacitor-eletrolitico-100uf-35v.html</a>   |
| Capacitor Eletrolítico, 100µF, 35V, +/- 20%, SMD      | 5      | R\$ 0,65          | R\$ 3,25    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/capacitor-eletrolitico-smd-10uf-35v.html">https://www.baudaeletronica.com.br/capacitor-eletrolitico-smd-10uf-35v.html</a>   |
| Capacitor Eletrolítico, 10µF, 35V, +/- 20%, SMD       | 1      | R\$ 1,67          | R\$ 1,67    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/amplificador-operacional-lm741.html">https://www.baudaeletronica.com.br/amplificador-operacional-lm741.html</a>   |
| Amplificador operacional LM741 IC 8-PDIP              | 2      | R\$ 0,19          | R\$ 0,38    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/transistor-pnp-2n3906.html">https://www.baudaeletronica.com.br/transistor-pnp-2n3906.html</a>   |
| Transistor PNP 2N3906 IC TO-92                        | 4      | R\$ 0,13          | R\$ 0,52    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/capacitor-ceramico-100nf-50v.html">https://www.baudaeletronica.com.br/capacitor-ceramico-100nf-50v.html</a>   |
| Capacitor cerâmico 100nF, 50V, +/-10%                 | 1      | R\$ 1,66          | R\$ 1,66    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/capacitor-tantalo-0-22uf-35v.html">https://www.baudaeletronica.com.br/capacitor-tantalo-0-22uf-35v.html</a>   |
| Capacitor de Tântalo 20nF, 35V                        | 2      | R\$ 0,08          | R\$ 0,16    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/capacitor-ceramico-10nf-50v.html">https://www.baudaeletronica.com.br/capacitor-ceramico-10nf-50v.html</a>   |
| Capacitor cerâmico 10nF, 50V, +/-10%                  | 1      | R\$ 1,08          | R\$ 1,08    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/circuito-integrado-lm555.html">https://www.baudaeletronica.com.br/circuito-integrado-lm555.html</a>   |
| Single Timer LM555 IC, 8-Pin PDIP                     | 2      | R\$ 6,23          | R\$ 12,46   | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/transistor-irf3205-mosfet.html">https://www.baudaeletronica.com.br/transistor-irf3205-mosfet.html</a>   |
| MOSFET IRF3205, 55V, 110A                             | 2      | R\$ 0,09          | R\$ 0,18    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/diodo-1n4148.html">https://www.baudaeletronica.com.br/diodo-1n4148.html</a>   |
| Diodo 1N4148, 75V, 0.3A, DO-35                        | 15     | R\$ 0,74          | R\$ 11,10   | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/borne-2-polos-kf-301-2t.html">https://www.baudaeletronica.com.br/borne-2-polos-kf-301-2t.html</a>   |
| Terminal azul, 2, 300 V, 10 A, 26 AWG, 16 AWG, 1.5mm  | 2      | R\$ 1,12          | R\$ 2,24    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/mini-borne-kre2-kf301-10x10mm-preto.html">https://www.baudaeletronica.com.br/mini-borne-kre2-kf301-10x10mm-preto.html</a>   |
| Terminal preto, 2, 300 V, 16 A, 26 AWG, 16 AWG, 1.5mm | 4      | R\$ 0,28          | R\$ 1,12    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/transistor-npn-2n3904.html">https://www.baudaeletronica.com.br/transistor-npn-2n3904.html</a>   |
| Transistor 2N3904, 40V                                | 1      | R\$ 1,58          | R\$ 1,58    | <a href="https://www.baudaeletronica.com.br/regulador-de-tensao-17805.html">https://www.baudaeletronica.com.br/regulador-de-tensao-17805.html</a>   |
|   | 5      | R\$ 29,35         | R\$ 146,75  | <a href="https://jlcpcb.com/">https://jlcpcb.com/</a>   |