



ESTUDO DO DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE EXTRUSÃO DE FILAMENTO PARA IMPRESSÃO 3D A PARTIR DE PET RECICLÁVEIS

STUDY OF THE DEVELOPMENT OF FILAMENT EXTRUSION DEVICE FOR 3D PRINTING FROM RECYCLABLE PET

Simoni Maria Gheno^I
Renan Marques Dos Santos^{II}
Thiago Felix Rosa^{III}
Victor da Silva Mello^{IV}
Vinícius da Silva Mello^V

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo desenvolver o projeto da construção de uma extrusora para filamentos, os quais são utilizados em impressoras 3D e adquiridos através do processo de reciclagem de garrafas PET. Levando em consideração todas as características fundamentais almejadas em filamentos comerciais e colocando como prova a comparação com as propriedades possíveis que podem ser obtidas através do uso da garrafa PET, estuda-se a possibilidade de fazer o uso deste material para manufaturar a produção de filamentos, de maneira particularizada. Os maiores desafios a serem superados são as inúmeras dificuldades na obtenção dos grânulos, a estabilidade na extrusão, as propriedades mecânicas variáveis e o seu armazenamento de maneira eficiente. Em contraponto, equipamentos, novas funções e incontáveis testes serão agregados ao projeto, visando aperfeiçoar sua funcionalidade.

Palavras-chave: extrusora; filamento; pet; reciclagem

ABSTRACT

The present study aims to develop the project for the construction of an extruder for filaments, which are used in 3D printers and acquired through the PET bottle recycling process. Considering all the fundamental characteristics desired in commercial filaments and putting as proof the comparison with the possible properties that can be obtained using PET bottles, the possibility of using this material to manufacture filament production is studied, in a particular way. The biggest challenges to be overcome are the numerous difficulties in obtaining the granules, stability during extrusion, variable mechanical properties, and their efficient storage.

^I Profa. Pós-Dra. da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – São Paulo – Brasil e Profa. Pós-Dra. da Universidade Paulista (UNIP) – Ribeirão Preto – São Paulo – Brasil. E-mail: simoni.gheno@cps.sp.gov.br

^{II} Estudante do curso de Engenharia Mecânica da UNIP Ribeirão Preto – Ribeirão Preto – São Paulo – Brasil. E-mail: renan.santos50@aluno.unip.br

^{III} Estudante do curso de Engenharia Mecânica da UNIP Ribeirão Preto – Ribeirão Preto – São Paulo – Brasil. E-mail: thiagorosafelix@gmail.com

^{IV} Estudante do curso de Engenharia Mecânica da UNIP Ribeirão Preto – Ribeirão Preto – São Paulo – Brasil. E-mail: victormello822@gmail.com

^V Estudante do curso de Engenharia Mecânica da UNIP Ribeirão Preto – Ribeirão Preto – São Paulo – Brasil. E-mail: viniciusmello221@gmail.com



In contrast, equipment, new functions and countless tests will be added to the project, aiming to improve its functionality.

Keywords: extruder; filament; pet; recycling

Data de submissão do artigo: 01/08/2024.

Data de aprovação do artigo: 23/10/2024.

DOI: 10.33635/sitefa.v7i1.314

1 INTRODUÇÃO

Sustentabilidade é o uso consciente de recursos naturais sem causar danos ao bem-estar das gerações futuras, e vale lembrar também que a sustentabilidade consiste em ter ideias complexas e coerentes, que inclui preocupações com a igualdade, justiça social e combate aos impactos ambientais.

A importância da sustentabilidade é multifacetada e abrange dimensões essenciais para a nossa sobrevivência. Diante do crescimento populacional, é vital que sejam preservados os recursos naturais ao longo do tempo, para que se reduzam as emissões de gases poluentes, ponto crucial para enfrentar mudanças climáticas e garantir a qualidade do ar e biodiversidades.

Existem três pilares da sustentabilidade, o primeiro trata-se do social e refere-se ao capital humano com a sociedade de maneira geral, onde desenvolver ações socialmente sustentáveis vai além de dar férias e benefícios aos funcionários. Deve-se proporcionar relações de trabalhos legítimas e saudáveis além de favorecer o desenvolvimento pessoal e coletivo. O segundo pilar é o econômico e para que uma empresa seja economicamente sustentável, ela deva ser capaz de consumir, produzir, distribuir e oferecer seus produtos de maneira justa com os demais concorrentes. O terceiro pilar aborda a questão ambiental, e deve se valorizar os recursos naturais em primeiro lugar, minimizando o máximo de danos ambientais que podem ser causados pelas produções industriais.

Em 1865, o americano De Wolf (técnico da empresa Kerite Company) criou uma extrusora de parafuso para produção de revestimentos de condutores que seriam utilizados nas linhas de telegrafo e desde então este processo aprimorou-se tornando as extrusoras aperfeiçoadas e os equipamentos mais sofisticados, permitindo obter altos níveis de produtividade e produtos com qualidade. Atualmente o processo de extrusão é muito utilizado nas indústrias de borracha com várias finalidades explorando o fato de ser uma operação contínua. Devido a isso outras áreas também estão iniciando a utilização desse processo como por exemplo as impressoras 3D.

O objetivo desse estudo é realizar um estudo e o projeto de uma extrusora de filamentos de maneira ecológica, utilizando insumos que serão fabricados a partir de materiais recicláveis, como a garrafa pet, de forma a reduzir custos e preservar o meio ambiente.

2 REVISÃO BILIOGRÁFICA

O primeiro protótipo de extrusora foi produzido em 1797 na Inglaterra. Joseph Bramah desenvolveu uma aplicação manual envolvendo tubos de chumbo sem emenda. Desde então, as extrusoras vêm sofrendo alterações e inovações. Em 1873, em solo alemão foi desenvolvida a primeira extrusora de rosca simples, com objetivo principal de processamento de borrachas.



Séculos depois, em meados de 1935, o alemão Paul Troestar, manufaturou uma extrusora com objetivo centralizado para termoplásticos (Mathias, 2019).

Com o decorrer do tempo surgiram inúmeras possibilidades com o processo de extrusão e em 1950, com a necessidade de se produzir alimentos secos, expandidos e cozidos, esses alimentos passaram a ser pré-condicionados possibilitando que fossem pré-cozidos acima de 100°C, o que fez da tecnologia das extrusoras um grande marco na história industrial, dando início à aplicação em processos com altas e baixas temperaturas, tanto para alimentos quanto para outros materiais) (Aquino, 2022; Heater, 2018; Silva, 2018).

Na década seguinte, em 1960 essas máquinas já apresentavam um grande salto tecnológico, com extrusoras de calor de baixa profundidade autógenas e as extrusoras anulares, com um custo acessível e um funcionamento simples. Como utilização principal, tinham ainda os meios alimentícios, voltando-se para o cozimento de soja ou cereais das fazendas, impactando diretamente no comportamento do meio agrícola (Aquino, 2022; Heater, 2018; Silva, 2018).

Atualmente a impressão 3D tem se tornado uma das principais tecnologias com a capacidade de fabricar protótipos de uma forma rápida e eficaz. Devido a isso, está se tornando mais presente no ambiente da Engenharia Mecânica, indústrias e entre outras aplicações, apresentando função importante na criação de projetos. Esse é passo essencial para a mitigação de erros, melhoria de processos e diminuição de custos (EESCJR, 2022).

Por isso, a introdução de ferramentas tecnológicas no processo de desenvolvimento é muito importante para que possa auxiliar o profissional e, conseqüentemente, melhorar o desafio do processo. A impressão 3D é primordial para o desenvolvimento de projetos com menos erros, diminuindo os custos com retrabalho que podem surgir no processo caso não seja utilizado tal ferramenta (Reyman; Mauro, 2022).

Existem três tipos de tecnologia utilizada na impressão 3D, tais como: Estereolitografia (SLA), Sinterização seletiva a laser (SLS) e Modelagem por fusão e depósito (FDM). Dentre os tipos abordados, a FDM foi a que proporcionou a popularização no âmbito industrial e até acadêmico (Tomra, 2024).

A estereolitografia (SLA) é um método onde a impressão 3D faz utilização de processos fotoquímicos para a impressão, na qual a luz faz com que monômeros e oligômeros químicos se cruzem para a formação de polímeros.

A sinterização seletiva a laser (SLS) é um processo da impressão 3D que é utilizada para a produção de produtos, materiais em pó, como nylon. A produção ocorre através de um laser que faz a solidificação do material, onde tal material permanece em uma plataforma que baixa a camada transformando-se no produto. A espessura de cada camada solidificada pode chegar a variar de 50 a 1050 microns, apresentando uma alta precisão no processo de impressão (TME, 2023).

A modelagem por fusão e depósito (FDM) é um modelo de impressão que se tornou muito popular tanto no ambiente industrial quanto no acadêmico, onde utilizam-se um polímero em forma de filamento. Assim, este é aquecido e colocado sobre a superfície de impressão, resultando na construção da impressão camada por camada. Esse modelo de impressão popularizou-se devido, ao preço acessível e a grande evolução tecnológica do mercado (Ferreira, 2020).

A impressão 3D está se tornando uma solução consolidada no mercado, mas assim como em uma impressora tradicional não pode dispensar o uso de um cartucho ou toner, uma



impressora 3D não funciona sem um filamento e este filamento contém várias propriedades que precisam de uma atenção na escolha do material.

Filamentos para a impressão 3D são materiais termoplásticos que são utilizados para a realização de impressão de objetos 3D através da deposição de material fundido pela impressora. Estão disponíveis em cores e são fabricados de materiais como ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno), PLA (poliácida), PETG (polietileno tereftalato), nylon e muitos outros (Figura 1).

Figura 1 – (a) Filamento ABS; (b) PLA; (c) PETG; (d) PA (Nylon)

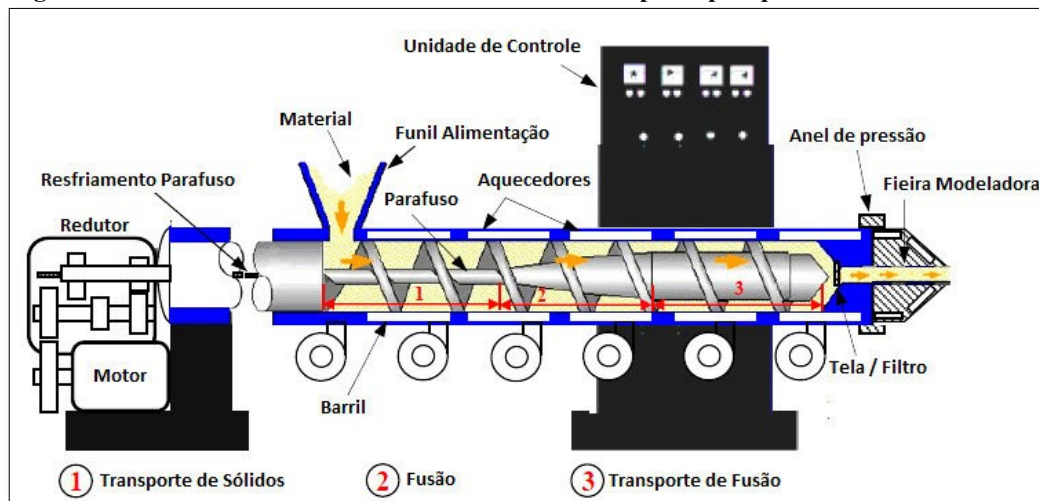


Fonte: TOPINK3D, 2019

O processo para fabricação do filamento de impressões 3D funciona da seguinte forma: o material escolhido para ser extrudado é colocado em um funil ou em um canal de alimentação e em seguida esse funil abastece o parafuso de Arquimedes (rosca sem-fim) no qual em volta do parafuso existem resistências para o aquecimento do material, em seguida ele bombeia o material continuamente já aquecido em temperatura na qual ocorre a deformação plástica. Em seguida, o material é extrudado para a matriz, que seria o "bico" da extrusora, que consiste em uma peça metálica, geralmente de alumínio, onde o material é mantido em uma temperatura elevada para que saia com o formato desejado. Ao sair do "bico" o material é transportado para a bobina onde será depositado (Camargo, 2015; Silva, 2018).

A extrusora é composta por alguns elementos fundamentais como funil, cilindro, termistor e alimentação (Figura 2). O funil tem como função armazenar o material e permitir um fluxo constante do material para o interior da máquina.

Figura 2 – Desenho ilustrativo de uma extrusora e suas principais partes



Fonte: Comenale e Wiltgen (2022)



O cilindro de aquecimento que é produzido com aço especial, o qual é feito para resistir abrasividade e possíveis ataques químicos do material, bem como suportar altas temperaturas durante todo o processo.

Os termopares, que são empregados para a medição da temperatura em cada zona, não ficam em contato direto com o material, portanto o valor lido é uma aproximação da temperatura.

A alimentação é a etapa do processo no qual ocorre o transporte do material para a zona de compressão, dando início à plastificação do material e corresponde aproximadamente 1/3 do comprimento total da rosca.

No processo de dosagem, é importante a homogeneização do material fazendo com que o fluxo seja homogêneo ao chegar no final da extrusora, distribuindo uniformemente no cabeçote.

Embora existam plásticos biodegradáveis, a maioria dos plásticos utilizados na sociedade é o plástico comum porque o plástico biodegradável é mais caro do que o convencional e, por consequência, há muitos resíduos de plástico gerados tanto pelas pessoas quando empresas e indústrias e que são largados sem nenhum cuidado no meio ambiente (Betin, 2023; UNIVASP, 2023).

Os materiais PET (Polietileno Tereftalato) são produzidos em grande quantidade, por sua utilização em embalagens, mas o descarte ainda demanda muitos estudos. A sua alta resistência e a simplicidade de manuseio justificam sua utilização ampla. Com relação a isso, a impressão em 3D pode ser uma solução viável para o descarte excessivo de PET, uma vez que já foram produzidos filamentos para impressoras 3D a partir de garrafas de polietileno tereftalato (Aquino, 2022).

Existem quatro maneiras de reciclar o plástico, mas o PET é reciclado de duas maneiras distintas, a reciclagem primária e a reciclagem secundária. A primária é a reciclagem mecânica, e a secundária é a reciclagem física. A diferença entre elas é que a primária é usada para reciclar polímeros pós-industriais, enquanto a secundária é usada para reciclar polímeros pós-consumo.

Atualmente, é viável contar com recursos eficientes, como dispositivos de alta precisão, para auxiliar na separação de materiais recicláveis. Como os sensores de alta resolução que podem funcionar a uma resolução de até 320.000 pontos de leitura por segundo. Isso implica que os objetos menores não são notados pela inspeção e que os objetos maiores podem ser lidos com precisão superior à anterior.

Os projetos atuais demandam de preocupações ambientais. A reciclagem mecânica transforma os plásticos (sobras industriais, sobras virgens do processo produtivo e os descartados pós consumos de materiais recuperados do lixo por meio de coleta seletiva) em pequenos grânulos que são utilizados para a produção de novos materiais, como pisos, mangueiras, sacos de lixo, peças de automóveis, entre outros.

A reciclagem energética utiliza os resíduos que já não podem mais ser reutilizados em energia térmica ou elétrica, sendo esse processo feito através da combustão e esses resíduos acabam se tornando substitutos do óleo diesel e óleo combustível, o que proporciona a diminuição da exploração de combustível fóssil. A reciclagem energética tem grandes vantagens, podem ser criadas instalações urbanas que possibilitam reduzir gastos logísticos, não é necessário tratamento dos materiais antes do processo da queima, o que também pode ser um método de higienização, pois elimina agentes biológicos nocivos à saúde. O processo de reciclagem energética tem suas desvantagens, é o processo mais caro, portanto, deve ser utilizado quando os outros tipos de reciclagem não forem viáveis Além disso, é necessário criar



estruturas logísticas que aceleram a coleta e o transporte dos resíduos plásticos (Betim, 2023; Camargo, 2015; Tomra, 2024).

3 MATERIAIS UTILIZADOS

A relação dos materiais a serem empregados na execução deste projeto desempenham um papel fundamental na garantia da eficácia e sucesso de nossas atividades e são os seguintes: bloco de alumínio, resistência aquecedora, termistor, cooler, controlador de temperatura, controlador PWM, fonte chaveada Bivolt-12v, motor elétrico, bico extrusora, relé estado sólido e bobina para filamentos.

3.1 Descritivo da metodologia

A Figura 3 mostra o diagrama de linha do tempo sobre o processo de construção da máquina extrusora, envolvendo todas as etapas para o progresso do projeto. Nesse momento o projeto se encontra na 3ª etapa que é a fabricação e montagem.

Figura 3 – Diagrama de linha do tempo do projeto



Fonte: os autores (2024)

3.2 Desenvolvimento das etapas do projeto (metodologia da pesquisa)

As subseções a seguir apresentarão o Desenvolvimento das Etapas do Projeto (metodologia da pesquisa).

3.2.1 Sistemas de acionamento

O motor selecionado para o protótipo foi um motor de limpador de para-brisa universal, contendo duas velocidades, devido ao seu custo-benefício e suas especificações: 12 V, 120 rpm, 30W e 2,5A

O regulador PWM é um dispositivo que realiza a conversão de sinais digitais em sinais analógicos por meio de contadores de alta resolução. Essencialmente, ele é responsável por modular uma onda quadrada para atender a diferentes níveis de sinal analógico conforme



necessário. O modelo escolhido para o projeto tem a tensão de alimentação de 12 V e a opção de velocidade reversível.

3.2.2 Sistema de mobilidade do material

Os carretéis representam uma peça fundamental em uma variedade de contextos, desde atividades recreativas até aplicações industriais. Utilizados para a organização e armazenamento de materiais diversos, como fios, cabos e linhas, esses dispositivos desempenham um papel essencial na otimização dos processos.

Olhando para o projeto, os carretéis desempenham um papel crucial no andamento da extrusão, promovendo o fluxo constante do material durante todo o processo.

3.2.3 Sistema de aquecimento

Na produção do filamento, a matriz desempenha um papel crucial ao definir sua forma final. Feita de alumínio devido às suas propriedades de condução térmica, a matriz é composta por três partes distintas. Uma delas é o suporte dos cartuchos aquecedores cerâmicos, sendo responsável por abrigá-los e manter a temperatura uniforme durante o processo. Em sequência um local dedicado ao termistor, trabalhando como o principal sensor de temperatura do sistema, e por fim o bico de extrusão, que dá ao filamento sua forma circular e garante o diâmetro padrão de 1,75mm, amplamente utilizado atualmente.

Os cartuchos da marca SNS3D foram selecionados com base em suas especificações técnicas: eles possuem uma potência de 40W, com dimensões de diâmetro de 6 mm e 20 mm de comprimento. Além disso, operam em uma voltagem de 12V.

O relé de estado sólido, conhecido como SSR (Solid State Relay), é um dispositivo semicondutor que tem a capacidade de realizar alterações instantâneas em um ou mais circuitos elétricos. Sua função primordial é abrir ou fechar um contato em resposta a um sinal de entrada. A ativação ou desativação do SSR ocorre de acordo com o sinal recebido do controlador. O modelo escolhido para esse fim foi o FOTEK SSR-25DA com capacidade de resistência de 25 amperes e tensão máxima de saída de 380V.

O termistor foi escolhido como o sensor de temperatura principal para o sistema, principalmente devido ao seu custo relativamente baixo e à sua ampla faixa de medição. Este dispositivo consiste em dois metais diferentes unidos em uma de suas extremidades. O modelo selecionado foi o NTC 100K com design removível e de fácil instalação.

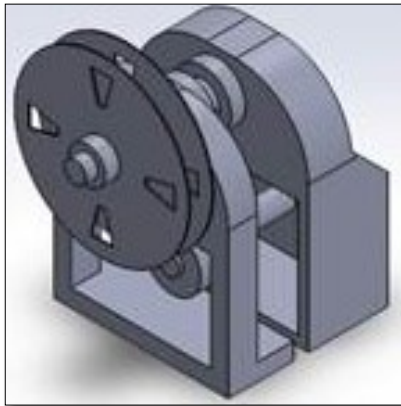
Para manter a temperatura da extrusora estável, utilizamos o controlador PID, abreviação de Proportional-Integral-Derivative em inglês. Esse controlador funciona calculando constantemente a diferença entre a temperatura desejada e a temperatura medida na extrusora. O modelo REX C-100 trabalha com termopares do tipo K, possui precisão de $\pm 0,5\%$ na leitura da temperatura, com resolução de 14bits e faixa de temperatura variando entre 0 a 1300 °C.

No processo de resfriamento foi usado um cooler que desempenha o papel crucial de resfriar a área após o bico de saída, utilizando o fluxo de ar gerado para promover uma convecção forçada, com as dimensões de 90x90 mm e tensão de alimentação de 12 V.

3.2.4 Sistema de armazenamento

Bobinadores são dispositivos projetados para enrolar os fios extrudados em bobinas apropriadas, ajustando-se conforme as exigências de produção da extrusora. O modelo em desenvolvimento por essa equipe está apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Desenho 3D do bobinador projetado



Fonte: Os autores (2024)

3.2.5 Sistema de alimentação

Dentro da complexa engrenagem que é essa extrusora, a fonte de alimentação é como o núcleo, fornecendo energia elétrica vital para todo o sistema. Pensando nisso, a fonte escolhida para esse projeto foi uma fonte bivolt, com 12 V de tensão contínua, 90 amperes e 1080 W de potência.

Através da fórmula $P(\text{potência})=V(\text{volts}) \cdot A(\text{ampere})$, foi possível encontrar a potência consumida por cada componente e com a somatória de todas as potências calculadas, temos o total a ser absorvido da fonte escolhida.

3.3 Cálculos do Projeto

Considerando que o material a ser extrudado se apresenta na forma de um filete com as seguintes dimensões iniciais: 1,5 mm de espessura e 10 mm de altura, e, após o processo de extrusão, adquire um diâmetro de 1,75 mm, é necessário calcular a taxa de extrusão do filamento com base nas propriedades do material em questão. Os cálculos a seguir foram realizados para determinar essa taxa. A velocidade motorizada no bobinador (v_2) é de 10mm/s.

Foram calculadas as áreas de entrada e saída e a velocidade de escoamento.

Área 1 (entrada) matriz: $A_1= 2,4 \text{ mm}^2$

Área 2 (saída) matriz: $A_2=15\text{mm}^2$

Velocidade de escoamento: $A_1v_1= A_2v_2$ gerou a $v_1= 62,5 \text{ mm/s}$

O cálculo da vazão em volume – Ψ – representa a quantidade volumétrica que o filamento exerce durante o processo de extrusão

$$\Psi_1=v_1A_1 = 62,5(\text{mm/s})2,4 \text{ mm}^2= 150\text{mm}^3/\text{s}$$

$$\Psi_2=v_2A_2 = 10(\text{mm/s})15 \text{ mm}^2= 150\text{mm}^3/\text{s}$$



Para garantir um fluxo uniforme e constante durante todo o processo, deve ser considerado o cálculo de tração para determinar a força necessária para puxar o material. Em que a tração (T) e a força de arrasto (F) são exercidas sobre o filamento do material que está sendo alimentado na extrusora. Para o cálculo, deve-se considerar a massa da garrafa PET em 192 g/mol de acordo com o valor tabelado das propriedades mecânicas desse material de acordo com (Awaja; Pavel,2005; Locker, 2018). Assim, serão utilizadas equações dinâmicas para determinar a tração e o torque requeridos para o projeto.

Com o valor da resistência térmica, desenvolveu-se o cálculo de calor de plastificação, considerando como temperatura de resistência 245 °C, pré-ajustada no controlador PID, e a temperatura de plastificação se referiu ao ponto de fusão do plástico, em torno de 240 °C. O cálculo da transferência de calor para o plástico foi feito utilizando a fórmula a seguir:

$$Q_{\text{plastificação}} = \frac{T_{\text{resistencia}} - T_{\text{plastificação}}}{R_{\text{term_condução}}}$$

em que Q é o calor, T a temperatura e R_t a resistência elétrica.

Para calcularmos a quantidade de material que os cartuchos podem aquecer, é viável determinar a densidade de potência, que representa a transferência de calor da resistência para o material metálico. Esta medida é expressa em watts por unidade de área da superfície aquecida e é calculada através da seguinte fórmula a seguir.

$$\text{Densidade de Potência} = \frac{W}{\pi D H_L}$$

em que W é a potência do cartucho, D o diâmetro da região de aquecimento e H_L o comprimento aquecido

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando Δv como a diferença entre as velocidades v₁ e v₂, e Δt como o tempo necessário para a saída do plástico pelo bico, calculou-se a aceleração como sendo 17,5 m/s², a Força 3360 N e a tração 1880 N/mm.

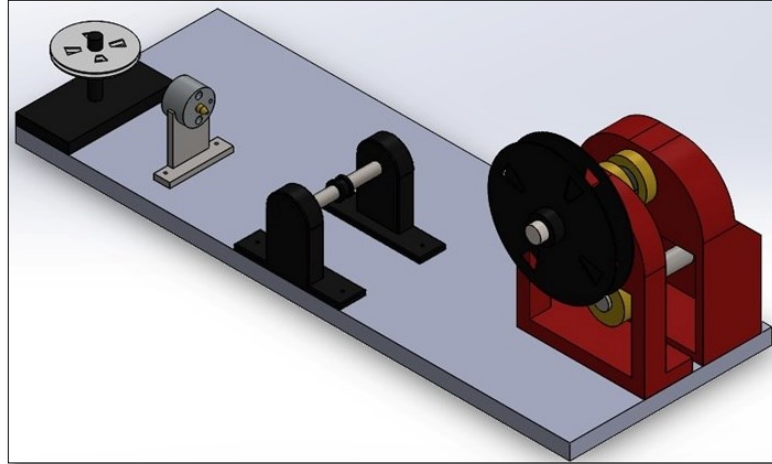
Com o valor da resistência térmica (0,05667kW), desenvolveu-se o cálculo de calor de plastificação de 88,23 kW.

A densidade da potência foi determinada como 0,1106W/mm.

O desenvolvimento do projeto envolvendo todos os componentes e funcionalidades gerou o esboço de uma primeira versão da máquina extrusora, conforme mostra a Figura 5.



Figura 5 – Desenho 3D do bobinador projetado



Fonte: os autores (2024)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto é inovador, está em fase de desenvolvimento e prevê eficiência do processo de reciclagem do plástico em termos de quantidade de material reciclado produzido e em comparação com o material de entrada. Os cálculos ainda estão em desenvolvimento e nessa fase muitos ajustes ainda se fazem necessários ao longo das etapas de montagem e testes do protótipo pelos membros dessa equipe.

REFERÊNCIAS

AQUINO, Lucas Oliveira. **Projeto de uma extrusora de filamento para impressão 3D que utiliza material reciclado**. Trabalho de conclusão de curso - Instituto Federal do Espírito Santo. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/2815>. Acesso em: 16 dez. 2023.

BETIM, Senac. **Impressoras 3D: a tecnologia em prol do meio ambiente**. 2023. <https://www.industria40.ind.br/noticias/23947-imprensa-3d-tecnologia-prol-meio-ambiente>. Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/noticias/23947-imprensa-3d-tecnologia-prol-meio-ambiente>. Acesso em: 27 jun. 2023.

COMENALE, Wagner, WILTGEN, Filipe. Controlador Nebuloso para Extrusoras de Borracha. **Anais do XI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM**, Teresina - PI (07-11 agosto 2022). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/362609357_ARTIGO_CONTROLADOR_NEBULOSO_PARA_EXTRUSORAS_DE_BORRACHA_PAPER_FUZZY_CONTROLLER_FOR_RUBBER_EXTRUSORS. Acesso em: 27 jun. 2023.

EESCJR. **Impressão 3D e engenharia mecânica: aliadas na indústria**. 2022. Disponível em: <https://eescjr.com.br/blog/impresao-3d-e-engenharia-mecanica-aliadas-na-industria/>. Acesso em: 14 abr. 2023.



FERREIRA, Fyllipe Felix. **Estudo e desenvolvimento de filamento de PET reciclado para impressoras 3D FDM**. 84 f. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/12937>. Acesso em: 16 mar. 2024.

HEATER, Superb. **História do desenvolvimento de extrusora de plástico**. 2018. Disponível em: <https://www.top-heaterchina.com/info/plastic-extruder-development-history-31632581.html#%20>. Acesso em: 23 dez. 2023.

MATHIAS, Cláudio. **Relembrando a história do desenvolvimento de extrusoras**. 2019. Disponível em: <https://www.editorastilo.com.br/pet-food/relembrando-a-historia-do-desenvolvimento-de-extrusoras/>. Acesso em: 10 jan. 2024.

REYMAN, Vatanabe Donatello, MAURO, Frug Gustavo. **Sustentabilidade na escola: produção de filamentos para impressora 3D a partir de garrafas pet**. 2022. Disponível em: <https://www.lourencocastanho.com.br/wp-content/uploads/2023/12/Donatello-e-Gustavo-final.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2024.

SILVA, Fabio Miguel Rodrigues da. **Projeto de extrusora de filamento para impressora 3D**. 2018. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

CAMARGO, Suzana. **Máquina transforma plástico reciclado em filamento para impressora 3D**. 2015. Disponível em: <https://super.abril.com.br/coluna/planeta/maquina-transforma-plastico-reciclado-em-filamento-para-impressora-3d>. Acesso em: 16 mar. 2024.

TME. **Filamentos para impressão 3d – tipos, características e uso em prototipagem**. 2023. Disponível em: <https://www.tme.com/br/pt/news/library-articles/page/51976/filamentos-para-impressao-3d-tipos-caracteristicas-e-uso-em-prototipagem/>. Acesso em: 24 mar. 2023.

TOMRA. **Tecnologia de reciclagem**. 2024. Disponível em: <https://languagesites.tomra.com/pt-br/sorting/recycling/tomra-technology>. Acesso em: 16 mar. 2024.

TOPINK3D. **Filamento ABS**. 2019. Disponível em: <https://www.topink3d.com.br/busca?search=filamento%20ABS>. Acesso em: 16 mar. 2023.

UNIVASP. **Reciclagem de plásticos: como se dá e no que se transformam?** Disponível em: <https://portais.univasf.edu.br/sustentabilidade/noticias-sustentaveis/reciclagem-de-plasticos-como-se-da-e-no-que-se-transformam>. Acesso em: 8 out. 2023.