

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANDERSON ZWARYCZ

**DESENVOLVIMENTO DE UM TRITURADOR DE PLÁSTICOS PARA PRODUÇÃO
DE FILAMENTO DE IMPRESSORA 3D**

GUARAPUAVA

2022

ANDERSON ZWARYCZ

**DESENVOLVIMENTO DE UM TRITURADOR DE PLÁSTICOS PARA
PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE IMPRESSORA 3D**

**DEVELOPMENT OF A PLASTIC CRUSHER FOR THE PRODUCTION OF 3D
PRINTER FILAMENT**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Tecnólogo em Manutenção Industrial da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Dra. Viviane Teleginski Mazur

GUARAPUAVA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ANDERSON ZWARYCZ

**DESENVOLVIMENTO DE UM TRITURADOR DE PLÁSTICOS PARA PRODUÇÃO
DE FILAMENTO DE IMPRESSORA 3D**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Tecnólogo em Manutenção Industrial da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 05/dezembro/2022

Viviane Teleginski Mazur
Doutorado em Ciências Espaciais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Denise Alves Ramalho
Doutorado em Engenharia Mecânica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Henrique Ajuz Holzmann
Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

GUARAPUAVA

2022

Dedico as pessoas de que me deram
forças para esta longa jornada de
aprendizagem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, autor da vida, por ter me dado forças para superar todas as dificuldades encontradas ao longo desta caminhada.

Agradeço a minha esposa Simone, meu grande amor, pela paciência que teve comigo durante estes anos de faculdade e aos meus filhos Maria Fernanda e João Guilherme, pela minha ausência, por não estar por perto quando eles precisavam de mim.

Agradeço aos meus pais Adilson e Olga (IM), por terem me dado forças para superar os obstáculos encontrados ao longo do caminho.

Agradeço a minha orientadora: Prof. Dra. Viviane Teleginski Mazur, que foi muito mais que uma orientadora e conselheira. Que Deus a ilumine sempre.

Agradeço a UTFPR Guarapuava pelo apoio financeiro concedido pelo Edital de Apoio ao TCC – 2019 - DIRGRAD.

RESUMO

Nos últimos séculos, vem aumentando ano a ano o número de dejetos de resíduos plásticos. O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de oportunizar alternativas para sua reutilização e reciclagem, desta forma tornando uma possibilidade para revalorização dos resíduo plásticos. Motivado a desenvolver triturador de plástico pode-se transformar materiais que antes seriam descartados agregando mais valor à cadeia de produtos para impressoras 3D. Para fabricação dos filamentos de impressão 3D são usados uma grande variedade de plásticos, entre eles o ABS, PET, PVC e PLA. Na etapa de moagem de plástico transforma-se o plástico em pequenas unidades poliméricas, chamados pellets, que então podem ser utilizado na fabricação de filamentos para impressora 3D. Esta redução no tamanho é necessária devido às partículas do plástico necessitarem estar no tamanho correto para seu processamento posterior em extrusoras. Sendo assim, foi desenvolvida neste projeto uma máquina moedora ou trituradora para permitir a obtenção de pellets de diferentes tipos de plásticos com 4,2 mm de comprimento.

Palavras-chave: Plástico; Reciclagem; Triturador; Impressão 3D.

ABSTRACT

In recent centuries, the number of plastic waste has been increasing year by year. The present work was developed with the objective of providing alternatives for its reuse and recycling, thus making it possible to revalue plastic waste. Motivated to develop a plastic shredder, materials that would previously be discarded can be transformed, adding more value to the product chain for 3D printers. A wide variety of plastics are used to manufacture 3D printing filaments, including ABS, PET, PVC and PLA. In the plastic milling stage, plastic is transformed into small polymeric units, called pellets, which can then be used in the manufacture of filaments for 3D printers. This size reduction is necessary because the plastic particles need to be the correct size for further processing in extruders. Therefore, a grinding or shredder machine was developed in this project to allow obtaining pellets of different types of plastics with 4.2 mm in length.

Keywords: Plastic; Recycling; Crusher; 3D printing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Projeto de impressora 3D (A); impressora funcional (B).....	6
Figura 2. Mini extrusora de filamentos poliméricos (A); Filamentos poliméricos utilizados na impressora 3D após serem produzidos pela máquina extrusora (B).....	8
Figura 3. Pellets poliméricos.....	10
Figura 4. Moedor de plástico.....	12
Figura 5. Modelo de moedor de plástico.....	13
Figura 6 – (A) Montagem completa do triturador, (B) montagem do conjunto de facas e (C) montagem da base sem o funil.....	15
Figura 7 - (A) Faca móvel e (B) faca fixa.....	17
Figura 8 - (A) Espaçador móvel e (B) espaçador fixo.....	17
Figura 9. Peças cortadas a plasma: Faca móvel (A), espaçadora móvel (B), faca fixa (C) espaçador fixo (D).....	18
Figura 10 - (A) Pré-montagem da base e seus componentes (B) chapa lateral, (C) chapa frontal e (D) tampa.....	18
Figura 11 - (A) Pré-montagem da base e seus componentes modificados (B) pé de apoio, (C) chapa do fundo e (D) lateral do fundo.....	19
Figura 12 - Eixo com sextavado e rebaixos para montagem.....	19
Figura 13 - (A) Pré-montagem do suporte da tela de saída, (B) suporte e (C) fotografia da chapa moeda já montada na base do triturador.....	20
Figura 14 - Pré-montagem do funil, (B) desenho da chapa lateral e (C) fixação na base do triturador.....	20
Figura 15 - Pré-montagem do eixo sextavado com o mancal de apoio, buchas espaçadoras e uma faca rotativa.....	21
Figura 16 - Fotografia (A) do conjunto de facas e espaçadores montadas na base e (B) do ponteamto com solda.....	21
Figura 17 – Fotografia do funil para entrada de resíduos plásticos soldado na base do triturador.....	22
Figura 18 - Triturador finalizado, (A) vista lateral e (B) vista frontal.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Lista de componentes do projeto do triturador	15
Tabela 2. Lista de materiais para o projeto do moedor	16

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABS (acrilonitrila, butadieno, estireno).

ASTM *American Society for Testing and Materials*

PEAD (polietileno de alta densidade)

PEBD (polietileno de baixa densidade),

PET (polietileno tereftalato);

PLA (ácido poliláctico);

PP (polipropileno)

PS (poliestireno);

PVC (policloreto de vinila);

WWF – Fundo Mundial para a Natureza, do inglês *World Wild Forum*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	OBJETIVO Geral	2
1.2	OBJETIVO_s ESPECÍFICOS	2
1.3	JUSTIFICATIVA.....	2
2	REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1	MANUFATURA ADITIVA.....	4
2.2	Impressora 3D	5
2.3	Filamentos pOLIMÉRICOS para impressora 3D	7
2.4	pellets POLIMÉRICOS	9
2.5	RECICLAGEM E FABRICAÇÃO DE pellets	10
3	METODOLOGIA.....	12
3.1	PROJETO DO MOEDOR.....	12
3.2	PROCESSO DE USINAGEM	13
3.3	PROCESSO DE SOLDAGEM.....	14
3.4	PROCESSO DE CONFORMAÇÃO	14
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	15
4.1	PROJETO 3D.....	15
4.2	LEVANTAMENTO DE MATERIAIS	16
4.3	FABRICAÇÃO DOS COMPONENTES	16
4.4	MONTAGEM DO TRITURADOR	20
5	CONCLUSÃO.....	23
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	24

REFERÊNCIAS

ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com um estudo realizado pela WWF – Fundo Mundial para a Natureza (COELHO, 2019), o Brasil é o quarto maior produtor de lixo plástico no mundo, estando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia; sendo também um dos países que menos recicla este lixo, cerca de 1,2% ou 145.043 toneladas por ano.

Dados da Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2018) colocam que a coleta seletiva e a reciclagem ainda não são uma realidade no Brasil, visto que cerca de 55,2% dos municípios envia todo o lixo produzido para lixões a céu aberto. Este panorama faz com que 7 milhões de toneladas/ano não sejam coletadas adequadamente e isso equivale a 6.100 piscinas olímpicas ou 378 kg produzidos por pessoa/ano (ABRELPE, 2018).

Neste sentido, o século XX pode ser chamado de *idade do plástico*, pois ao mesmo tempo em que tais resíduos possibilitaram o avanço tecnológico também geraram um elevado número de resíduos provenientes da atividade industrial, urbana e doméstica (MENDES, 2005).

Como agravante da situação de descarte do plástico em locais inapropriados, a estabilidade dos materiais na natureza aumentou nos últimos anos e isso faz com que os antigos métodos de descarte sejam ineficazes (AKOVALI *et al.*, 1998). Assim, os plásticos são um dos principais responsáveis pela poluição do meio ambiente.

Pensando na necessidade de diminuir o consumo de plástico e encontrar alternativas para sua reutilização e reciclagem, várias iniciativas estão sendo realizadas a fim de recuperar o valor destes resíduos após a sua utilização (MENDES, 2005). Entre estas possibilidades está seu reaproveitamento para compor outras peças utilizadas em tecnologias desenvolvidas atualmente, como moer o plástico e produzir filamentos de impressora 3D, que é o foco desta pesquisa.

Entende-se por impressora 3D aquela que possibilita imprimir qualquer objeto através da tecnologia tridimensional, utilizando materiais como resina plástica e modelagem com laser (ABRIFAR, 2015). A demanda por este equipamento vem crescendo e estima-se que no período de 10 a 15 anos todas as casas poderão ter uma impressora 3D (JETPRINTER, 2016).

Entre os principais materiais plásticos que são reciclados e podem ser remanejados para a construção de filamentos da impressora 3D estão: PET (polietileno tereftalato); PVC (policloreto de vinila); PEBD (polietileno de baixa densidade), PEAD (polietileno de alta densidade) e PP (polipropileno) (RODRIGUES, 2017). Já na opinião de Bleijerveld (2014), os materiais que mais se adequam na confecção de filamentos para impressora 3D são PLA (ácido poliláctico); PS (poliestireno); PEBD; PP; ABS (acrilonitrila, butadieno, estireno).

Para Utimura (2014), a resina de ABS é a 5ª matéria-prima mais utilizada em plásticos de engenharia, ficando atrás apenas de PE, PVC, PP e PS, visto que sua aplicação se dá na maioria das vezes em bens duráveis.

Partindo do supracitado, este trabalho irá abordar a elaboração de um moedor de plásticos, que consiste no preparo inicial da matéria prima para produção de filamentos para impressora 3D, contribuindo para tornar a impressão 3D um processo ainda mais sustentável e econômico.

1.1 OBJETIVO Geral

Projetar um equipamento de uso em pequena escala que possibilite triturar resíduos plásticos para serem utilizados na fabricação de filamentos de impressora 3D.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar o dimensionamento da estrutura do triturador de plásticos e seus componentes;
- Otimizar os custos de fabricação e buscar a simplicidade operacional;
- Fabricar e adquirir componentes comerciais necessários para montagem do equipamento;
- Realizar a montagem do triturador.

1.3 JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa aborda uma maneira de realizar o reaproveitamento de materiais plásticos que poderão ser usados na fabricação de filamentos de impressora

3D, a partir do desenvolvimento de um equipamento que possa triturar o plástico, evitando que acabe sendo depositado em locais de descarte inapropriados.

A motivação para a escolha do tema partiu dos dados de pesquisas que a todo momento revelam que o Brasil é um país que produz quantidade excessiva de plástico e que, infelizmente, não possui destinação correta, visto que pouco mais de 1% é reciclado, ficando toneladas do material em lixões.

Espera-se desenvolver um equipamento de baixo custo e simples manuseio visando a reciclagem de plásticos. Além disso, optou-se pela reutilização do material de impressoras 3D porque estas já são uma realidade no país e tem se tornado acessíveis a toda a população.

Com o triturador que será desenvolvido neste projeto os usuários poderão transformar materiais que antes seriam descartadas e que apenas uma parte seria reciclada em novos objetos ou peças, economizando e agregando ainda mais valor à cadeia de produtos das impressoras 3D.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MANUFATURA ADITIVA

De acordo com Rodrigues et al. (2016), compreende-se por manufatura aditiva a utilização de equipamentos para fabricar objetos através de adição por camadas de materiais a partir de um modelo digital tridimensional modelado com o emprego de tecnologia computadorizada.

Entre os conceitos fundamentais de manufatura aditiva, a ASTM -*American Society for Testing and Materials* (2012) define manufatura aditiva como o desenvolvimento de objetos em 3D sólidos utilizando a deposição de camadas, se opondo assim a manufatura subtrativa.

Quanto ao surgimento, a manufatura aditiva teve seus primeiros indícios na década de 1980 com as máquinas de prototipagem rápida, termo este que vem para definir uma das finalidades destas máquinas, que é fabricar protótipos de forma rápida e generalizada (CAMPBELL et al., 2012). No entanto, atualmente estas máquinas vão além de produzir protótipos, adentrando o campo da manufatura final e utilizando diversos materiais como cerâmicas, metal e plásticos e por isso a nomenclatura manufatura aditiva (GIBSON et al., 2009).

Entre as principais características da manufatura aditiva está a reduzir a quantidade de etapas e processos de produção; economizar material; combinar geometrias e materiais diferentes para uma mesma peça (RODRIGUES et al., 2016). Enquanto os meios convencionais utilizariam diversas máquinas e processos de usinagem e acabamento para produzir uma única peça geométrica; a manufatura aditiva pode realizar o mesmo em um número significativamente reduzido de etapas e sem desperdiçar materiais (RODRIGUES et al., 2016).

Para Berman (2012), vários aspectos fizeram com que a manufatura aditiva se sobressaísse, tais como: produção de peças com design complexo; otimização de materiais; facilidade em compartilhar projetos; capacidade de produzir peças funcionais e automatização. Além disso, a manufatura aditiva faz com que a personalização das peças seja economicamente viável, facilitando o desenvolvimento de uma cadeia logística mais simplificada (HOLMSTRÖM et al., 2010).

Percebendo-se a enorme versatilidade da manufatura aditiva, pode-se classificar as tecnologias utilizadas neste tipo de produção em quatro categorias, quanto ao material usado na fabricação: 1) líquido, 2) filamentos e pasta, 3) pó, 4) placa sólida (GUO; LEU, 2013). Na categoria líquida podem ser produzidos protótipos e moldes; com filamentos e pastas o foco são objetos poliméricos e cerâmicos; na categoria pó ocorre a produção de protótipos, implantes médicos e partes de motores automotivos; já a placa sólida é usada também para protótipos e moldes (GUO; LEO, 2013).

No Brasil, o crescimento da manufatura aditiva está relacionado as pesquisas acadêmicas realizadas no país, ou seja, quanto mais pesquisas, maior o investimento no setor (CUNICO, 2013). Uma destas pesquisas propôs o desenvolvimento de uma tecnologia de prototipagem rápida, com construção de camadas e utilização de material compósito como polímero e celulose (CUNICO, 2013).

Outro caso observado é a produção de órteses a serem utilizadas por população com menor poder aquisitivo. Neste caso, o membro que necessita de auxílio é digitalizado e a órtese é confeccionada com a tecnologia da manufatura aditiva (SANTOS, 2016).

Por fim, as características da manufatura aditiva podem ser altamente usadas por diversos setores, inclusive pela engenharia mecânica. Este tipo de tecnologia proporciona agilidade nos processos e entre as várias aplicações está a impressora 3D, que recria peças, máquinas e motores com facilidade (VOLPATO, 2007).

2.2 Impressora 3D

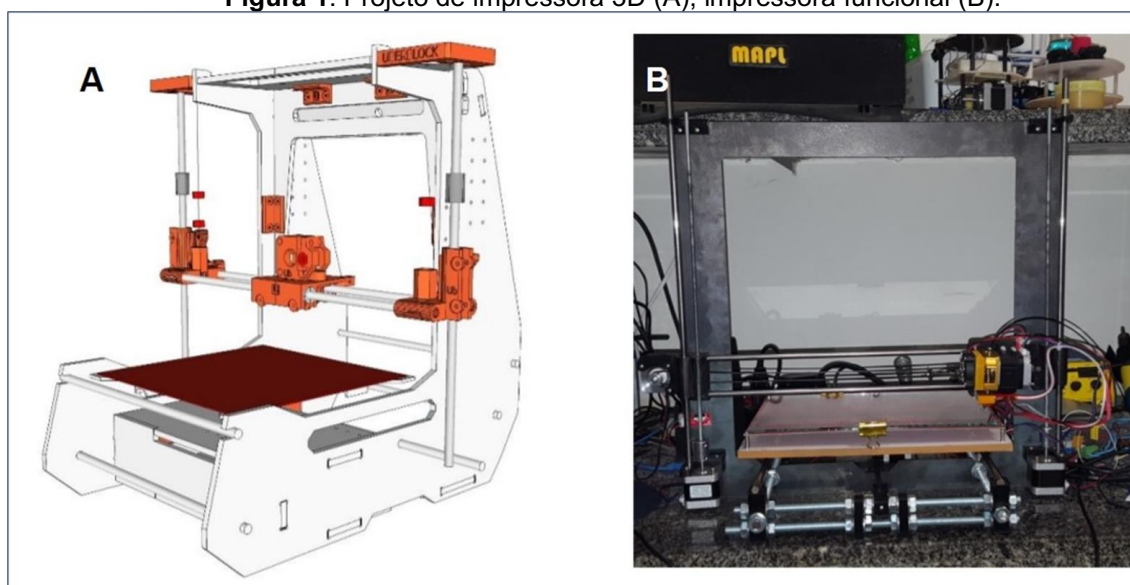
De acordo com Azevedo (2013), o termo impressão 3D refere-se ao procedimento para criar objetos em terceira dimensão baseado em um modelo digital. Tal processo é feito de modo aditivo, onde camadas de material são construídas uma a uma de maneira a compor o formato do objeto.

Uma das aplicações da impressora 3D é a utilização de sua tecnologia para prototipagem rápida, que tem custo baixo e não ocorre desperdício de material, geralmente plástico ABS. Ademais, também não existe necessidade de ferramentas elaboradas para a construção das peças em 3D visto que o software que faz a impressão não precisa de programação prévia (AZEVEDO, 2013).

Ainda sobre a impressora 3D, ela foi criada no ano de 1984 por Chuck Hull. Mas foi no ano de 2008, com queda no preço de impressoras, que aumentaram a difusão e aquisição de impressoras 3D. Nesta época, as tecnologias de replicação também começaram a ser compartilhadas, ou seja, máquinas puderam construir a si mesmas e as impressoras 3D se tornaram as principais formas de replicação (DEURSEN, 2013).

Com todo o avanço tecnológico, as impressoras 3D têm se desenvolvido rápido e ganhado interesse de muitos setores devido a sua capacidade de customização. Azevedo (2013) complementa que as impressoras 3D se diferenciam de outros métodos de prototipagem quanto a forma de operar, custo e material. Se no começo, o objetivo da impressão 3D era facilitar o trabalho de máquinas em indústrias, agora pesquisadores almejam que seu uso seja desde escritórios até residências (COSTA et al., 2015). A Figura 1 demonstra como é uma impressora tridimensional, com seu projeto de construção (A) e com a impressora finalizada (B).

Figura 1. Projeto de impressora 3D (A); impressora funcional (B).



FONTE: Retirado de BALZANI (2017) e GOZZO (2017).

Para Salmoria e colaboradores (2007), o processo de impressão tridimensional tem a vantagem de ser limpo, com fácil remoção do suporte, é rápido, geralmente não necessita de uma etapa de pós-cura, é versátil pois pode utilizar uma grande variedade de materiais e resinas com propriedades e cores diferentes, permitindo ainda em alguns casos a produção de mais de uma peça ao mesmo tempo, diminuindo ainda mais o tempo e o custo.

O funcionamento da impressora 3D ocorre da seguinte maneira: primeiro o produto é desenvolvido graficamente em três dimensões no software computacional; depois o modelo é convertido em coordenadas e se divide em camadas planas, que são transferidas para a impressora em linguagem de máquina; o material de construção fica no cabeçote da impressora e é depositado em uma plataforma; de acordo com o desenho final é originado o protótipo (VOLPATO, 2007).

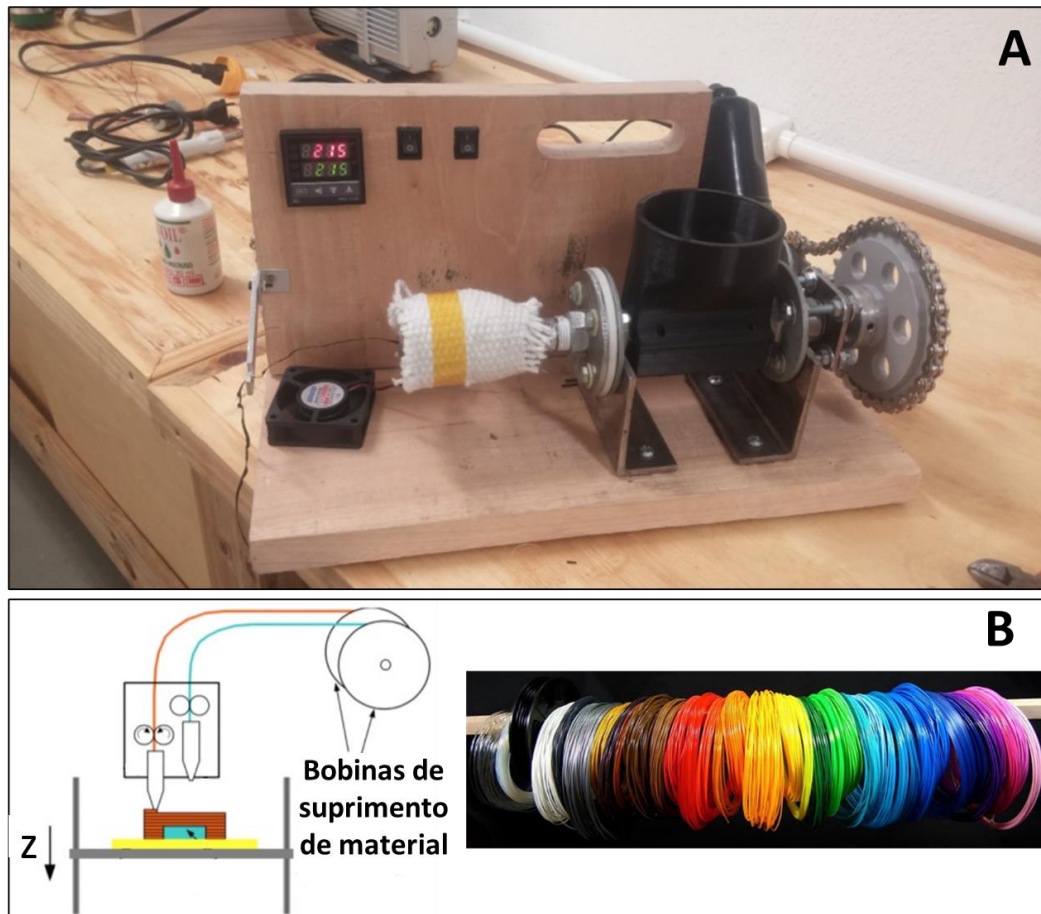
A impressora 3D é uma ferramenta usada para desenvolver produtos e todos os seus pontos positivos possibilitam que o processo seja flexível e ganhe alterações quando precisar, com custos baixos e ferramental dispensado (MIGUEL, 2010).

2.3 Filamentos pOLIMÉRICOS para impressora 3D

Os filamentos que são usados na impressora tridimensional são feitos por uma máquina específica geralmente denominada mini extrusora, mostrada na Figura 2 (A), que tem por objetivo viabilizar os filamentos a um custo reduzido, podendo ser feito pelo próprio usuário (UFSC, 2016). A matéria-prima utilizada na mini extrusora a fim de fabricar os filamentos é chamado de pellets, pequenas esferas de plástico, que são depositados na zona de alimentação localizada acima do canhão da mini extrusora (UFSC, 2016).

Como remete o nome da máquina mencionado acima, os filamentos da impressora 3D são feitos pelo processo chamado de extrusão, que consiste em fabricar perfis transversais únicos, onde o material é forçado por compressão em um orifício matriz a fim de formar o filamento (PESSI; PAGLISOSA, 2018). Tais filamentos são usados como matéria-prima nas impressoras 3D, imprimindo objetos tridimensionais semelhantes ao movimento comum do cartucho de uma impressora a tinta (PESSI; PAGLIOSA, 2018). A imagem dos filamentos está contida na Figura 2 (B).

Figura 2. Mini extrusora de filamentos poliméricos (A); Filamentos poliméricos utilizados na impressora 3D após serem produzidos pela máquina extrusora (B)



FONTE: A LabCTI, UFSC (2016). B Adaptado de SANTANA (2015).

Estimativas da Printer de 2014 mencionaram que na época o mercado de protótipos já movimentava 400 milhões de dólares e com crescimento de 20,4% ao ano. Isso supõe que no ano de 2019 o movimento seria de 671 milhões de dólares, onde 64% seria proveniente de plásticos. Isso se deve a tendência para o uso de materiais plásticos ter um forte crescimento nos últimos anos devido a sua aplicação direta ao varejo (PRINTER, 2014).

Para fabricação dos filamentos são usados uma grande variedade de polímeros. Entre eles está o ABS, um polímero amorfo que tem como principais propriedades a rigidez e a resistência ao impacto. Para produção deste polímero pode ser usado polimerização por emulsão ou por massa, sendo processado por moldação através de injeção e extrusão (WISHBOX, 2016). Entre as vantagens deste polímero é que peças produzidas com filamentos ABS podem ser lixadas, cortadas e/ou pintadas; além de serem solúveis em acetona (PESSI; PAGLIOSA, 2018).

Outro polímero é o PET, que tem como principais propriedades a sua fácil reciclabilidade; resistência mecânica, térmica e química; tem propriedades de barreira, visto que absorve o oxigênio de 10 a 20 vezes menos que plásticos “commodities”. O PET necessita de um processamento anterior de ser transformado em filamento, devendo estar no formato de grânulos secos e cristalizados (WIEBECK & HARADA, 2005).

O próximo polímero é o PLA, um material biodegradável proveniente de recursos renováveis como amido de milho, mandioca e cana-de-açúcar. Os filamentos produzidos com o PLA são mais ecológicos quando comparados a outros materiais. Ademais, ele não gera odores quando está imprimindo o produto final, caracterizando-se como de ótima aplicabilidade em uso doméstico (IMPRESSAO3DFACIL, 2017).

Por fim, tem-se o PP, um material semitransparente, reciclável e organoléptico. De acordo com Wiebeck e Harada (2005), o polipropileno é o polímero mais empregado nas áreas automotivas e de eletrodomésticos por suas propriedades mecânicas e químicas, como resistência a flexão e dureza. Peças feitas com o PP possuem alta resistência ao impacto, abrasão e fadiga.

2.4 pellets POLIMÉRICOS

De acordo com Pessoa (2018), apesar dos diversos processos e da viabilidade operacional e financeira, atualmente o Brasil recicla somente 3% de todo lixo gerado e 21% dos plásticos, deixando de receber 10 bilhões de reais por ano e de poluir menos o meio ambiente. Dessa forma, existe uma lacuna que pode ser preenchida com processos mais eficientes no caso de reciclagem de polímeros plásticos, gerando lucro potencialmente enorme.

Para que o plástico seja um produto reutilizável ele precisa passar por alguns processos, como a polimerização, que se refere a reação dos produtos químicos para a fabricação de diferentes resinas plásticas. Neste sentido, diferentes tipos de resinas plásticas passam por extrusoras, máquinas que deixam o plástico em um estado entre o sólido e o líquido a fim de que seja conformado por uma matriz. Essa matriz pode ter diversos desenhos, como por exemplo "espaguete", que saem da máquina e depois são cortados em pedaços milimétricos formando os grânulos ou pellets (PLÁSTICO TRANSFORMA, 2019).

Manzano (2008) define pellets como grânulos plásticos que constituem as resinas plásticas comercializadas e servem de matéria prima nas indústrias de transformação, dando origem aos mais variados objetos produzidos a partir do derretimento destes e posterior moldagem do produto final. Ademais, quanto a coloração, forma e tamanho, os pellets tem características variáveis e são influenciados pela sua composição química, estrutura e tipos de uso (MANZANO, 2008).

Santos e colaboradores (2008) complementam que os pellets são grânulos ou esferas plásticas que tem em média 5 mm de diâmetro, servindo de matérias-primas para utensílios de variadas finalidades (Figura 3).

Figura 3. Pellets poliméricos



FONTE: O INSTALADOR (2019).

2.5 RECICLAGEM E FABRICAÇÃO DE pellets

O processo de reciclagem do plástico inicia-se com a coleta das embalagens e sua limpeza. Depois, as embalagens devem ser separadas por cor. Segue-se com a moagem e os polímeros originados desta moagem são novamente transformados em grânulos e usados em vários processos de fabricação de produtos (FARIA, 2011). Para a etapa de moagem é necessário o moedor de plástico, que tem por finalidade transformar o plástico em pequenas unidades poliméricas, para então ser utilizado na fabricação de filamentos para impressora 3D.

Esta redução no tamanho é necessária devido às partículas do plástico necessitarem estar no tamanho correto para seu processamento posterior na extrusora. Sendo assim, a máquina moedora ou trituradora tem por objetivo obter

partículas grandes de aproximadamente 25-50 mm; depois tais partículas são diminuídas em flocos de 5 mm x 5 mm (PESSÔA, 2018).

3 METODOLOGIA

3.1 PROJETO DO MOEDOR

Este trabalho foi baseado no projeto de moedor disponível no site preciousplastic.com (2019), onde há exemplos de moedores de plástico, como mostra a Figura 4.

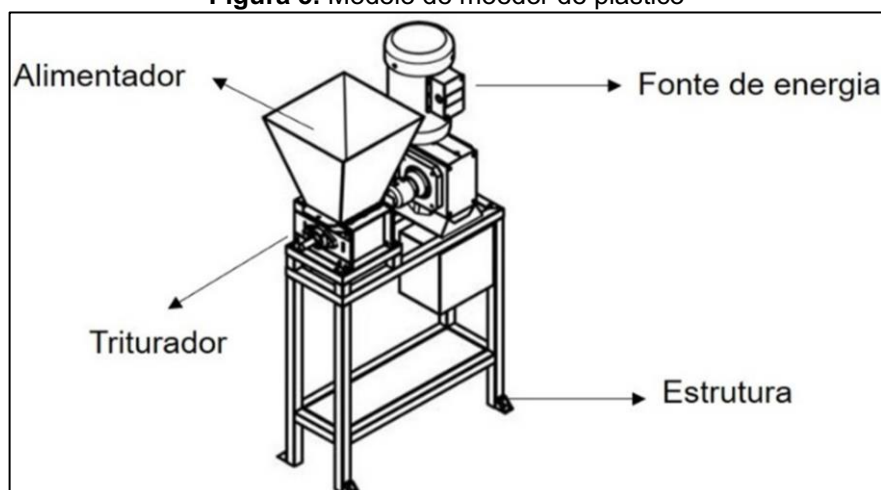


FONTE: Adaptado de preciousplastic.com (2019)

De acordo com o projeto disponibilizado pelo endereço eletrônico supracitado, a máquina trituradora de plásticos tem por objetivo fragmentar objetos de plástico maiores em pequenos flocos, que são mais fáceis de armazenar e lavar. Os plásticos triturados podem ser usados como matéria-prima para as outras máquinas ou ser vendido de volta à indústria. É possível selecionar o tamanho de saída desses flocos mudando a peneira dentro da máquina.

O tamanho da máquina baseia-se em uma garrafa de plástico, ou seja, se o pedaço de plástico a ser triturado for maior que a garrafa deverá ser cortada em pedaços menores antes de ir para o triturador e se for menor ou equivalente pode ser colocado diretamente no triturador de plásticos. O moedor de plásticos consiste em quatro partes: o triturador; a fonte de energia; a estrutura e o alimentador, conforme a Figura 5.

Figura 5. Modelo de moedor de plástico



FONTE: Adaptado de preciousplastic.com (2019)

Entretanto, devido a disponibilidade de ferramentas e matérias primas na UTFPR-GP, foram realizadas adequações do projeto. Os desenhos das peças do moedor foram realizados em CAD (desenho assistido por computador), usando o software Autodesk Inventor, disponível nos laboratórios de informática da UTFPR-GP. Depois de realizar a adequação das peças mecânicas e seu desenho, foi feita a montagem 3D do equipamento.

3.2 PROCESSO DE USINAGEM

Furações, cortes das cantoneiras, calhas e nas telas de saída foram realizadas no laboratório de Processos de Fabricação e Usinagem da UTFPR-GP. Para isso, foi utilizado furadeira de bancada Diplommat 3001, brocas de aço rápido, torno mecânico Mascote-Nardini, ferramentas de desbaste, lixadeira IWT 7" e esmeril Motomil - Mt 150.

O eixo sextavado de 19 x 320 mm foi usinado a partir de um eixo de 25 mm de diâmetro com o auxílio de uma fresadora, com fresa de 8 mm de diâmetro. Também foi realizado um rasgo de chaveta em uma das extremidades para acoplamento Ômega 4 com o motor. O acabamento das chavetas foi feito com uma lima, de forma manual.

Devido à complexidade dos desenhos, as seguintes peças foram cortadas a plasma em uma empresa da região de Guarapuava: chapas da estrutura, facas, espaçadores fixos e móveis. Depois as peças foram lixadas com esmerilhadora e disco flap a fim de deixar todas as bordas completamente lisas.

3.3 PROCESSO DE SOLDAGEM

Efetuuou-se a preparação prévia das peças com o auxílio de uma lixadeira de 4" e acabamento com disco flep. Para o processo de soldagem foi utilizado o processo MIG, Hawk 255 Sumig, com arame de 0,8 mm para aço carbono ER70S-6, com gás de trabalho de mistura 75% de argônio e 25% de CO₂.

3.4 PROCESSO DE CONFORMAÇÃO

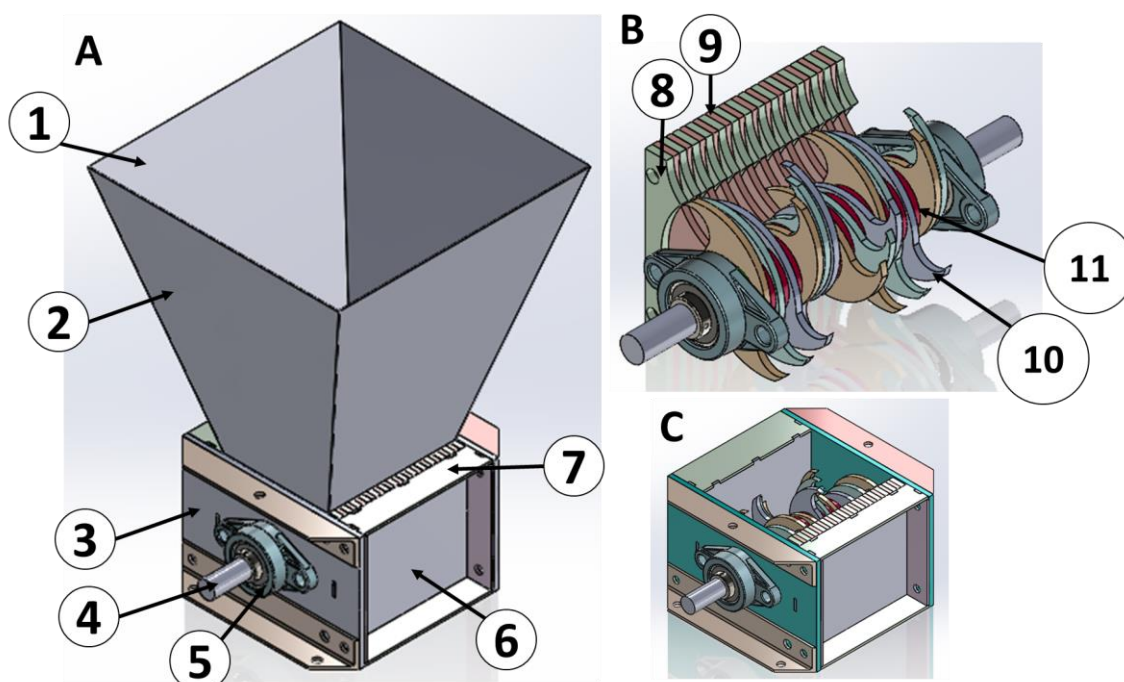
Para a fabricação das calhas de entrada e saída foi utilizada a guilhotina Clark Itg Shears 306- Tg 306 Sa para cortar as chapas e a dobradeira hidráulica CNC Imag para realizar as dobras para fixação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PROJETO 3D

No endereço eletrônico preciousplastic.com (2019) são disponibilizados para download os desenhos das peças do triturador, conforme mostra a Figura 6 A. Para facilitar a compreensão da montagem do sistema, a Figura 6 A mostra somente o conjunto de facas montado no eixo com os mancais de apoio. A Figura 6 C mostra a base montada com o conjunto de facas sem o funil.

Figura 6 – (A) Montagem completa do triturador, (B) montagem do conjunto de facas e (C) montagem da base sem o funil



Fonte: Autoria própria, 2022.

Entretanto, ajustes foram realizados para aumentar o tamanho das facas, reduzir os espaçadores, as peças de chapa que tinham espessura 3/8" foram feitas com uma chapa de 5 mm. Os componentes numerados da Figura 6 são aqueles que foram mantidos no projeto final e sua nomenclatura é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Lista de componentes do projeto do triturador

Numeração	Especificação	Numeração	Especificação
1	Chapa frontal do funil	7	Tampa da base

2	Chapa lateral do funil	8	Faca fixa
3	Chapa lateral da base	9	Espaçador fixo
4	Eixo	10	Faca móvel
5	Mancal F205 e rolamento U205	11	Espaçador móvel
6	Chapa frontal da base		

Fonte: Autoria própria (2022).

4.2 LEVANTAMENTO DE MATERIAIS

Depois de definido o projeto e suas modificações necessárias, foi feito o levantamento dos materiais e matérias primas comercialmente disponíveis para a construção do triturador. Definiu-se os materiais relacionados na Tabela 2.

Tabela 2. Lista de materiais para o projeto do triturador

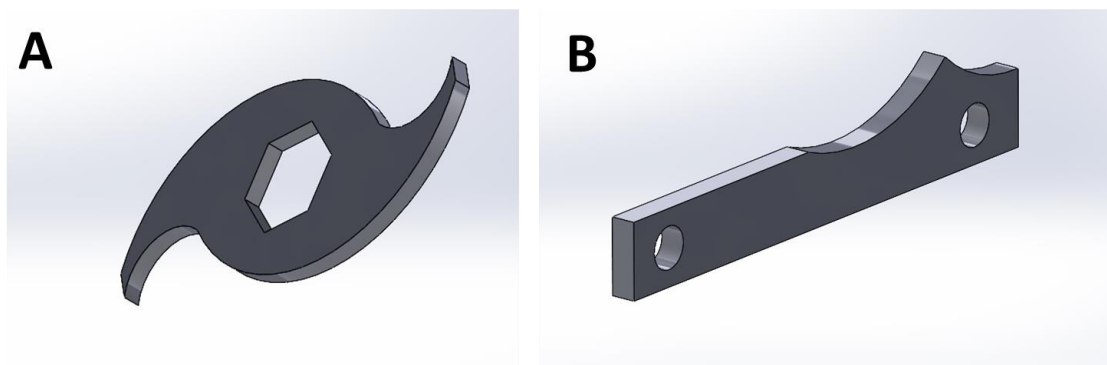
Função	Especificação
-Facas móveis	
-Facas fixas	
-Chapas da base	Chapa de aço tungstênio
-Espaçadores móveis	
-Espaçadores fixos	
-Chapa frontal do funil	
-Chapa lateral do funil	Chapa de aço AISI 1020, 1000 x 300 x 1 mm
-Chapa lateral do fundo	
-Chapa do fundo	
Pés de apoio	Tarugo de aço AISI 2010 320 x 10 mm
Eixo sextavado	Eixo de 25 mm de diâmetro x 400 mm
Guia dos espaçadores fixos	Barra roscada M10 x 50 mm
Suporte do eixo	-Mancais de rolamento F-205 -Rolamentos UC-205
Fixação dos mancais	-Parafusos M10 x 35 mm -Arruelas M10 -Porcas M10
Tela de saída	Chapa moeda 4,2 mm

Fonte: Autoria própria (2022)

4.3 FABRICAÇÃO DOS COMPONENTES

O primeiro passo foi a fabricação dos elementos centrais da máquina trituradora de plásticos: facas rotativas e fixas, espaçadores rotativos e fixos e chapas para construção da base. Foi utilizado o corte a plasma de uma chapa de aço tungstênio de 5 mm de espessura. Na Figura 7 (A) é mostrado o desenho da faca móvel de corte e na Figura 7 (B) a faca fixa. As partes internas da faca rotativa têm um furo sextavado para facilitar a montagem e fixação no eixo. Já as furações das facas fixas são para encaixe da barra roscada.

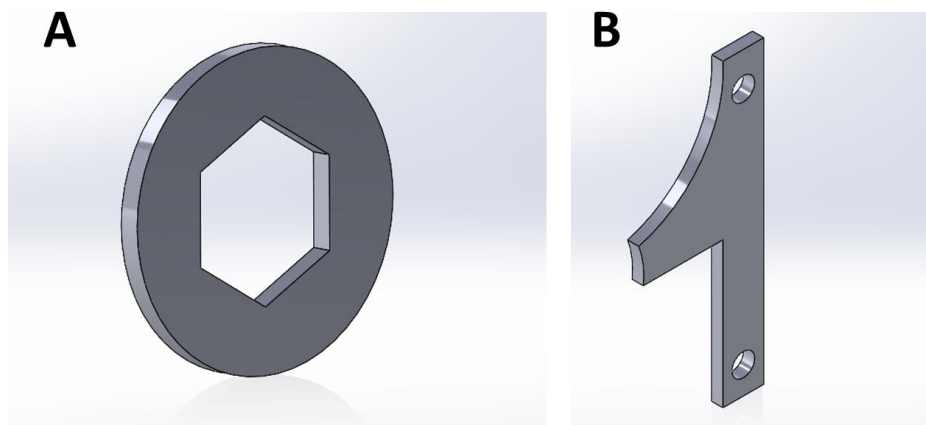
Figura 7 - (A) Faca móvel e (B) faca fixa



Fonte: Autoria própria (2022)

Na Figura 8 (A) é mostrado o espaçador móvel e na Figura 8 (A) o espaçador fixo. A parte interna dos espaçadores móveis também apresentam furo sextavado para a montagem no eixo.

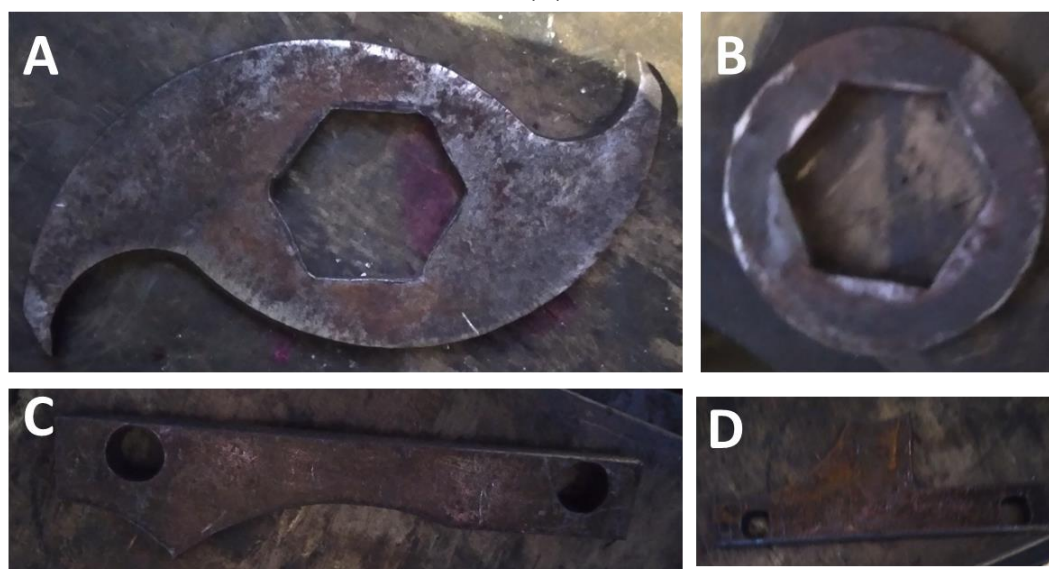
Figura 8 - (A) Espaçador móvel e (B) espaçador fixo



Fonte: Autoria própria (2022)

Na Figura 9 são mostradas as imagens dos componentes após o corte a plasma dos desenhos CAD.

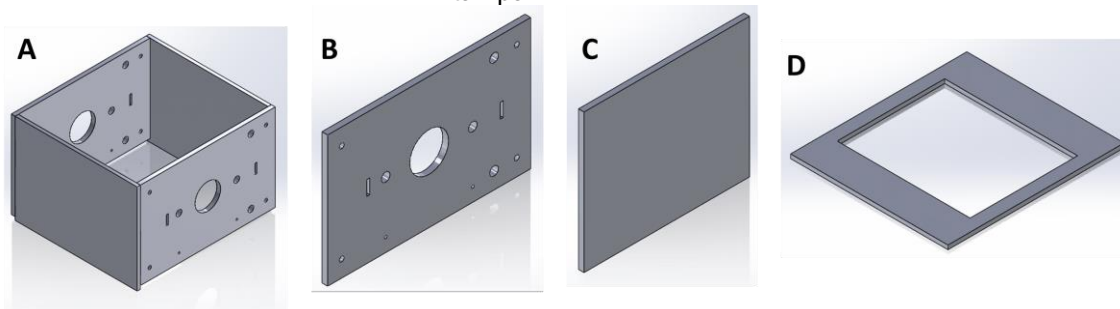
Figura 9. Peças cortadas a plasma: Faca móvel (A), espaçadora móvel (B), faca fixa (C) espaçador fixo (D).



Fonte: Autoria própria (2022)

Para construção da base (Figura 10 A) foram utilizadas as chapas laterais, frontais e tampa, conforme mostram os desenhos da Figura 10 B, C E D, respectivamente.

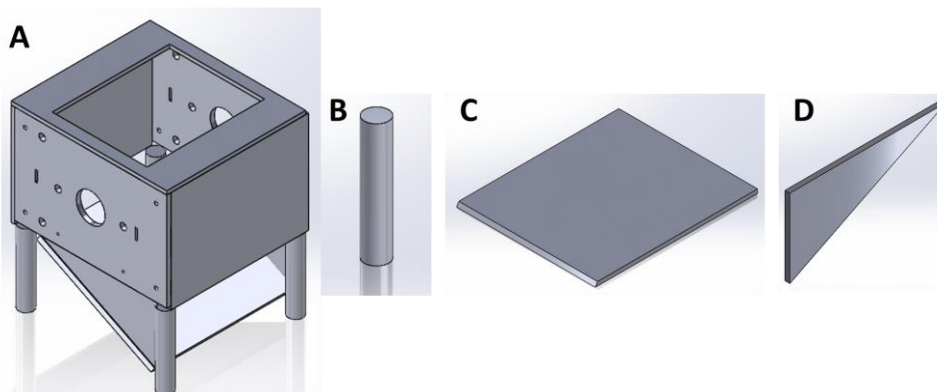
Figura 10 - (A) Pré-montagem da base e seus componentes (B) chapa lateral, (C) chapa frontal e (D) tampa



Fonte: Autoria própria (2022)

No projeto original, essa base era colocada em uma estrutura de 1300 x 600 mm, fabricada em perfil quadrado (30 x 30 mm) de aço AISI 1020. Foi realizada uma adaptação, incluindo pés fixos e soldados para melhor acomodar o triturador e permitir transporte facilitado. Também foi incluído um fundo para deslizamento dos pellets. A Figura 11 A mostra a base com as adaptações do fundo e os seus componentes: (Figura 11 B) pé de apoio, (Figura 11 C) chapa do fundo e (Figura 11 D) lateral do fundo.

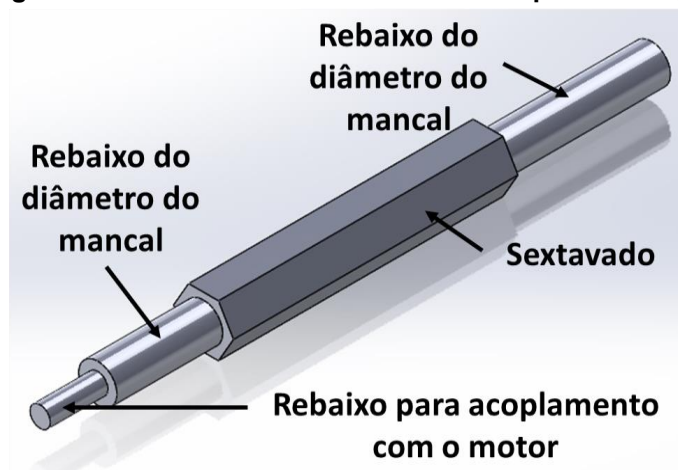
Figura 11 - (A) Pré-montagem da base e seus componentes modificados (B) pé de apoio, (C) chapa do fundo e (D) lateral do fundo



Fonte: Autoria própria (2022)

Na Figura 12 é mostrado o eixo, que foi usinado com a fresadora para fazer o sextavado, rebaixo para o acoplamento com o motor e rebaixo para o mancal.

Figura 12 - Eixo com sextavado e rebaixos para montagem



Fonte: Autoria própria (2022)

A pré-montagem do suporte para a tela de saída dos pellets é mostrada na Figura 13 A, à qual é composta pelos suportes laterais (Figura 13 B) e pela tela de saída que foi fabricada em chapa moeda, contendo furos de 4,2 mm de diâmetro. A Figura 13 C mostra uma fotografia da chapa moeda já montada na base do triturador, vista pela parte inferior.

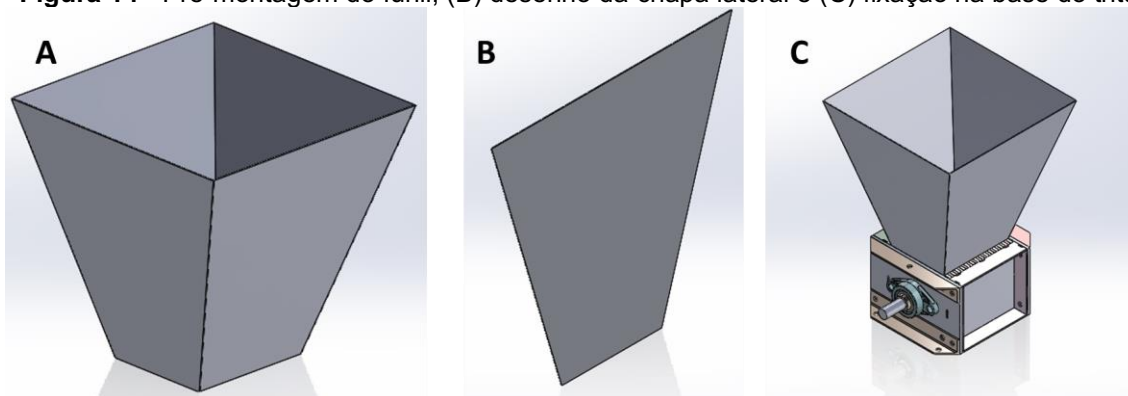
Figura 13 - (A) Pré-montagem do suporte da tela de saída, (B) suporte e (C) fotografia da chapa moeda já montada na base do triturador



Fonte: Autoria própria (2022)

Para fabricação do funil (Figura 14 A), foram soldadas as suas quatro partes (Figura 14 B), mantendo o projeto original. Depois, o funil foi soldado na base do triturador (Figura 14 C).

Figura 14 - Pré-montagem do funil, (B) desenho da chapa lateral e (C) fixação na base do triturador



Fonte: Autoria própria (2022)

4.4 MONTAGEM DO TRITURADOR

As facas rotativas e os espaçadores móveis foram colocados no eixo do triturador, montando a estrutura de corte. A Figura 15 mostra o início da pré-montagem do eixo, onde estão indicados o mancal F 205 com rolamento UC 205, espaçadores móveis e faca móvel.

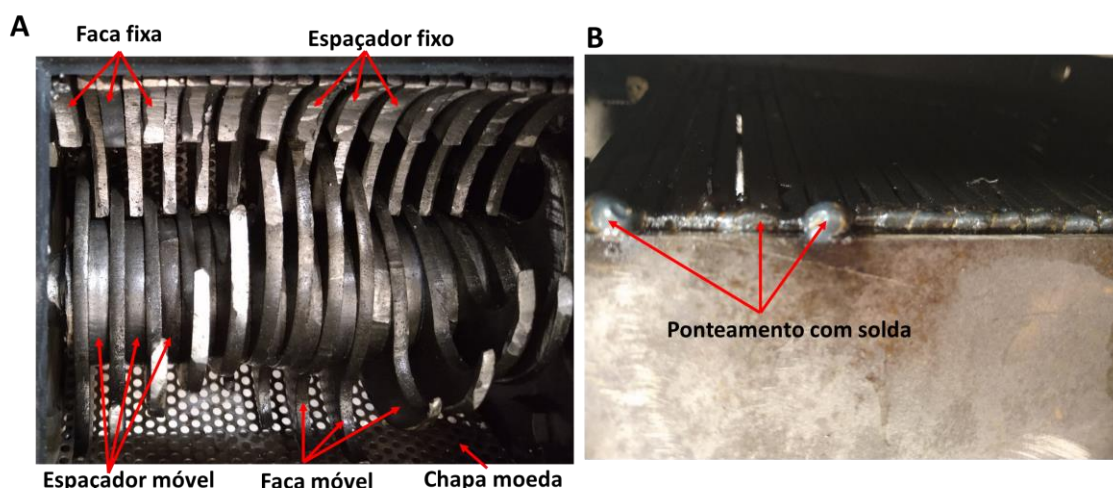
Figura 15 - Pré-montagem do eixo sextavado com o mancal de apoio, buchas espaçadoras e uma faca rotativa



Fonte: Autoria própria (2022)

Os mancais foram fixados nas laterais para regulagem e encaixe das facas e espaçadores móveis. As facas e espaçadores fixos foram pré-montados com as barras roscadas, que foram fixadas nas chapas laterais (Figura 16 A). Depois, foi realizado o ponteamento com solda das facas e espaçadores fixos na chapa frontal da base, tomando cuidado com a regulagem, espaçamento interno e alinhamento (Figura 16 B). Ao invés de utilizar encaixes e parafusos, a base foi soldada para tornar mais rígida a estrutura. A próxima etapa foi soldar a chapa moeda nos dois suportes, regular sua altura em relação as facas móveis e fixá-la no fundo do triturador.

Figura 16 - Fotografia (A) do conjunto de facas e espaçadores montadas na base e (B) do ponteamento com solda



Fonte: Autoria própria (2022)

Foi realizada a soldagem do funil na base do triturador, conforme mostra a Figura 17.

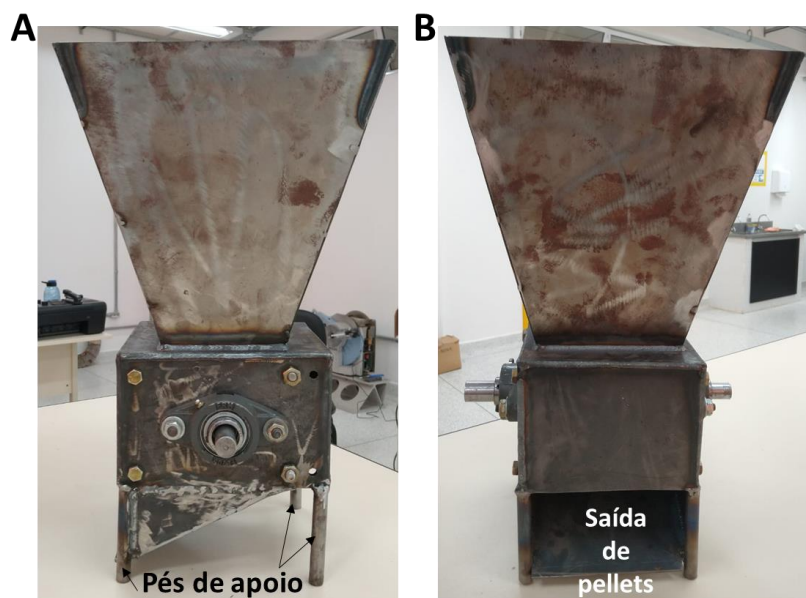
Figura 17 – Fotografia do funil para entrada de resíduos plásticos soldado na base do triturador



Fonte: Autoria própria (2022)

Para finalização do triturador, foram adicionados pés de apoio e saída de produto, como é mostrado na Figura 18.

Figura 18 - Triturador finalizado, (A) vista lateral e (B) vista frontal



Fonte: Autoria própria (2022)

5 CONCLUSÃO

O principal objetivo deste trabalho foi desenvolver um triturador para plásticos, o que foi realizado de forma satisfatória, concluindo todos os objetivos específicos do trabalho.

Ao se realizar as adaptações do projeto em CAD, foi possível especificar os componentes comerciais e matérias primas necessárias para a sua fabricação. Além disso, os processos de fabricação necessários foram escolhidos de acordo com a disponibilidade e necessidade do projeto.

Excluindo-se o corte a plasma, os demais processos de fabricação que foram desenvolvidos permitiram a aplicação prática dos conhecimentos e habilidades adquiridas ao longo do curso de Manutenção Industrial, tais como usinagem em fresadora e torno, soldagem com eletrodo revestido e MIG, medição com paquímetro entre outras atividades.

A simplicidade de montagem e execução do projeto poderá incentivar sua replicação, contribuindo para a reciclagem de plásticos para utilização como matéria-prima para fabricação de filamentos de impressora 3D ou ainda outras aplicações dos pellets.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar a montagem do sistema elétrico para acionamento do triturador.

Realizar testes com diferentes tipos de polímeros no triturador desenvolvido;

Utilizar diferentes malhas para modificar o tamanho dos pellets produzidos.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Brasil produz mais lixo, mas não avança em coleta seletiva**. 2018. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/brasil-produz-mais-lixo-mas-nao-avanca-em-coleta-seletiva/>> Acesso em 08 mai. 2019.

ABRIFAR. Associação Brasileira dos Distribuidores e Importadores de Insumos Farmacêuticos. **Boletim Abrifar nº03**. 2015. Disponível em: <[http://www.abrifar.org.br/novo/Site/anexos/Boletim ABRIFAR 03 O que %C3%A9 e como funciona uma impressora 3D.pdf](http://www.abrifar.org.br/novo/Site/anexos/Boletim_ABRIFAR_03_O_que_%C3%A9_e_como_funciona_uma_impresora_3D.pdf)> Acesso em 08 mai. 2019.

AKOVALI, G; BERNARDO, C.A.; LEIDNER, J.; UTRACKI, L.A.; XANTHOS, M. **Fronteiras na ciência e tecnologia de reciclagem de polímeros**. Nato Asi: Publicações acadêmicas Kluwer, 1998, 351p.

AZEVEDO, F.M. Estudo e projeto de melhoria em máquina de impressão 3D. 2013. 48f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia elétrica com ênfase em mecânica), Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, São Carlos, SP, 2013.

BALZANI, R.N. A produção de impressoras tridimensionais de baixo custo para estudantes de arquitetura. 2017. 100f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Brasília, Distrito Federal, 2017.

BERMAN, B. Impressão em 3D: a nova revolução industrial. **Revista Horizonte de Negócios**, v.55, n.2, 2012, p.155-162.

BLEIJERVELD, B. Plásticos que podem ser reciclados pela impressora 3D. **Projeto de plástico perpétuo**. Holanda, 2014. Disponível em: <<https://perpetualplasticproject.com/blog/2014/5/30/plastis-recycled-for-3dprinting>> Acesso em 08 mai. 2019.

CAMPBELL, I.; BOURELL, D.; GIBSON, I. Manufatura aditiva: a prototipagem rápida atinge a maioria. **Revista de Prototipagem Rápida**, v.18, n.4, 2012, p.255-258.

COELHO, T. Brasil é o 4º maior produtor de lixo plástico do mundo e recicla apenas 1%. **Globo**. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/natureza/noticia/2019/03/04/brasil-e-o-4o-maior-produtor-de-lixo-plastico-do-mundo-e-recicla-apenas-1.ghtml>> Acesso em 08 mai. 2019.

COSTA, A.A.; AURELIANO, F.S.; LOPES, A.O.; RODRIGUES, R.A. Manufatura Digital: Prototipagem rápida com impressoras 3D. In: MOSTRA NACIONAL DE ROBÓTICA, 1., 2015, Uberlândia, MG. **Anais da I MNR**, 2015.

CUNICO, M.W.M. Desenvolvimento de nova tecnologia da manufatura aditiva baseado em formação seletiva de compósito. 2013. 178f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em Projeto Mecânico, Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, 2013.

DEURSEN, F. A revolução das impressoras 3D. **Revista Super Interessante**, v.1, n.314, 2013, p.31-32.

DUDAS, L. **Educação Ambiental**: o ciclo do lixo. Curitiba: 3 R's Educação Ambiental, 2006. In: GONZALEZ, C.E.F. Educação pela ação ambiental: a coleta seletiva de resíduos sólidos em um departamento de instituição de ensino superior. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Curitiba, 2006.

FARIA, F.P. A reciclagem de plástico a partir de conceitos de produção mais limpa. **Revista GEPROS: Gestão da produção, operação e sistemas**, v.6, n.3, 2011, p.1-16.

GIBSON, E.U.; ROSEN, D.W.; STUCKER, B. Tecnologias de manufatura aditiva: prototipagem rápida para direcionar a manufatura digital. Nova Iorque: Springer, 2009.

GOZZO, L.F. Projeto e construção de uma impressora 3D baseada na tecnologia de modelagem por fusão e deposição. 2017. 67f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecatrônica), Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2017.

GUO, N.; LEU, M. C. Manufatura aditiva: tecnologia, aplicações e necessidades de pesquisa. **Revista Fronteiras da Engenharia Mecânica**, v.8, n.3, 2013, p.215-243.

HOLMSTRÖM, J.; PARTANEN, J.; TUOMI, J.; WALTER, M. Manufatura rápida na cadeia de suprimentos de peças de reposição: abordagens alternativas para a implantação de capacidade. **Revista de Gerenciamento de Tecnologia de Manufatura**, v.21, n.6, 2010, p.687-697.

IMPRESSAO3DFACIL. **Conheça os diferentes tipos de materiais para impressão 3D FDM**. 2015. Disponível em: <http://www.impressao3dfacil.com.br/conheca-os-diferentes-tipos-de-materiais-paraimpressao-3d-fdm/>>. Acesso em: 13 jun. 2019.

JETPRINTER. **A impressão 3D já é uma realidade e está revolucionando o mercado**. São Paulo: 2015. Disponível em: <<https://jetprinter.com.br/?p=3651>> Acesso em 08 mai. 2019.

MENDES, A.L.A. Estudo de mecanismos de degradação do polietileno em reciclagem primária. 2005. 157 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Polímeros), Universidade do Minho, Escola de engenharia, Braga, Portugal, 2012.

MIGUEL, P.A.C. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

O INSTALADOR. **98% da produção europeia de plásticos abrangida pelo programa OCS**. 2019. Disponível em: <<https://oinstalador.com/noticia/id/2280/98-da-producao-europeia-de-plasticos-abrangida-pelo-programa-OCS>> Acesso em 09 jul. 2019.

PESSI, F.; PAGLIOSA, T.A. Projeto e Construção de uma mini extrusora de filamentos. 67f. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Pato Branco, PR, 2018.

PESSÔA, V.A.F. Reciclagem e reutilização de materiais poliméricos plásticos. 39f. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais), Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.

PRINTER, Portal Impressão 3d. **Mercado de materiais de impressão 3d pode superar 1 Bilhão de dólares em 5 anos.** 2014. Disponível em: <<http://impressao3dprinter.com.br/blog/2014/12/09/mercado-de-materiais-de-impressao-3d-pode-superar-1-bilhao-de-dolares-em-5-anos/>>. Acesso em: 13 jun. 2019.

RODRIGUES, L.F.B. Análise do aproveitamento de polímeros recicláveis para obtenção de filamentos para impressora 3D. 2017. 43p. Monografia (Especialização em Eficiência Energética aplicada aos processos produtivos), Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Rio Grande do Sul, 2017.

RODRIGUES, V.P.; ZANCUL, E.S.; MANÇANARES, C.G.; GIORDANO, C.M.; SALERNO, M.S. Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações. **Revista GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v.12, n.3, 2017, p.1-34.

SALMORIA, G.V.; CARDENUTO, M.R.; AHRENS, C.H.; LAFRATTA, F. Prototipagem rápida por impressão 3D com resinas fotocuráveis: uma análise sobre as tecnologias disponíveis no mercado nacional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 9., 2007. **Anais do IX CBPol**, Campina Grande, Paraíba, PB.

SANTANA, L. Avaliação de uma impressora 3D baseada em projeto de código aberto na fabricação de peças em PLA. 2015. 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, SC, 2015.

SANTOS, M.A.R. Engenharia reversa: um método orientado a imobilizadores ortopédicos. 2016. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, 2016.

UTIMURA, S.K. Reciclagem de resíduos de equipamentos eletrônicos: separação de ABS e HIPS por flotação. 2014. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2014.

UFSC. Universidade Estadual de Santa Catarina. Laboratório de Ciência, Tecnologia e Inovação. **Projeto e Construção de uma mini extrusora para fabricação de filamentos para impressão 3D.** Florianópolis, 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 13 jun. 2019.

VOLPATO, N. **Prototipagem Rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2007.

WIEBECK, H.; HARADA, J. **Plásticos de Engenharia Tecnologia e Aplicação**. São Paulo: Artiber, 2005.

WISHBOX. **Filamentos para impressão 3D**. 2016. Disponível em: <<http://blog.wishbox.net.br/2016/05/24/filamentos-para-impressao-3d-2/>>. Acesso em: 13 jun. 2019.