

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
FABIO CARLOS BONATO

DIMENSIONAMENTO DE UM TRITURADOR DE FACAS SLITTER

CASCADEL
2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
FABIO CARLOS BONATO

DIMENSIONAMENTO DE UM TRITURADOR DE FACAS SLITTER

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial de avaliação para obtenção do título de Engenheiro Mecânico pelo Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz.

Professor Orientador: Mestre Roberson Roberto Parizotto.

CASCADEL
2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
FABIO CARLOS BONATO

DIMENSIONAMENTO DE UM TRITURADOR DE FACAS SLITTER

Trabalho de fim de curso, apresentado como requisito parcial de avaliação para obtenção do título de engenheiro mecânico pelo centro universitário Assis Gurgacz, sob a orientação do professor Engenheiro Mestre Roberson R. Parizotto.

BANCA EXAMINADORA



ROBERSON R. PARIZOTTO

Centro Universitário da Fundação Assis Grugacz

Mestre Engenheiro Mecânico



ELISEU AVELINO ZANELLO JUNIOR

Centro Universitário da Fundação Assis Grugacz

Mestre Engenheiro Mecânico



SERGIO HENRIQUE RODRIGUES MOTA

Centro Universitário da Fundação Assis Grugacz

Mestre Engenheiro Mecânico

CASCADEL

2017

RESUMO

A reciclagem de resíduos sólidos é uma importante maneira de diminuir a quantidade destes resíduos nos lixões e aterros sanitários, as ações de reciclagem foram incentivadas principalmente pela lei 12.305/10. A empresa Tetra Pak® se utiliza do reaproveitamento de suas embalagens, fazendo a separação para reutilizar o papelão e o resíduo restante da reciclagem também é reaproveitado para a fabricação de telhas. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de fazer o dimensionamento de um triturador de facas rotativas que será utilizado na linha de produção das telhas recicladas. Foram coletados os dados de catálogos de fabricantes de peças e equipamentos para realizar com eficiência o dimensionamento para favorecer a usinagem das peças a serem fabricadas.

Palavras-chave: reciclagem; triturador de material; dimensionamento.

ABSTRACT

Solid waste recycling is an important way to reduce the amount of this waste in landfills and landfills, recycling actions were encouraged mainly by law 12,305 / 10. The company Tetra Pak® uses the reuse of its packaging, making the separation to reuse the cardboard and the remaining residue from the recycling is also reused for the manufacture of tiles. This work was developed with the purpose of designing a rotary knife grinder that will be used in the production line of the recycled tiles. Data from catalogs of parts and equipment manufacturers were collected to efficiently carry out the sizing to favor the machining of the parts to be manufactured.

Keywords: recycling; crusher material; sizing.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Cálculo do torque do motor	35
Equação 2 – Cálculo do torque de saída do redutor.	35
Equação 3 – Tensão de cisalhamento do eixo das facas.	36
Equação 4 – Ângulo máximo de torção no eixo.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades Mecânicas do Alumínio AA8011.	13
Tabela 2 – Propriedades do polietileno de baixa densidade.	14
Tabela 3 – Medidas bucha bronze (tm-23 e tm620) Shock Metais	33
Tabela 4 – Elementos encontrados em revendedores.	37
Tabela 5 – Componentes metalúrgicos não estruturais.	37
Tabela 6 – Elementos estruturais.....	38
Tabela 7 – Elementos de fixação.	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição cartonado <i>Tetra Pak®</i>	12
Figura 2 – Gráfico: tensão X deformação.....	15
Figura 3 – Fases do cisalhamento.	16
Figura 4 – Exemplos de torção em eixos circular e retangular.....	18
Figura 5 – Nomenclatura das partes de uma engrenagem.	20
Figura 6 – Esquematisação de um trem de engrenagens planetárias.	21
Figura 7 – Modelo de mancal de Petroff.	22
Figura 8 – Tela inicial <i>Open Office Calc</i>	24
Figura 9 – Tela principal do <i>app Mechanical Engineering Toolbox</i>	25
Figura 10 – Comparação entre um redutor de eixos paralelos e um planetário.....	26
Figura 11 – Informações do catálogo WEG para a linha de motores w22	28
Figura 12 – Dimensões do motor w22 em mm.....	29
Figura 13 – Catálogo Fresadora Sant'ana.	30
Figura 14 – Dimensões construtivas.	30
Figura 15 – Catálogo de acoplamentos elásticos Mademil.	31
Figura 16 – Composição e dureza aço VCO.....	32
Figura 17 – Tabela barras quadradas laminadas - Aços Continente.....	33
Figura 18 – Modelo 3D da montagem dos eixos nos mancais de deslizamento.	39
Figura 19 – Eixos montados no gabinete.	40
Figura 20 – Sistema de transferência de torque montagem final.	40
Figura 21 – Montagem do equipamento na estrutura.....	41
Figura 22 – Eixo de suporte, tração e rotação das facas.	46
Figura 23 – Espaçadores entre facas.....	47
Figura 24 – Facas.	47
Figura 25 – Bucha do mancal de deslizamento.....	48
Figura 26 – Montagem do eixo das facas.	48
Figura 27 – Suporte do mancal de deslizamento.	49
Figura 28 – Gabinete estrutural.....	49
Figura 29 – Furação para fixação do gabinete.	50
Figura 30 – Montagem do sistema de corte.	50
Figura 31 – Esquematisação da peneira.....	51
Figura 32 – Esboço de montagem da estrutura metálica.	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS	11
1.1.1 Objetivo geral	11
1.1.2 Objetivos específicos.....	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1 EMBALAGENS <i>TETRA-PAK</i>	12
2.2 FENÔMENOS FÍSICOS	14
2.2.1 Limite elástico e plástico.....	14
2.2.2 Tensão de cisalhamento ou tensão de corte	15
2.2.3 Círculo de Mohr	16
2.2.4 Dureza.....	17
2.2.5 Torção de um eixo.....	18
2.3 CORTE <i>SLITTER</i>	19
2.4 ELEMENTOS DE MÁQUINAS	19
2.4.1 Engrenagens	19
2.4.2 Redutores planetários	20
2.4.3 Lubrificação e mancais de deslizamento	22
3 MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1 MATERIAIS	24
3.2 MÉTODOS	25
3.2.1 Estudos dos componentes do equipamento.....	26
3.2.2 Dimensionamento e seleção de componentes já existentes em mercado.	27
3.2.3 Dimensionamento de componentes a serem fabricados.....	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
4.1 CÁLCULOS DOS ESFORÇOS	35
4.2 LISTA DE MATERIAIS	37
4.3 MODELOS 3D DA MONTAGEM DO EQUIPAMENTO.	39
5 CONCLUSÃO	42
5.1 TRABALHOS FUTUROS	43
REFERÊNCIAS.....	44
ANEXOS	46

1 INTRODUÇÃO

Com novas atividades e novas obrigações, progressivamente as pessoas estão com menos tempo para tarefas antes tidas como básicas, assim, o melhoramento de métodos e práticas alimentares criou novos meios para os alimentos serem trazidos da indústria para o consumidor. Porém, esta nova maneira trouxe, como consequência, o aumento da geração de resíduos sólidos domésticos. Com a lei número 12.305/10 que proibiu os lixões a céu aberto e considerando o grande custo que é manter um aterro sanitário, a reciclagem é uma das maneiras encontradas para diminuir a quantidade de resíduos nos aterros.

Para cumprir a lei 12.305/10, institui-se a logística reversa. A Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano, em material informativo, explica:

Logística reversa – conjunto de ações, procedimentos e meios, destinados a facilitar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos aos seus geradores para que sejam tratados ou reaproveitados em novos produtos, na forma de novos insumos em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, visando a não geração de rejeitos.

É o retorno dos seguintes resíduos pós-venda e pós-consumo: agrotóxicos, suas embalagens e demais produtos cujas embalagens sejam resíduos perigosos; pilhas e baterias; óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; pneus; lâmpadas contendo mercúrio e; eletroeletrônicos. Esse instrumento pode ser estendido para os produtos e embalagens cuja logística seja viável técnica e economicamente (BRASIL, 2017).

Na logística reversa, a parceria com empresas recicladoras e separadoras de materiais é de extrema importância. Este estudo aborda especificamente a reciclagem de materiais que serão utilizados na confecção das telhas recicladas e o não descarte destes materiais no meio ambiente, para isso, tem-se a necessidade de investimentos em novas tecnologias e novos projetos.

Dentre as maneiras de diminuir os resíduos que serão destinados aos aterros sanitários, o reaproveitamento dos resíduos para outro fim é uma das soluções encontradas. Com base neste método de reutilização, algumas empresas criaram um modelo que reutiliza caixas de leite longa vida e derivados para a produção de telhas recicladas. A *Tetra Pak®*, por meio de estudos da sua logística reversa, descobriu uma maneira de reaproveitar 100% do papelão de suas embalagens, porém, sobram ainda polietileno e alumínio que podem ter reaproveitamento como matéria prima para produção de telhas.

No processo produtivo das telhas recicladas, um dos processos é a trituração das caixas gerando uma das matérias primas contidas na telha. Este trabalho se centrará no desenvolvimento e dimensionamento de uma máquina trituradora giratória para a transformação das caixas de leite na matéria prima destinada à fabricação das telhas.

O desenvolvimento de um novo equipamento para a trituração das caixas de leite longa vida que serão utilizadas na fabricação das telhas recicladas, justifica toda a pesquisa, cálculos e dimensionamentos deste trabalho.

A baixa produtividade dos equipamentos atuais utilizados pela empresa para a trituração dos resíduos das caixas de leite longa vida constitui uma oportunidade para o desenvolvimento de um novo equipamento com maior rendimento, visando aumentar produção das telhas recicladas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Projetar um triturador de facas *slitter* para a trituração de resíduos de embalagens longa vida para a fabricação de telhas recicladas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Fazer o estudo sobre as partes e peças para a fabricação de um triturador de facas rotativas;
- Dimensionar e escolher materiais e peças do projeto;
- Esboçar como ficará o equipamento montado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

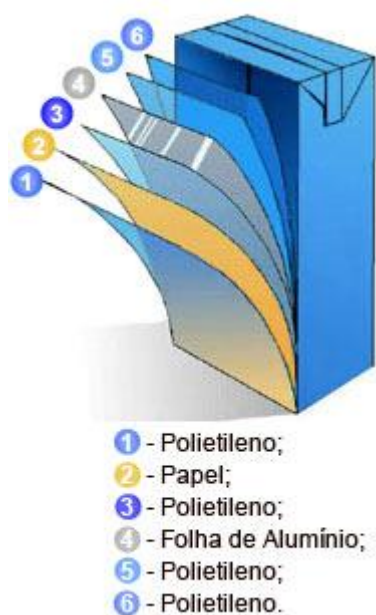
2.1 EMBALAGENS *TETRA-PAK*®

A embalagem *Tetra Pak*® é uma embalagem multicamada composta por materiais diferentes, os quais têm a função de “não deixar entrar o ar, a luz, microrganismos e odores externos e, ao mesmo tempo, preserva o aroma dos alimentos dentro da embalagem” (ABRE, 2012, p. 30).

A preocupação ambiental da empresa *Tetra Pak*® com a correta destinação dos seus produtos foi divulgada por Ciclo Vivo (2014) explicando que no ano de 2013 cerca de 30% das suas embalagens foram recicladas nas 35 empresas recicladoras espalhadas pelo Brasil.

As embalagens *Tetra Pak*® são uma mistura de alguns tipos de filmes. Quartim (2011), em seu artigo, explica que as embalagens cartonadas longa vida são basicamente compostas por três tipos diferentes de materiais: o polietileno, o papelão e o alumínio, os quais são dispostos conforme demonstra a Figura 1.

Figura 1 – Composição cartonado *Tetra Pak*®.



Fonte: Embalagem Sustentável (2011).

Após a coleta e a chegada no centro de reciclagem, a primeira separação das partes da embalagem é feita por um equipamento chamado de “hidrapulper”, o qual agita as embalagens com água, hidratando as fibras do papel e separando-o do alumínio e do polietileno. Ciclo Vivo (2014) explana melhor como é feita a reciclagem:

Nas fábricas de papel, um equipamento chamado hidrapulper agita as embalagens com água, hidratando as fibras de celuloses e separando-as do polietileno e do alumínio. As fibras de papel recicladas podem se transformar em caixas de papelão, tubetes, chapas, palmilhas, produtos em polpa moldada, entre outros.

O polietileno e o alumínio separados na indústria de papel são destinados à fabricação de placas e telhas para a construção civil. Outra alternativa é a extrusão e granulação desse material para a confecção de inúmeras coisas, como canetas, vassouras etc. O polietileno e o alumínio também podem ser submetidos à separação térmica. Com essa tecnologia, o polietileno é transformado em parafina, usado como combustível ou aditivo em lubrificantes e detergentes. Já o alumínio é recuperado na forma de pó ou lingotes de alta pureza, retornando para a indústria de fundição (CICLO VIVO, 2014).

Para o desenvolvimento desta pesquisa, tem-se como direcionamento o estudo do alumínio e polietileno residuais da reciclagem das embalagens longa vida, considerando as propriedades mecânicas dos dois componentes utilizados na embalagem e que são as matérias primas para a fabricação das telhas.

Segundo Rocha Lima (2002, p.02), a liga de alumínio AA8011 é uma das mais versáteis ligas comerciais de alumínio e suas características mecânicas fazem com que seja muito utilizada para a produção de folhas finas utilizadas na indústria de alimentos. A Tabela 1 mostra algumas propriedades mecânicas desta liga de alumínio.

Tabela 1 – Propriedades Mecânicas do Alumínio AA8011.

Ligas (ABNT / ASTM)	Têmpera	Limite de resistência a tração Mpa	Limite de escoamento Mpa	Alongamento Mínimo 50 mm %	Dureza Brinell HB
8011	0	80 a 120	50	12	28

Fonte: Shock Metais (2017)

O polietileno utilizado nas embalagens tem a função de proteger contra umidade externa, oferecer aderência entre as camadas e impedir o contato do alimento com o alumínio (QUARTIM, 2011).

Segundo ABRE (2012, p. 30), o polietileno utilizado nas embalagens é de baixa densidade e a Tabela 2, apresentada por Coutinho (2003, p.3), mostra as propriedades físicas e mecânicas do polietileno de baixa densidade.

Tabela 2 – Propriedades do polietileno de baixa densidade.

Propriedade	Densidade g/cm ³	Limite de resistência a tração Mpa	Limite de escoamento Mpa	Alongamento Máximo %	Dureza Shore D
PEBD	0,912 a 0,925	6,9 a 16	6,2 a 11,5	100 a 800	40 - 50

Fonte: Coutinho (2003, p.3).

Utilizando o conversor de dureza do aplicativo *Mechanical Engineering Toolbox*, observa-se que, quando se converte a faixa do polietileno de baixa densidade, esta fica fora de escala, porém, em conversão HRC, chega-se a um valor de 27,8 a 37,5 HRC. No mesmo artigo, em outro ensaio, Coutinho (2003, p.9) diz que o polietileno de baixa densidade tem uma dureza 10 HRR.

2.2 FENÔMENOS FÍSICOS

2.2.1 Limite elástico e plástico

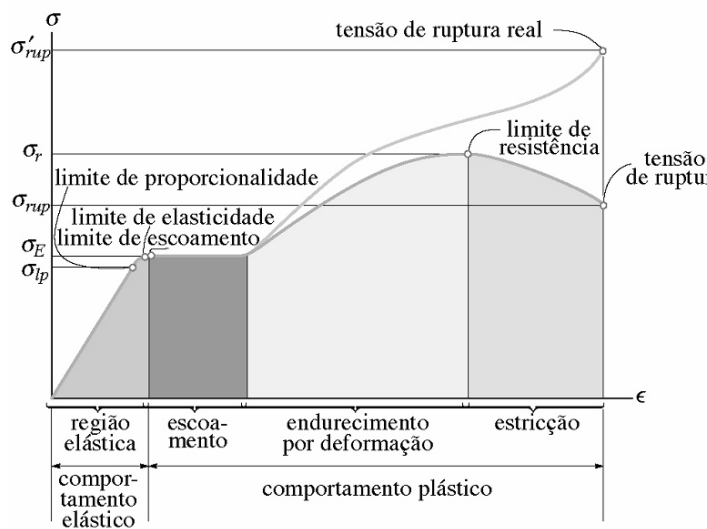
Durante ensaios de tração, observa-se o comportamento do corpo de prova, no qual são percebidas as regiões elásticas e plásticas desse corpo. “A curva resultante deste ensaio é denominada diagrama tensão-deformação” (HIBBELER, 2010, p.58).

Quando um corpo recebe um esforço, ele tende a se deformar, caso este esforço, não ultrapasse a linha elástica do gráfico, o corpo tende a voltar ao estado

inicial. Quando o esforço ao corpo é grande o suficiente para que este atinja o limite elástico do material, o corpo tende a se deformar, entrando na zona plástica, deformando-se até o limite de resistência, em que o corpo se rompe.

A Figura 2, elaborada por Hibberler (2010, p. 58), mostra cada uma das zonas de tensão que o corpo sofre durante a aplicação de um esforço.

Figura 2 – Gráfico: tensão X deformação.



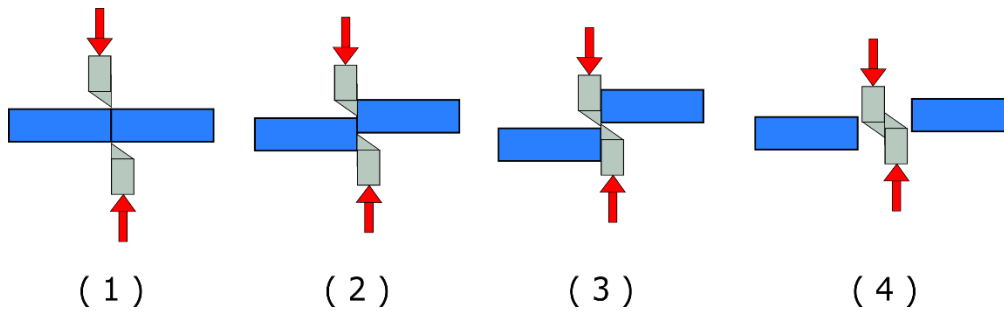
Fonte: Hibbeler (2010, p.58).

2.2.2 Tensão de cisalhamento ou tensão de corte

No estudo de resistências dos materiais, dentre os primeiros conceitos estudados, os conceitos de tensão (força dividido pela área) são estudados, estas tensões são: as tensões normais, tensões axiais e tensões de cisalhamento. Dentre estes conceitos de tensão, o que se tem como principal para o desenvolvimento deste trabalho é a tensão de cisalhamento ou tensão de corte.

“A tensão de cisalhamento de qualquer material se dá quando forças transversais na mesma direção e em sentidos opostos são aplicadas a uma área de uma superfície” (BEER, 2011, p.29). Sua formula utiliza a letra grega τ (tau). A Figura 3 demonstra o princípio de tensão de cisalhamento sobre uma superfície.

Figura 3 – Fases do cisalhamento.



Fonte: O autor.

Uma força é aplicada sobre uma superfície, na mesma direção, mas em sentido contrário a uma força resultante também é aplicada, isto causa uma tensão no material, fazendo com que ocorra a deformação elástica do mesmo até a sua ruptura e a separação do material cortado. Segundo Hibbeler (2010, p.21), “é um exemplo de cisalhamento simples ou direto, visto que o cisalhamento é causado pela ação direta da carga F ”.

Ainda sobre o cisalhamento, tem-se uma visão geral de Norton do seu efeito de tensão de corte sobre uma superfície plana.

O cisalhamento puro ocorre em situações em que não há flexão presente. Uma tesoura é projetada para produzir cisalhamento puro no material a ser cortado. Uma tesoura de baixa qualidade ou gasta não cortará bem (mesmo se afiada) se permitir a existência de folga entre as duas lâminas em uma direção perpendicular ao movimento delas (NORTON, 2013, p.153).

Aqui, nota-se o aparecimento da palavra tesoura quando se refere à tensão de cisalhamento, este conceito será explicado mais a frente quando focar em corte *slitter*.

2.2.3 Círculo de Mohr

O círculo de Mohr foi desenvolvido pelo engenheiro Otto Mohr, o método do círculo de Mohr “se baseia em considerações geométricas simples, não requerendo fórmulas especializadas” (BEER, 1995, p.614). Baseia-se no triângulo retângulo e no teorema de Pitágoras para encontrar a tensão máxima exercida sobre o corpo.

Para a formulação do círculo de Mohr, “necessitamos da média das tensões normais em X e Y e o valor da tensão de cisalhamento” (BEER, 1995, p.615).

Hibbeler (2010, p.368) mostra um pequeno roteiro de como fazer o círculo de Mohr, mostrando os pontos e a resultante final do círculo. Resumindo:

1. Definir um sistema de coordenadas em que a abscissa representa a tensão normal positiva para a direita e a ordenada representa metade do valor da tensão de cisalhamento;
2. Utilizando conversão de sinal positiva para as tensões de X e Y, determinar o centro do círculo C, localizado no eixo da abscissa, sendo a distância entre a origem e a média dos valores de X e Y;
3. Marcar o ponto A cujas coordenadas são: no eixo das abscissas, a diferença entre as tensões X e Y dividido por dois; no eixo das ordenadas, a tensão de cisalhamento dividido por dois;
4. Ligar o ponto A ao centro C do círculo e pelo triângulo formado, determinar o raio R, uma vez determinado, traçar o círculo.

Assim, pode-se concluir que, para o tipo de tensão que interessa ao estudo, “Observamos que, quando ocorre o cisalhamento puro, as tensões em X e Y são iguais a zero, mostrando que a tensão total é igual à tensão de cisalhamento” (BEER, 1995, p.620).

2.2.4 Dureza

Dureza é uma propriedade dos materiais que “consiste em uma medida de resistência de um material a uma deformação plástica localizada” (CALLISTER, 2008, p.114).

As principais escalas para medir a dureza de um material apresentadas, segundo Infosolda (2017), são a Rockwell e a Brinell. Os ensaios de dureza são realizados em um equipamento chamado durômetro, em que o corpo de prova é colocado e uma ponta padrão (podendo ser uma esfera de metal ou uma ponta de diamante) encosta no corpo de prova, com um peso padrão forçando a ponta sobre o corpo de prova, assim determinando o seu ponto na escala de dureza.

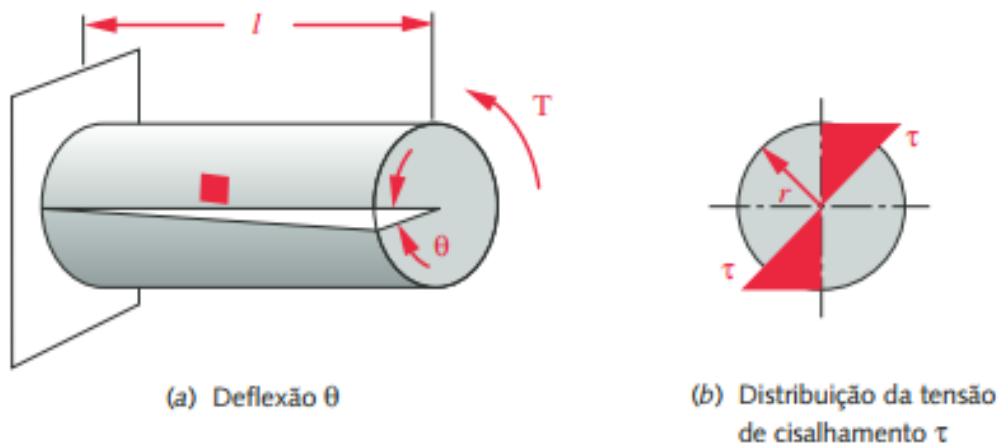
Para Callister (2008, p.119), existe uma relação entre a resistência, a tração e a dureza de um metal, pois os dois estão diretamente ligados à deformação plástica que ocorre com este metal.

2.2.5 Torção de um eixo

A transmissão de potência através de torção é um dos principais meios utilizados em máquinas, podendo transmitir força de uma unidade motriz para uma unidade motora através de um eixo ligando os dois pontos (BEER, 1995, p.195).

A unidade motriz através de rotação e a resistência à rotação da unidade motora geram uma tensão de cisalhamento sobre o eixo, o qual acaba sofrendo rotação e gerando a transmissão de torque de uma extremidade a outra do eixo. “Uma peça encontra-se submetida a um esforço de torção, quando sofre ação de um torque em uma das extremidades e um contratorque na extremidade oposta” (MELCONIAN, 2009, p.20).

Figura 4 – Exemplos de torção em eixos circular e retangular.



Fonte: Norton (2013, p. 1771).

A geometria do eixo influencia diretamente como algumas aplicações presentes no projeto podem ser dimensionadas, principalmente nos eixos que serão utilizados na transmissão de torque no equipamento. Sobre isso, Budynas diz:

Existem certas aplicações em maquinaria para membros de secção transversal não circular e eixos em que uma secção transversal poligonal regular é útil ao transmitir torque para uma engrenagem ou polia que pode apresentar uma mudança axial de posição. Como não há necessidade de chaveta ou rasgos de chaveta, a possibilidade de uma chaveta perdida é evitada (BUDYNAS, 2011, p.123).

2.3 CORTE *SLITTER*

O corte *slitter* é um corte em que uma bobina de algum material é desenrolada e passa através das tesouras rotativas, as quais, através de um corte longitudinal, diminuem o material da bobina em tiras de menor largura. Cipriano (2011) diz que mesmo sendo um processo importante na indústria brasileira, a literatura técnica disponível é quase inexistente, contando apenas com experiência de profissionais e alguma literatura traduzida de outros idiomas.

Os principais materiais cortados por este tipo de faca são as bobinas de metal, já mencionados anteriormente e as bobinas de papel/papelão utilizados pela indústria gráfica, mostrando a versatilidade deste tipo de tesoura para o corte de materiais sólidos. “A escolha do material da faca e o tratamento térmico são essenciais para garantir a vida útil da ferramenta” (CIPRIANO, 2011, p.6). Por se tratar de um material relativamente mole e de fácil corte, o alumínio e o polietileno, podem ser cortados com uma faca, com uma dureza de médio grau.

2.4 ELEMENTOS DE MÁQUINAS

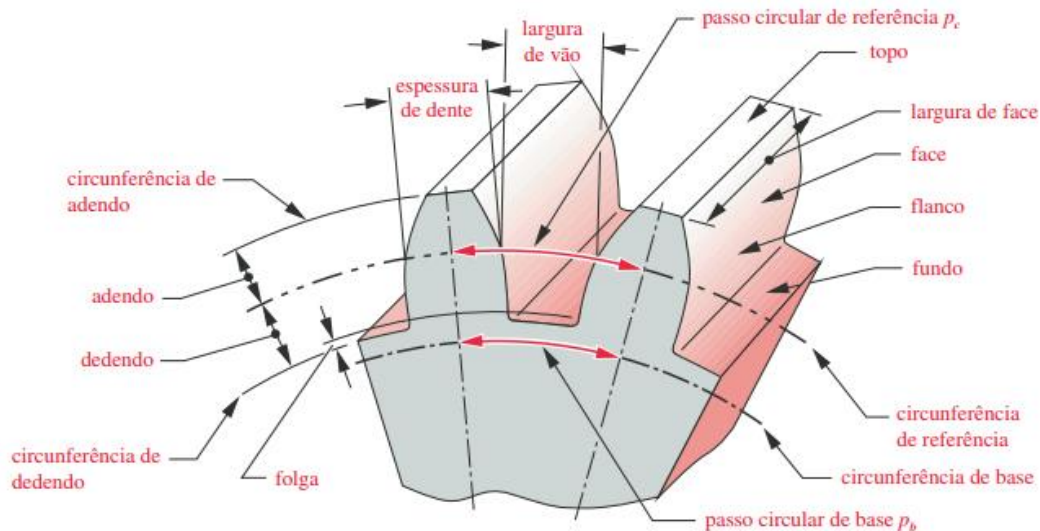
2.4.1 Engrenagens

A lei fundamental das engrenagens diz que “a razão da velocidade angular das engrenagens de um par de engrenagens deve-se manter constante durante o engrenamento” (NORTON, 2013, p.683), ou seja, com a razão das velocidades angulares constantes, a diferença entre os raios da engrenagem menor para a engrenagem maior, faz que exista uma diferença entre a velocidade angular destas

engrenagens, criando assim uma relação de transmissão. Na figura 4, observam-se as partes de uma engrenagem.

Ainda segundo Norton (2013, p. 684), uma relação comum de engrenagens de diferentes diâmetros, com uma engrenagem menor motora e uma engrenagem maior motriz, diminui a velocidade angular da engrenagem maior, porém, aumentando o torque final desta, assim podendo ser utilizada uma pequena potência para o acionamento de grandes cargas. Para que haja engrenamento entre duas engrenagens, é condição indispensável que os módulos sejam iguais (MELCONIAN, 2009, p.26).

Figura 5 – Nomenclatura das partes de uma engrenagem.



Fonte: Norton (2013, p.690).

Para que ocorra a mudança das relações entre os eixos, outros elementos mecânicos devem ser adicionados aos eixos, “engrenagens, polias de correias ou rodas dentadas de correntes podem ser incorporados para proporcionar o torque e mudança de velocidade entre eixos” (BUDYNAS, 2011, p.940).

2.4.2 Redutores planetários

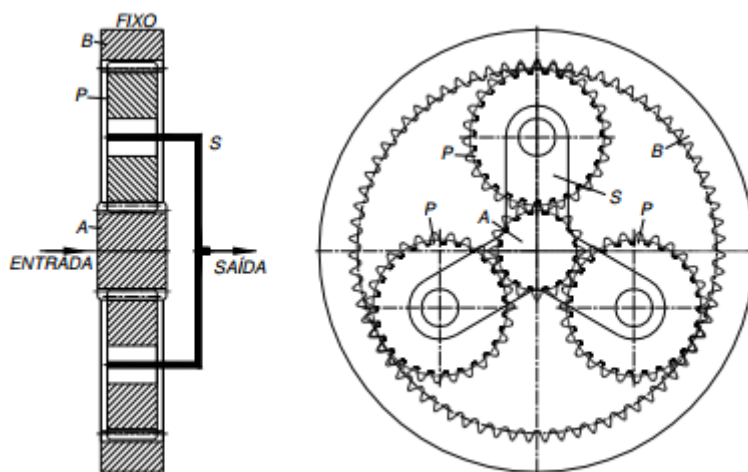
A utilização de trens de engrenagens planetárias tem algumas vantagens sobre os trens de engrenagens convencionais: “entre as quais estão: a obtenção de

razões de trem maiores em pacotes menores, reversão garantida e saídas simultâneas, concêntricas, bidirecionais a partir de uma entrada única unidirecional” (NORTON, 2013, p.699).

Como descrição do seu funcionamento: “As engrenagens planetárias são engrenadas com eixo pinhão solar e possuem um movimento giratório transmitido ao suporte planetário que é apoiado por mancais (FRESADORA SANT’ANA, 2017, p.2).

Entende-se como redutores planetários, uma caixa de redução constituída de quatro elementos principais: “pinhão solar (A), engrenagem interna (B) suporte planetário (S) e engrenagens planetárias (P)” (FRESADORA SANT’ANA, 2017, p.2). A Figura 6 esquematiza esta descrição:

Figura 6 – Esquematização de um trem de engrenagens planetárias.



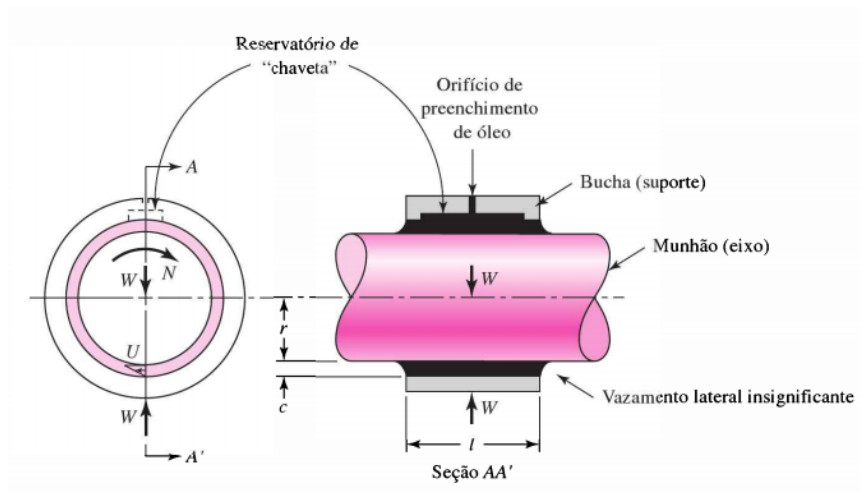
Fonte: Fresadora Sant’ana (2017).

Segundo o fabricante *Comer Industries* (2014, p.a7) seus redutores planetários são fornecidos ao mercado em 23 tamanhos e selecionados em função dos momentos de torção que podem ser transmitidos no eixo de saída. E ainda que a relação de transmissão tenha uma variação de 3,43:1 a 8,76:1 no caso de redutor de um estágio até 8900:1 com redutor de cinco estágios. O rendimento dos redutores da *Comer Industries*, quando utilizada a correta lubrificação, é considerado de alto desempenho, variando entre 0,97 e 0,98 para cada estágio de redução (COMER, 2014, p.a11).

2.4.3 Lubrificação e mancais de deslizamento

Uma importante parte no estudo de elementos de máquinas e movimentos entre elementos é a lubrificação, logo que esta tem o objetivo de: “reduzir a fricção, o desgaste e o aquecimento de partes de máquinas que se movem em relação umas a outras” (BUDYNAS, 2011, p.624). Almeida (2017, p.445) diz que o primeiro engenheiro a descrever e estudar o comportamento de atrito de um mancal em um eixo foi o engenheiro Petroff, o qual desenvolveu um modelo, descrevendo as partes e o seu o funcionamento referente à lubrificação.

Figura 7 – Modelo de mancal de Petroff.



Fonte: Budynas (2011, p. 628).

A lubrificação hidrodinâmica é uma lubrificação na qual existe uma camada de óleo que separa as superfícies do eixo e do mancal. A grande eficiência na utilização da lubrificação hidrodinâmica em conjuntos eixo mancais se dá logo: “À medida que começa a rodar, a linha de centro do eixo muda excentricamente dentro do mancal e o eixo atua como uma bomba puxando o filme de óleo, aderido à sua superfície ao redor junto com ele” (MELCONIAN, 2009, p.629).

O principal objetivo de um mancal, segundo Almeida (2017, p.443), é servir de apoio a uma árvore ou eixo que possui movimento de giro ou oscilação, e a grande diferença entre este tipo de mancal e o mancal de rolamentos é que existe uma pequena película de óleo lubrificante entre as superfícies do mancal e do eixo.

Para Norton (2017, p.631), o material que será utilizado para a fabricação do mancal deverá possuir $1/3$ da dureza do eixo. As principais propriedades buscadas em materiais para a fabricação de mancais são: “suavidade relativa (para absorver partículas estranhas), resistência razoável, usinabilidade (para manter as tolerâncias), lubricidade, resistência à temperatura e corrosão, além disso, em alguns casos, porosidade (para absorver lubrificantes)” (NORTON, 2013, p.631).

As ligas de bronze possuem as características para sua utilização como mancais de deslizamento:

A família de ligas de cobre, principalmente bronzes, é uma escolha excelente para mancais que correm contra aço e ferro fundido. O bronze é mais brando que os materiais ferrosos, mas tem boa resistência, usinabilidade e resistência à corrosão, correndo bem contra as ligas ferrosas quando lubrificado. Há cinco ligas comuns de cobre usadas em mancais: cobre-chumbo, chumbo-bronze, estanho-bronze, alumínio-bronze e cobre-berílio. Elas têm um intervalo de dureza desde aquela dos *babbitts* até próximo às do aço. As buchas de bronze podem suportar a lubrificação de contorno e podem suportar cargas elevadas e altas temperaturas (NORTON, 2013, p.632).

A relação entre o comprimento do mancal e a espessura do eixo, para Melconian (2009, p.230), sendo considerada normal, varia entre 0,8 a 1,2, considerando que, acima dessa faixa, os mancais são mais sensíveis ao desalinhamento pela flexão do eixo, fazendo com que a espessura da película lubrificante seja muito alta.

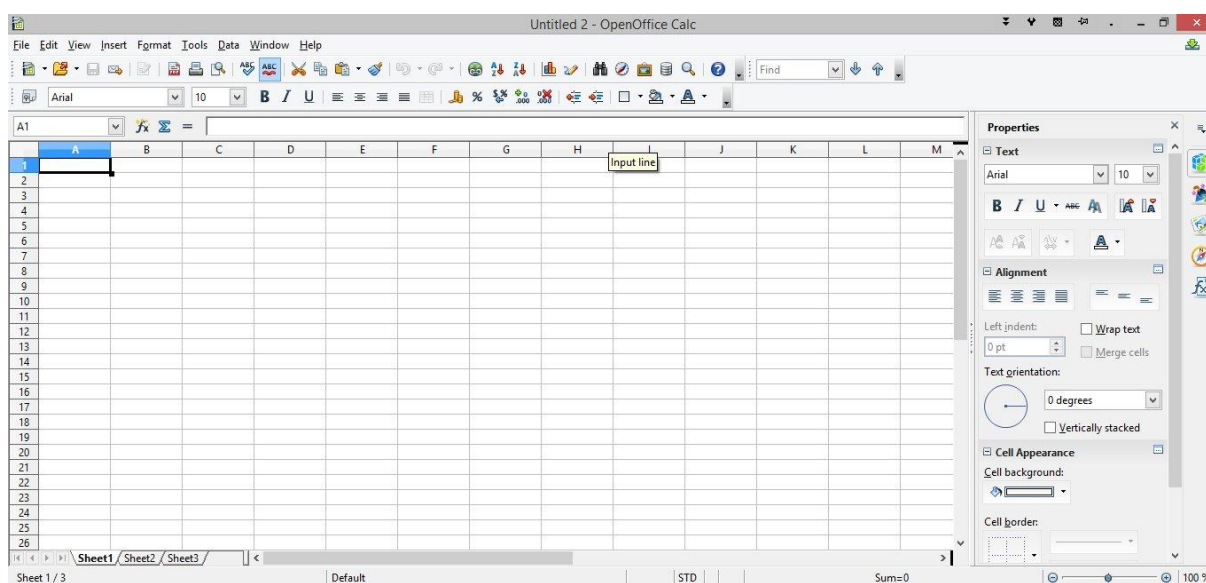
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Como o avanço das tecnologias, a informática deu um grande salto e facilitou diversos trabalhos dos engenheiros e projetistas que agora podem ser mais facilmente feitos. O computador utilizado é um notebook Samsung Série 5, com processador i7 e 8 Gb de memória, com placa de vídeo 3d integrada ao hardware, fazendo que tenha um ótimo desempenho para a parte gráfica e a elaboração dos desenhos e esboços.

Para o processamento, cálculo e organização dos dados, o software utilizado é da família *Apache Open Office 4.1.3*, mais precisamente a planilha de cálculo *Calc*.

Figura 8 – Tela inicial *Open Office Calc*



Fonte: O autor.

A fim de auxiliar em algumas conversões e, principalmente por se tratar de um *app* desenvolvido especialmente para suas aplicações em engenharia mecânica, o *Mechanical Engineering Toolbox*, para celulares com *Android*, será utilizado para a pesquisa de algumas fórmulas e auxílio em algumas dúvidas recorrentes durante a

execução deste trabalho, também por se tratar de um novo tipo de tecnologia agregando valor a este trabalho.

Figura 9 – Tela principal do *app Mechanical Engineering Toolbox*.



Fonte: O autor.

Esboçar é desenhar as ideias e acertar a montagem de um equipamento, testando-o antes de começar o protótipo. É de total importância a utilização de um software de edição de imagens e produção vetorial de alto desempenho, neste quesito o *Solidworks* se encaixa perfeitamente para seu uso em engenharia mecânica.

Os conhecimentos adquiridos durante o período do curso foram obtidos principalmente graças a autores e seus livros. Com esses conhecimentos e o estudo durante todo o curso, foi utilizada uma vasta bibliografia na execução deste trabalho, os quais serão citados nas referências bibliográficas deste trabalho.

Também aplicando na prática os conhecimentos adquiridos durante o curso e com o auxílio de catálogos técnicos de fabricantes, peças e componentes, foi possível o estudo e o aprofundamento necessário a fim de procurar e auxiliar na sugestão de alguns itens que poderão fazer parte do equipamento final.

3.2 MÉTODOS

O projeto se limita a pesquisar, avaliar e dimensionar as partes de um triturador de facas rotativas para a reciclagem de resíduos de embalagens Tetra Pak.

3.2.1 Estudos dos componentes do equipamento.

Pelo tipo de equipamento a ser produzido, e por se tratar de esforços variáveis, inicialmente começou a ser selecionado o motor que fará todo o sistema funcionar. Foi estipulada a utilização de um motor de 15 cv.

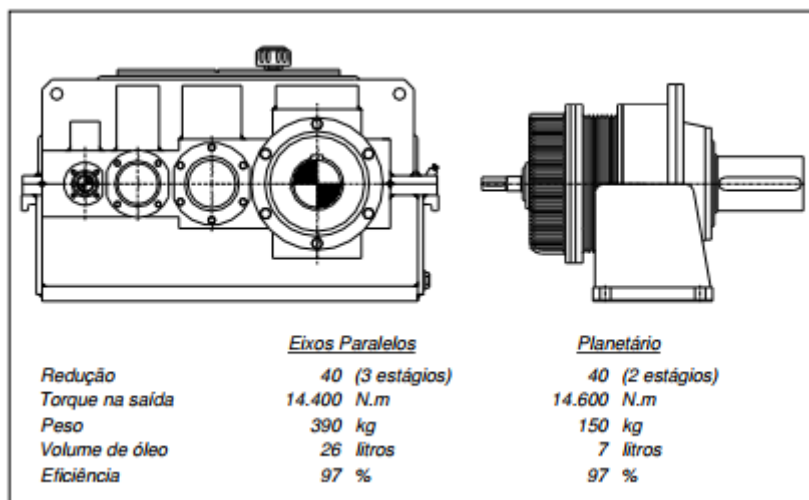
Por se tratar de um grande fabricante mundial, e ser um produto de procedência nacional, de excelente qualidade e preço competitivo, foram utilizados, para a base de cálculo, os motores WEG.

Conseguir uma grande quantidade de torque, com a aplicação de pouca potência, porém, com a perda de velocidade:

Um par de engrenagens é essencialmente um dispositivo de troca de torque por velocidade e vice-versa. Uma aplicação comum das engrenagens reduz a velocidade e aumenta o torque para mover cargas mais pesadas, como na transmissão de seu automóvel. Outras aplicações requerem um aumento na velocidade, para o qual uma redução no torque deve ser aceita (NORTON, 2013, p.684).

Para Fresadora Sant'ana (2017, p.2), a principal vantagem de um redutor de engrenagens planetárias sobre as engrenagens paralelas são as menores dimensões, logo que a quantidade de estágios para uma mesma redução é menor que o de engrenagens de eixos paralelos.

Figura 10 – Comparação entre um redutor de eixos paralelos e um planetário.



Fonte: Fresadora Sant'ana (2017, p.2).

O redutor de engrenagens planetárias foi o escolhido para ser utilizado neste projeto. O modelo selecionado deve se adaptar para os requisitos de acoplamento e rendimento.

O eixo que sustenta as facas e os espaçadores é um eixo que recebe cargas variantes que, em alguns momentos, a carga será zero e, em alguns, a carga será grande. Por este motivo, a escolha de um eixo de perfil não circular, como um sextavado ou quadrado, fará com que chavetas para o travamento das facas no eixo não seja necessário no sentido axial, apenas o travamento longitudinal das facas será necessário.

Para o sistema de deslizamento dos eixos, será um sistema de mancal de deslizamento, utilizando uma liga de bronze ou latão, com a lubrificação necessária para a temperatura e pressão provenientes entre o atrito do eixo com o mancal.

As facas de corte são o elemento principal de todo o equipamento. Como elas trabalharão com um material relativamente dúctil, sua dureza será um pouco alta para a maior durabilidade dos equipamentos. Suas faces passarão por um processo de usinagem para o melhor acabamento superficial e melhor precisão nas tolerâncias das medidas, com um tratamento térmico para o endurecimento de sua crosta.

Os espaçadores têm a função de separar uma faca de outra em um dos eixos e, ao mesmo tempo, servir de entrada para as facas opostas no eixo paralelo do equipamento. Também serão usinados para manter as mesmas características das facas, além do mesmo tratamento térmico para endurecimento.

Todo esse sistema terá um gabinete, no qual serão montadas todas as partes móveis. Este gabinete será fabricado para aguentar todos os esforços realizados no equipamento, sendo dimensionado para este fim.

3.2.2 Dimensionamento e seleção de componentes já existentes em mercado.

Utilizando o catálogo de produtos da fabricante WEG (2017), percebeu-se que o modelo mais básico e que atende as normas de legislação é o da família W22 IR2, por isso, esse modelo será utilizado. No catálogo diz: “A Lei de Eficiência Energética - Portaria Nº 553 - define valores mínimos de rendimento para motores

de 1 a 250 cv. Nessa faixa de potência, todos os motores WEG ultrapassam os níveis de rendimento mínimo exigido” (WEG, 2017, p.38).

A Figura 11 apresenta um fragmento do catálogo que mostra as especificações do motor e, com estas, será possível dar início a seleção deste.

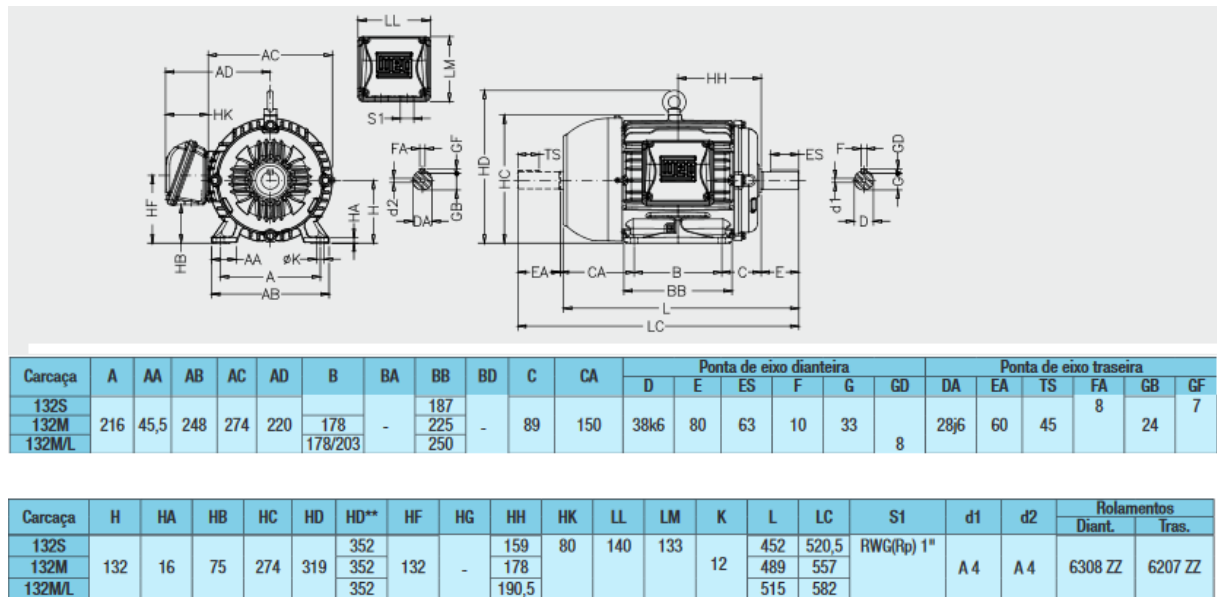
Figura 11 – Informações do catálogo WEG para a linha de motores w22

Potência		Carcaça	Conjugado Nominal (kgfm)	Corrente com Rotor Bloqueado Ip/In	Conjugado de Partida Cp/Cn	Conjugado Máximo Cmax/Cn	Momento de Inércia J (kgm²)	Tempo máximo com rotor bloqueado (s)		Massa (kg)	Nível médio de pressão sonora dB(A)	Fator de Serviço	RPM	220 V							Corrente Nominal In (A)
														% de Carga							
								Rendimento						Fator de Potência							
kW	HP	50	75	100	50	75	100														
IV polos																					
0,12	0,16	63	0,068	4,6	2,5	3,1	0,0004	37	81	7,6	48	1,15	1715	53,0	60,0	64,0	0,44	0,55	0,64	0,769	
0,18	0,25	63	0,103	4,7	2,4	2,9	0,0006	30	66	8,1	48	1,15	1705	57,0	64,0	68,0	0,47	0,59	0,68	1,02	
0,25	0,33	63	0,143	5,0	2,6	3	0,0007	25	55	8,6	48	1,15	1705	62,0	68,0	70,0	0,47	0,60	0,69	1,36	
0,37	0,5	71	0,215	4,6	2,4	2,5	0,0007	35	77	10,6	47	1,15	1680	68,0	71,0	72,0	0,50	0,63	0,72	1,87	
0,55	0,75	71	0,319	5,1	2,9	2,9	0,0008	31	68	11,6	47	1,15	1680	71,0	74,5	75,5	0,50	0,63	0,72	2,66	
0,75	1	80	0,422	6,6	2,4	2,8	0,0032	8	18	16,3	48	1,15	1730	77,5	80,0	80,5	0,57	0,71	0,81	3,02	
1,1	1,5	80	0,625	6,8	3,15	3	0,0032	11	24	16,2	48	1,15	1715	78,0	81,0	81,6	0,58	0,71	0,79	4,48	
1,5	2	90S	0,840	7,1	2	2,8	0,0049	11	24	19,5	51	1,15	1740	81,0	83,5	84,2	0,57	0,70	0,78	6,00	
2,2	3	90L	1,24	6,5	1,95	2,5	0,0063	10	22	23,6	51	1,15	1735	83,8	84,8	85,1	0,64	0,76	0,83	8,18	
3	4	100L	1,68	7,0	2,7	2,9	0,0105	8	18	33,6	54	1,15	1735	85,6	86,3	86,5	0,58	0,70	0,78	11,7	
3,7	5	100L	2,09	8,0	3	3,6	0,0097	11	24	33,6	54	1,15	1725	85,0	87,0	88,0	0,58	0,70	0,78	14,1	
4,5	6	112M	2,52	6,2	2,1	2,75	0,0180	18	40	43,7	56	1,15	1740	88,0	88,5	88,5	0,62	0,74	0,81	16,6	
5,5	7,5	112M	3,08	6,3	2,1	2,7	0,0180	16	35	45,7	56	1,15	1740	88,4	89,1	90,0	0,59	0,72	0,79	20,2	
7,5	10	132S	4,15	7,9	2	3,2	0,0489	12	26	66,4	58	1,15	1760	90,0	90,8	91,0	0,66	0,78	0,84	25,8	
9,2	12,5	132M	5,09	8,0	2,05	3,1	0,0563	10	22	74,8	58	1,15	1760	90,0	90,8	91,0	0,67	0,79	0,84	31,4	
11	15	132M/L	6,09	8,2	2,15	3,2	0,0638	8	18	82,4	58	1,15	1760	90,5	91,2	91,7	0,67	0,79	0,85	37,2	
15	20	160M	8,23	7,1	2,7	3	0,1188	11	24	129,4	64	1,15	1775	91,0	92,4	92,4	0,64	0,75	0,81	52,6	
18,5	25	160L	10,2	7,6	2,7	3	0,1397	10	22	147,3	64	1,15	1770	92,0	92,8	92,8	0,64	0,75	0,81	64,6	

Fonte: WEG (2017, p.38).

As principais informações a serem utilizadas agora são a potência, torque, eficiência, quantidade de pólos e a carcaça, as quais registram as dimensões do motor. Sabendo que a carcaça é a 132M/L e, procurando no catálogo da WEG (2017), têm-se as seguintes dimensões que serão utilizadas como padrão no dimensionamento das estruturas do equipamento:

Figura 12 – Dimensões do motor w22 em mm.



Fonte: WEG (2017, p.43).

Para a realização da redução de velocidade do motor para os eixos e, conseqüentemente, o aumento do torque, foi procurado no catálogo técnico da empresa Fresadora Sant'ana (2017), um redutor de velocidade planetário que correspondesse às características de saída do motor, onde:

Potência de saída máxima do motor: 15 hp ou 11 kw;

Diâmetro do eixo: 38 mm;

Rotação: 1750 rpm.

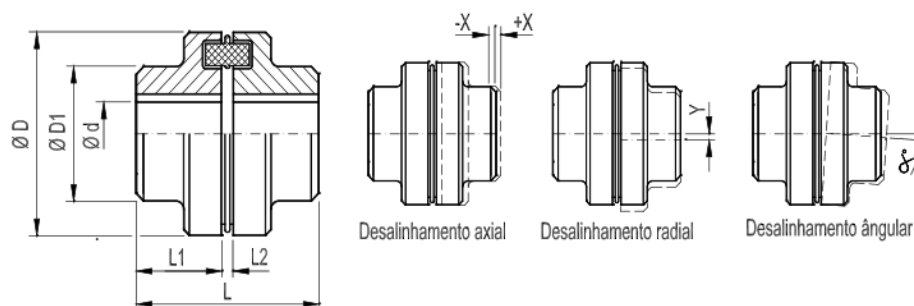
Como foi definido que o equipamento trabalhe a aproximadamente 60 rpm e utilizando as características acima descritas, foi encontrado que o redutor planetário seria o modelo de um tamanho número 2, em que o eixo de entrada tem os mesmos 38 mm do eixo de saída do motor.

A Figura 13 mostra os detalhes encontrados no catálogo da Fresadora Sant'ana:

Para a junção entre o eixo de saída do redutor planetário e o eixo das facas, será utilizado um acoplamento elástico. No catálogo técnico da Mademil (2017), os acoplamentos elásticos: “são compostos por dois cubos simétricos de ferro fundido cinzento, e um elemento elástico alojado entre eles” (MADEMIL, 2017). No qual se encontra também o modelo que atende ao maior diâmetro dos eixos a serem acoplados.

Figura 15 – Catálogo de acoplamentos elásticos Mademil.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	D	D1	Ø máx	L	L1	L2	Torque Nominal kgf·m	rpm máx.	J Kg·m²	Peso total	Desalinhamento		
												Axial ± X	Radial Y	Angular α°
9.27	GR 295	295	214	135	308	150	8,0±2,5	770	2250	0,6856	88,90	2,5	0,8	1,2
9.17	GR 082	82	57	38	85	41	3,0 ± 1,0	9,0	8000	0,0012	1,92	1,0	0,5	1,5



Fonte: Mademil (2017).

Foi selecionado o modelo GR 295, visto que o diâmetro máximo do eixo de trabalho é 135 mm, estando em conformidade com o eixo de saída do redutor de 130 mm. Em conversão, chega-se a um torque máximo de 7551,12 Nm.

Para o acoplamento do eixo do motor com o eixo do redutor, considerando que os dois possuem 38 mm de diâmetro, foi selecionado o modelo GR 082 que correspondente ao diâmetro máximo de 38 mm, atendendo as especificações destes. Transformando o torque máximo, tem-se 88,26 Nm.

3.2.3 Dimensionamento de componentes a serem fabricados.

Sendo o principal componente do equipamento responsável pelo corte dos materiais, as facas serão de um material com maior dureza que o polietileno e o alumínio. Nesses materiais, além da dureza natural, o tratamento térmico superficial, faz com que esta dureza seja aumentada.

No catálogo da produtora de aços especiais Vilares Metais (2017), o aço VCO é um material utilizado para: “Matrizes de gravuras rasas para forjamento a quente em martelos, facas de tesouras para corte a frio ou a quente de tarugos e chapas de aço” (VILARES METAIS, 2017). Assim, percebe-se que o VCO se encaixa no quesito produção de facas. No mesmo catálogo, a dureza de trabalho do VCO é entre 44 a 55 HRC sem o tratamento térmico.

Figura 16 – Composição e dureza aço VCO.

Villares Metals	Similares / Similar ABNT ASTM SAE AISI	DIN Wnr	C %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	W %	V %	Outros / Others %	Dureza de Utilização HRC / HRC Application Hardnesses
VCO	-	1.2721	0,50	0,50	1,00	3,25	0,30	-	-	-	44-55

Fonte: Vilares Metais (2017).

Para o melhor ajuste das arestas de cortes, as facas passarão por um processo de retificação, onde terão sua espessura rebaixada. Sugere-se que a espessura do VCO seja o de 5/8”(15,875 mm), assim, após a retificação de ambas as faces da faca, estas terão uma espessura final de 15 mm.

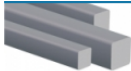
O mesmo processo se aplica aos espaçadores, que serão retificados para o perfeito ajuste intercalado das facas que estarão nos eixos contrários. Com a colocação de 25 facas e 25 espaçadores, o comprimento interno de todo o eixo de corte será de 750 mm, medida que inicia o dimensionamento das proporções de todo o equipamento.

A fixação das facas e dos espaçadores no eixo será feita por dilatação térmica, em que as facas e espaçadores serão aquecidos, encaixados no eixo e, ao decorrer do tempo com o resfriamento e a compressão do material, voltarão ao tamanho original, fixando-se no eixo e evitando a movimentação lateral. A fim de auxiliar também para evitar a movimentação lateral, cada espaçador terá um furo de 6 mm roscado parcial, para parafuso allen sem cabeça de M6 x 10 para o travamento junto ao eixo.

Para o suporte das facas, espaçadores e a transmissão de força para as facas, o eixo, como já definido, não utilizará um perfil circular, mas um perfil quadrado. Observa-se que a maior barra de perfil quadrado é a de 101,5 mm. Esta barra, depois de cortada e as pontas usinadas para o encaixe das engrenagens, mancais e acoplamentos, será retificada, ficando com 100 mm livres. Suas pontas

serão usinadas para o encaixe dos mancais e dos acoplamentos que a ligarão ao redutor de velocidade.

Figura 17 – Tabela barras quadradas laminadas - Aços Continente.



Barra Quadrada Laminada

Bitola		Peso teórico kg/m	Bitola		Peso teórico kg/m
pol.	mm		pol.	mm	
1/4"	6,35	0,32	2"	50,80	20,24
5/16"	7,94	0,50	2 1/4"	57,15	25,62
3/8"	9,53	0,71	2 3/8"	60,33	28,54
1/2"	12,70	1,27	2 1/2"	63,50	31,62
5/8"	15,88	1,98	2 5/8"	66,68	34,87
3/4"	19,05	2,85	2 3/4"	69,85	38,27
7/8"	22,23	3,88	2 7/8"	73,03	41,82
1"	25,40	5,06	3"	76,20	45,54
1 1/8"	28,58	6,40	3 1/8"	79,38	49,41
1 1/4"	31,75	7,91	3 1/4"	82,55	53,44
1 5/16"	33,34	8,73	3 1/2"	88,90	61,98
1 1/2"	38,10	11,40	3 3/4"	95,25	71,15
1 3/4"	44,45	15,51	4"	101,6	81,03

Fonte: Aços Continente (2017).

A chaveta para o travamento dos eixos das facas com o acoplamento elástico será selecionado conforme tabela fornecida por Norton (2013, p.571), definindo que para um eixo entre $85 < d < 95$ mm, a chaveta a ser utilizada é de 25 x 14 mm e, no eixo, um rasgo de 25 x 7 mm deverá ser feito. E o mesmo no acoplamento para o encaixe desta.

Mantendo uma relação de comprimento por diâmetro de entre 0,8 e 1,2, o comprimento das buchas de bronze será de 100 mm, com diâmetro teórico interno de 100 mm. A Tabela 3, retirado do site da Shock Metais, mostra algumas medidas de buchas de bronze das ligas TM-23 e TM-620:

Tabela 3 – Medidas bucha bronze (tm-23 e tm620) Shock Metais

Diâmetro externo (pol.)	Diâmetro interno (pol.)	Diâmetro externo (mm)	Diâmetro interno (mm)	Peso (kg/pç 500 mm)
4 1/2	3 7/8	114,30	98,42	14,315
4 5/8	3 7/8	117,47	98,42	16,947
4 3/4	3 7/8	120,65	98,42	19,658

Fonte: Shock Metais (2017).

Com a correção do diâmetro interno da bucha de bronze para 98,42 mm, a usinagem do eixo para o encaixe das buchas deverá ter a mesma medida. Esta bucha de bronze terá a função de mancal de deslizamento para o eixo, e estará presa a um suporte de mancal soldado a estrutura do gabinete do equipamento.

Para efeitos de lubrificação, a bucha de bronze deverá ter um furo passante de 5 mm em sua parede e, ligado a este furo também ocorrerá uma ranhura, que será responsável para a distribuição do lubrificante por todo o corpo da bucha de bronze. Outros dois furos rosqueados passantes de 12 mm serão responsáveis pelo travamento do mancal em seu suporte através de parafusos allen sem cabeça.

No catálogo da empresa Gerdau, é encontrado que a empresa produz chapas de aço planas de diversas normas com até 4" ou 101,6 mm de espessura. Algumas peças poderão ser encomendadas em empresas especializadas em *oxicorte*, dentre estas estão os suportes dos mancais de deslizamento utilizando chapas de 101,6 mm, sendo rebaixadas para 100 mm.

As chapas de 5/8" ou 15,875 mm serão utilizadas para a confecção do gabinete estrutural do equipamento. A montagem do gabinete será por encaixe e fixação com parafusos M8 x 30, como no desenho de esquematização, mostrando que, na chapa externa do gabinete, os furos serão passantes e, na chapa que sobrepõe à primeira, os furos serão rosqueados M8 para o aperto dos parafusos.

A necessidade de matéria prima é que esteja em flocos, logo, faz necessária a utilização de uma peneira, assim, o material que estiver maior que o tolerável, continuará dentro do equipamento para a sua trituração. Esta peneira e sua estrutura serão confeccionadas em chapas 3/16", a peneira deverá ter o mesmo raio das facas em torno de 280 mm, num processo de calandragem.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CÁLCULOS DOS ESFORÇOS

Para fins de dimensionamento e estudo dos esforços gerados e aplicados às partes mecânicas do equipamento, os cálculos utilizados serão apresentados. O cálculo do torque de um motor, segundo Norton (2013, p.561), é dado por:

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_m} * \eta_m * \eta_a \quad (1)$$

$$T_{motor} = \frac{15 \text{ hp} * 745,7 \text{ watt/hp}}{1760 \text{ rpm} * \frac{2\pi}{60}} * 0,90 * 0,98 = 53,53 \text{ Nm}$$

Onde:

T_m – torque do motor (Nm);

P_m – potência do motor (watt);

ω_m – rotação do motor (rpm);

η_m – rendimento do motor;

η_a – rendimento do acoplamento.

Para o torque da saída do redutor, utilizaremos a relação de engrenamento das leis fundamentais das engrenagens multiplicando pelo rendimento (η) teórico fornecido pelo catálogo de 0,97 (FRESADORA SANT'ANA, 2017, p.02), tem-se:

$$T_r = T_m * i_N * \eta_r * \eta_a \quad (2)$$

$$T_r = 53,53 \text{ Nm} * 31,5 * 0,97 * 0,98 = 1602,9 \text{ Nm}$$

Onde:

T_r – torque da saída do redutor (Nm);

T_m – torque do motor (Nm);

i_N – redução do redutor;

η_r – rendimento do redutor;

η_a – rendimento do acoplamento.

Chegando a um valor máximo produzido pelo conjunto mecânico de torque de 1602,9 Nm, o qual exerce o movimento de rotação do eixo das facas.

A tensão de cisalhamento máxima, que ocorrerá no eixo, utilizará o valor do menor diâmetro do eixo, sendo o valor de 88,9 mm.

$$\tau = \frac{Tr * re}{J} = \frac{Tr * \frac{de}{2}}{\frac{\pi * de^4}{32}} = \frac{16 * Tr}{\pi * de^3} \quad (3)$$

$$\tau = \frac{16 * 1602,9 \text{ Nm}}{\pi * 0,0889 \text{ m}^3} = 91827,92 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 91,83 \text{ Kpa}$$

Onde:

τ – tensão de cisalhamento (Kpa);

Tr – torque da saída do redutor (Nm);

re – menor raio do eixo (m);

J – momento polar (m⁴);

de – menor diâmetro do eixo (m).

O ângulo máximo de torção de um eixo é a máxima deformação de um eixo no regime plástico (BEER, 1995, p. 221). Para este cálculo, utiliza-se o módulo de rigidez para saber o quanto o eixo pode deformar com a aplicação do torque total.

$$\phi = \frac{Tr * Le}{J * G} = \frac{Tr * Le}{\frac{de^4}{32} * G} \quad (4)$$

$$\phi = \frac{1602,9 \text{ Nm} * 1,07 \text{ m}}{\frac{0,0889 \text{ m}^4}{32} * 80,8 * 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 0,010875 \text{ rads} * \frac{360^\circ}{2\pi \text{ rads}} = 0,623^\circ$$

Onde:

ϕ – ângulo máximo de torção (°);

Tr – torque saída do redutor (Nm);

Le – comprimento do eixo (m);

J – momento polar (m⁴);

G – módulo de rigidez (N/m²).

A deformação máxima do eixo mostrou-se quase insignificante quando o torque máximo da saída do redutor for aplicado no eixo, fazendo com que não ocorra deformação do eixo na zona plástica.

4.2 LISTA DE MATERIAIS

Tabela 4 – Elementos encontrados em revendedores.

Quantidade	Descrição / Utilização
02	Motores WEG w22 ir2 15 cv 4 polos carcaça 132m/l
	Fornecimento de torque para o equipamento
02	Redutores planetários da marca Redutores Fresadora Sant'ana nº 2 com redução igual a 31,5
	Redução das rotações e aumento do torque
02	Acoplamentos elásticos da marca Mademil, modelo GR 330
	Acoplamento entre o redutor planetário e o eixo das facas
02	Acoplamentos elásticos da marca Mademil, modelo GR 082
	Acoplamento entre o motor e redutor planetário
01	Chave de acionamento triângulo estrela 100 A
	Acionamento dos motores elétricos

Fonte: O autor.

Tabela 5 – Componentes metalúrgicos não estruturais.

Quantidade	Descrição / Utilização
02	Ferro Quadrado 1020 com 1070 mm
	Eixo de tração e suporte das facas
04	Buchas de bronze TM-23 120,65 x 98,42 com 100 mm
	Mancais de deslizamento
50	Discos de VCO 5/8" com 280 mm de diâmetro
	Facas de corte
50	Discos de VCO 5/8" com 180 mm de diâmetro
	Espaçadores entre facas
04	Chapas de 4" com 150 x 150 mm

	Suporte de mancais de deslizamento
02	Chavetas 25 x 14 mm
	Travamento de eixos e facas com acoplamentos elásticos.
02	Chapas de 3/16" com 510 x 200 mm.
	Estrutura da peneira.
02	Chapas de 3/16" com 781,75 x 200 mm.
	Estrutura da peneira.

Fonte: O autor.

Tabela 6 – Elementos estruturais.

Quantidade	Descrição / Utilização
02	Chapas de 5/8" com 510 x 300 mm
	Estrutura do gabinete
02	Chapas de 5/8" com 781,75 x 300 mm
	Estrutura do gabinete.
04	Cantoneiras 3 x 1/2" com 2000 mm
	Pés do suporte redutor
04	Cantoneiras 3 x 1/2" com 745 mm
	Suporte do gabinete
02	Cantoneiras 3 x 1/2" com 1800,6 mm
	Suporte do gabinete
02	Cantoneiras 3 x 1/2" com 745 mm
	Suporte do motor
04	Cantoneiras 3 x 1/2" com 1570 mm
	Pés do suporte do motor
04	Cantoneiras 3 x 1/2" com 465 mm
	Suporte do motor.

Fonte: O autor.

Tabela 7 – Elementos de fixação.

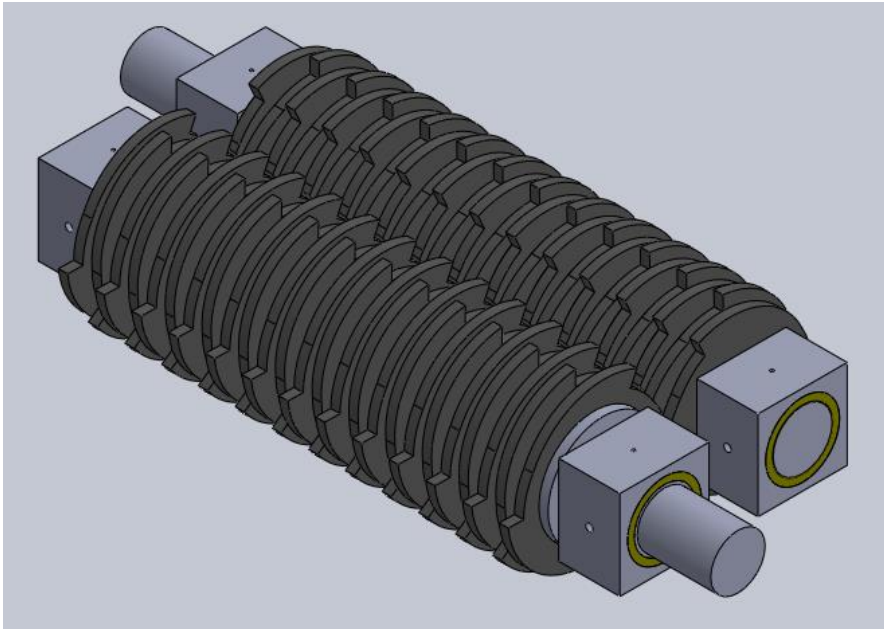
Quantidade	Descrição / Utilização
08	Parafusos M12 x 50 allen sem cabeça
	Travamento bucha de deslizamento.

08	Parafusos M12 x 40 allen com cabeça
	Fixação do motor à estrutura.
08	Parafusos M12 x 25 allen com cabeça
	Fixação do gabinete à estrutura
04	Parafusos M32 x 40 allen com cabeça
	Fixação do redutor à estrutura.
16	Parafusos M8 x 30 allen com cabeça
	Montagem do gabinete
50	Parafusos M6 x 10 allen sem cabeça
	Travamento dos espaçadores no eixo
04	Pinos graxeiros 5 mm
	Lubrificação dos mancais de deslizamento.

Fonte: O autor.

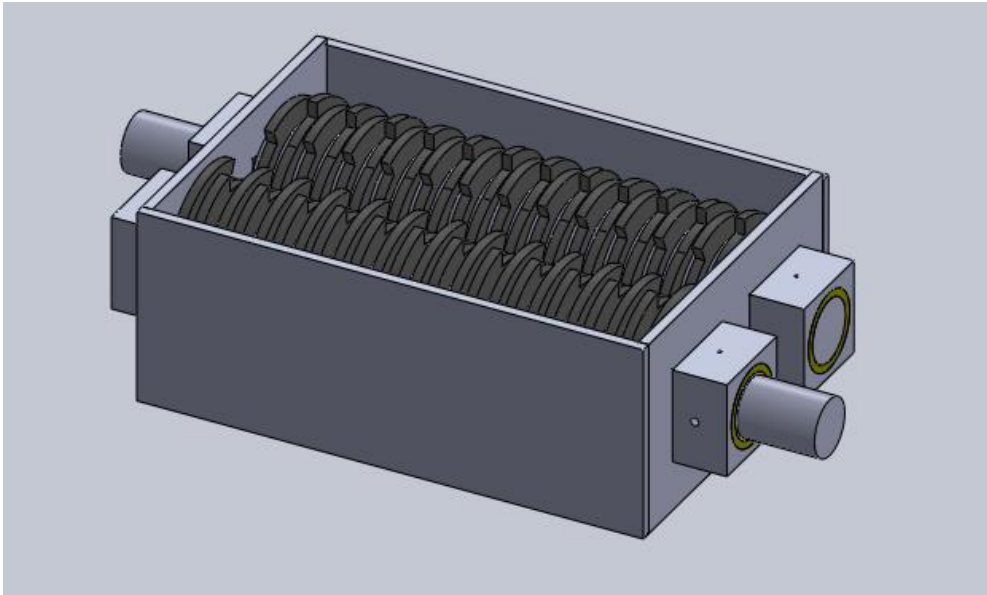
4.3 MODELOS 3D DA MONTAGEM DO EQUIPAMENTO.

Figura 18 – Modelo 3D da montagem dos eixos nos mancais de deslizamento.



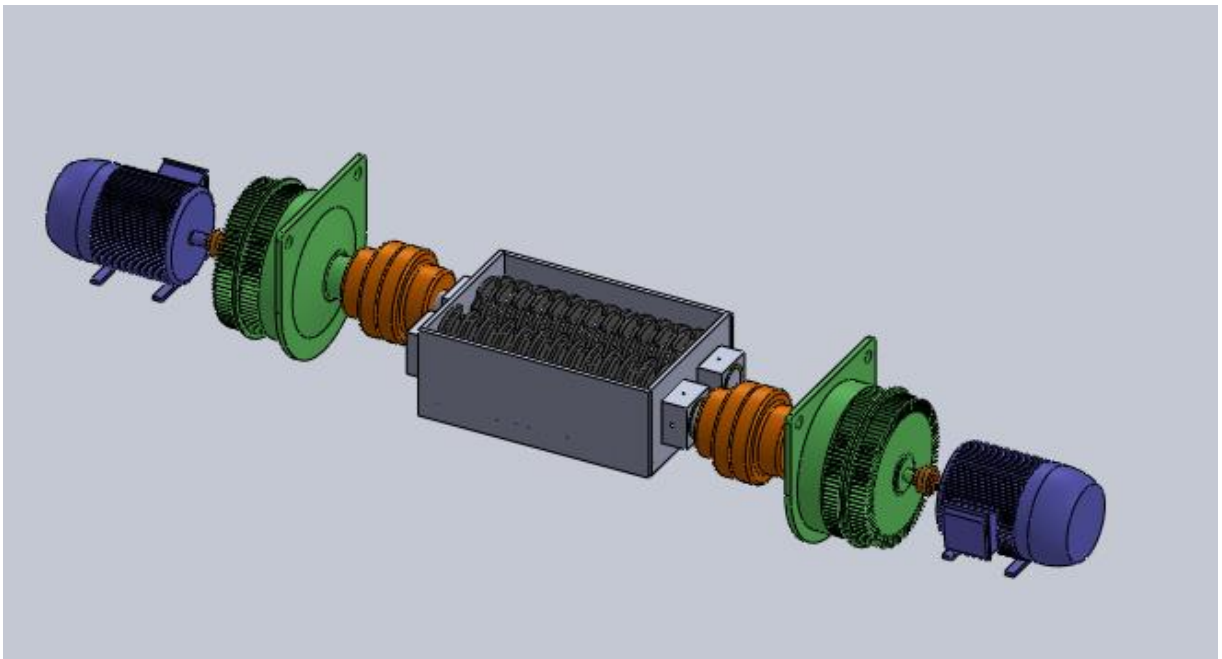
Fonte: O autor.

Figura 19 – Eixos montados no gabinete.



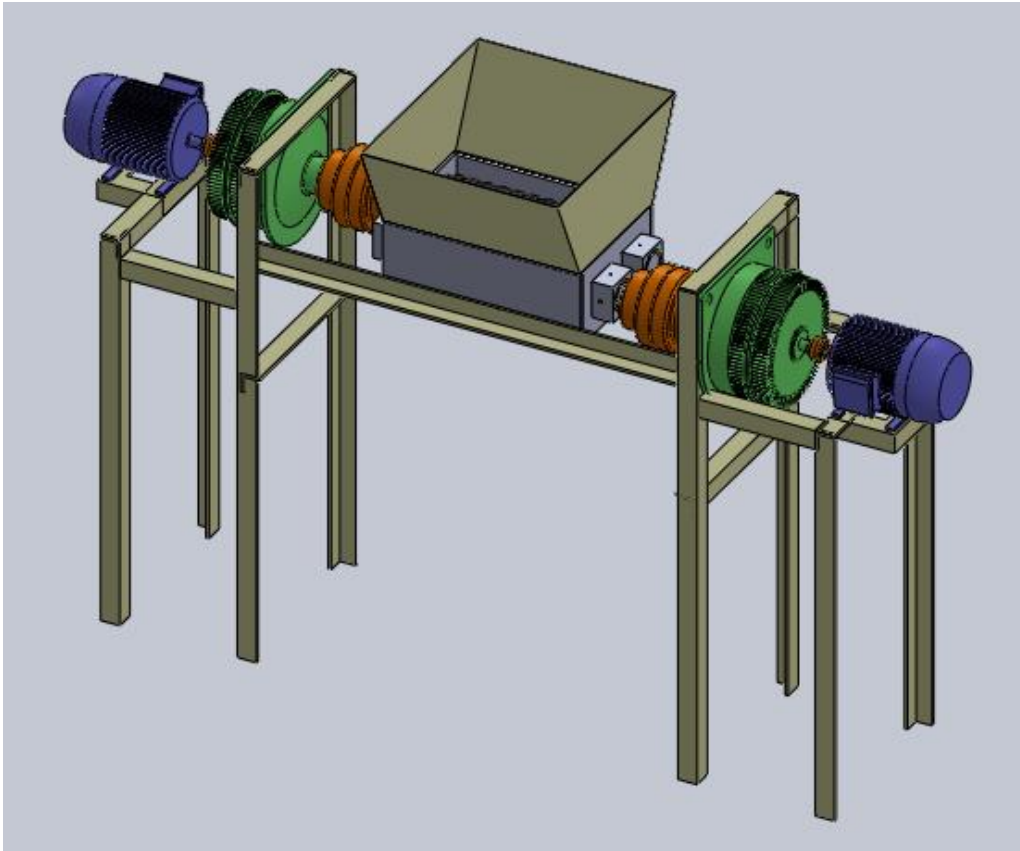
Fonte: O autor.

Figura 20 – Sistema de transferência de torque montagem final.



Fonte: O autor.

Figura 21 – Montagem do equipamento na estrutura.



Fonte: O autor.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo o dimensionamento e estudo das partes para a montagem de um triturador de facas rotativas. Foram estudados os componentes, calculados alguns esforços recorrentes às partes mecânicas e esboçados os desenhos das partes. Diversas partes e peças são facilmente encontradas nos catálogos dos fabricantes facilitando assim o projeto e a construção do equipamento.

Existem para venda no mercado nacional equipamentos similares ao descrito aqui, tanto de fabricantes nacionais como equipamentos importados, cada equipamento feito especialmente para um tipo de corte para materiais específicos, onde o que diferencia este trabalho, é a utilização para o corte de embalagens de leite longa vida.

O levantamento e a seleção de equipamentos e peças de fabricantes foram facilitados, logo que grande parte dos fabricantes dispõe de informações técnicas e dimensionais muito completas em seus catálogos.

A lista de materiais presente neste trabalho foi dividida em algumas categorias de materiais, facilitando assim a aquisição destes para uma futura fabricação do protótipo e também do equipamento.

Com a fabricação do protótipo deste equipamento, é plausível que ocorra a necessidade de instalação de amortecedores de vibração, comumente conhecidos pela marca VibraStop®, os quais terão a função de dissipar as ondas vibratórias ocorrentes da variação de carga dentro do equipamento.

Os desenhos de muitas peças, que foram dimensionadas e terão que passar por processos de conformação mecânica, estão inclusos nos anexos deste trabalho.

Conclui-se que, com todos os dados, peças, dimensionamentos e desenhos feitos neste trabalho, o equipamento pode iniciar a próxima fase que é a construção, fabricação e testes de campo do protótipo, a fim de se testar a sua eficácia na trituração dos resíduos para se obter a matéria prima adequada para a produção das telhas recicláveis.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Mesmo atingindo os objetivos apresentados no projeto inicial, algumas sugestões e recomendações para trabalhos futuros são necessárias. O estudo da reciclagem de embalagens de leite longa vida em quantidades e outros meios de reaproveitamento destes é de extrema importância.

Fica aberta a opção de futuramente ser realizado um estudo visando a adequação do equipamento nas normas descritas na NR12, sobre segurança de máquinas e equipamentos industriais.

O estudo da quantidade de material que o equipamento consegue processar, fazendo assim que ocorra o estudo do seu *pay back*, fazendo o levantamento sobre a viabilidade da construção de novos equipamentos para esta e outras aplicações pode ser uma maneira da continuidade deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABRE – Associação Brasileira de Embalagens. **Meio ambiente e a indústria de embalagem**. Cartilha. São Paulo: [s.ed.], 2012.

AÇOS CONTINENTE. **Barras Quadradas**. Disponível em: <www.acoscontinente.com.br>. Acesso em: 10 mar. 2017.

ALMEIDA, Julio Cezar. **Elementos de máquinas**: projeto de sistemas mecânicos. Rio de Janeiro – RJ: Elseiver, 2017.

BEER, Ferdinand P. **Mecânica dos Materiais**. 5.ed. Porto Alegre – RS: AMGH, 2011.

_____. **Resistência dos Materiais**. 3.ed. São Paulo – SP: Pearson Makron Books, 1995.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília – DF, 03 de agosto de 2010.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Manejo de resíduos sólidos urbanos**. Informativo impresso. Brasília – DF. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/folder_pnrs_125.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2017.

BUDYNAS, Richard. **Elementos de máquinas de Shigley**. 8.ed. Porto Alegre – RS: AMGH, 2011.

CALLISTER JUNIOR, Willian D. **Ciência e engenharia de materiais**: uma introdução. Rio de Janeiro – RJ: LTC, 2008.

CICLO VIVO. **Índice de reciclagem de embalagens Tetra Pak chega a 30%**. Disponível em: <<http://ciclovivo.com.br/noticia/taxa-de-reciclagem-de-embalagens-tetra-pak-chega-a-30/>> Acesso em: 06 abr. 2017.

CIPRIANO, Edson. Processo de corte longitudinal de bobinas de aço. **Revista Siderurgia Brasil**. ed.77, Grips editora. 10/2011.

COMER INDUSTRIES. **Planetary drives & axles**. Catálogo. 2014. Disponível em: <www.comerindustries.com/en.html>. Acesso em: 10 mar. 2017.

COUTINHO, Fernanda M. B. Polietileno: principais tipos propriedades e aplicações. **Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia**. vol. 13. 2003.

FRESADORA SANT'ANA. **Redutores planetários**. Catálogo. Disponível em: <www.fresadorasantana.com.br>. Acesso em: 10 mar. 2017.

HIBBELER, Russel C. **Resistência dos materiais**. 7.ed. São Paulo – SP: Pearson Prentice Hall, 2010.

INFOSOLDA. **Ensaio mecânico: dureza**. Disponível em <<http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/ensaios-nao-destrutivos-e-mecanicos/212-ensaio-mecanico-dureza.html>> Acesso em: 05 abr. 2017.

MADEMIL. **Acoplamentos elásticos Madeflex gr**. Catálogo. Disponível em: <<http://www.mademil.com.br/produto/acoplamento-ela-stico-gr-18>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

MELCONIAN, Sarkis. **Elementos de máquinas**. 9.ed. São Paulo – SP. Editora Erica, 2009.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas uma linguagem integrada**. 4.ed. Porto Alegre – RS. Bookman, 2013.

QUARTIM, Elisa. **Tetra Pak e o pós-consumo**. Disponível em <<http://embalagensustentavel.com.br/2011/06/21/tetra-pak-e-o-pos-consumo/>> Acesso em: 06 abr. 2017.

ROCHA LIMA, Emmanuel P. **Estudo da cinética de recristalização da liga de alumínio aa8011**. Artigo. Recife – PE: UFPE, 2002.

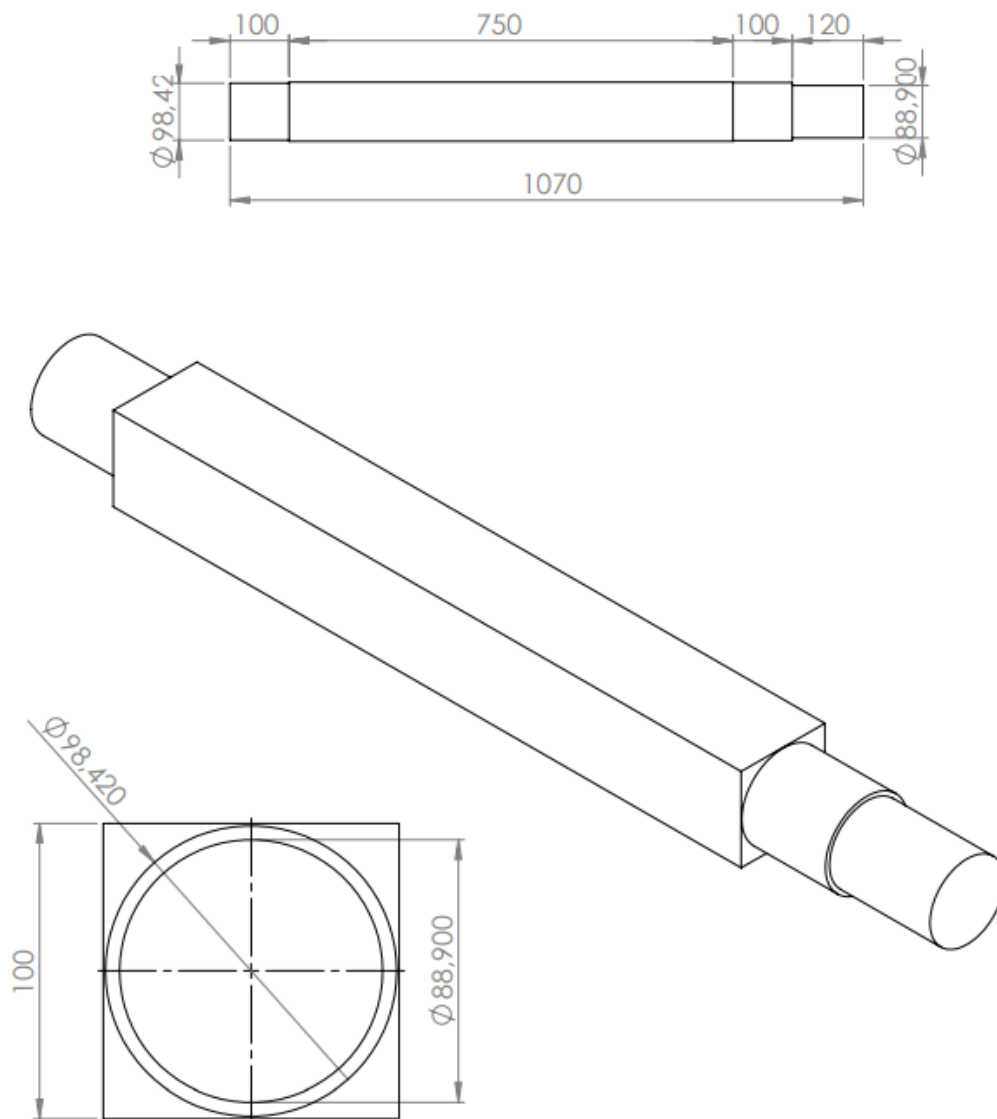
SHOCK METAIS. **Produtos**. Disponível em: < <http://www.shockmetais.com.br/produtos>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

VILARES METAIS. **Aços para ferramentas**. Catálogo. Disponível em: <http://www.villaresmetals.com.br/content/download/34345/378185/file/Cat%C3%A1logo%20de%20A%C3%A7os%20para%20Ferramentas_Tool%20Steel.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2017.

WEG. **W22 Motor elétrico trifásico**. Catálogo Técnico Mercado Brasileiro. Disponível em: < <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-w22-motor-trifasico-tecnico-mercado-brasil-50023622-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

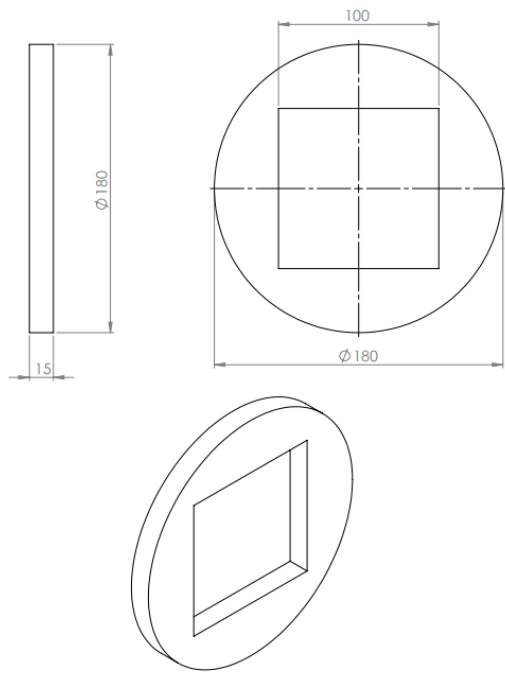
ANEXOS

Figura 22 – Eixo de suporte, tração e rotação das facas.



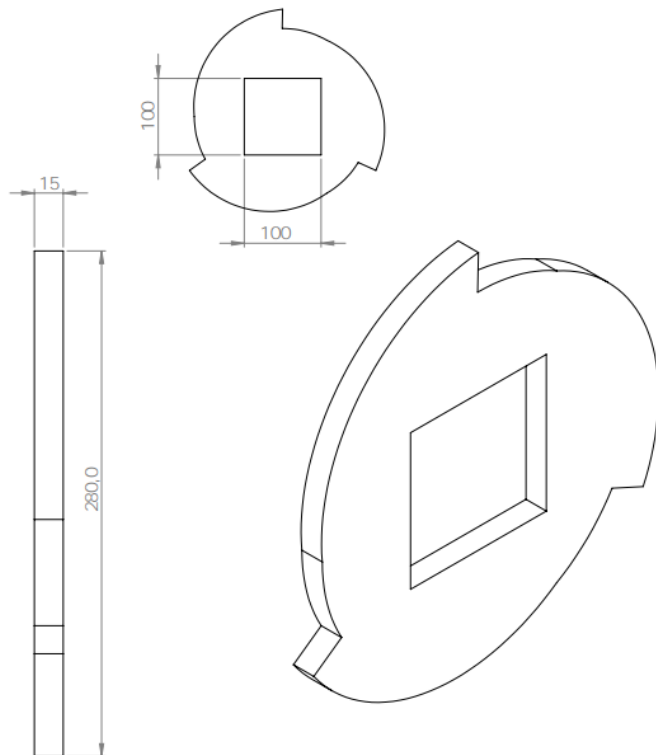
Fonte: O autor.

Figura 23 – Espaçadores entre facas.



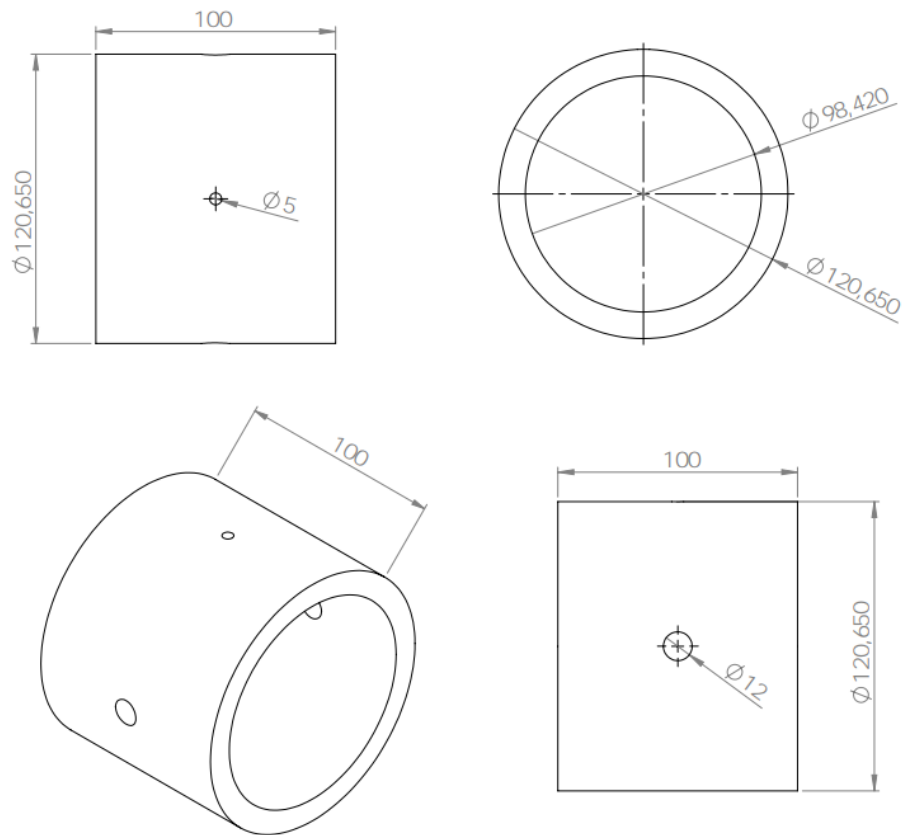
Fonte: O autor.

Figura 24 – Facas.



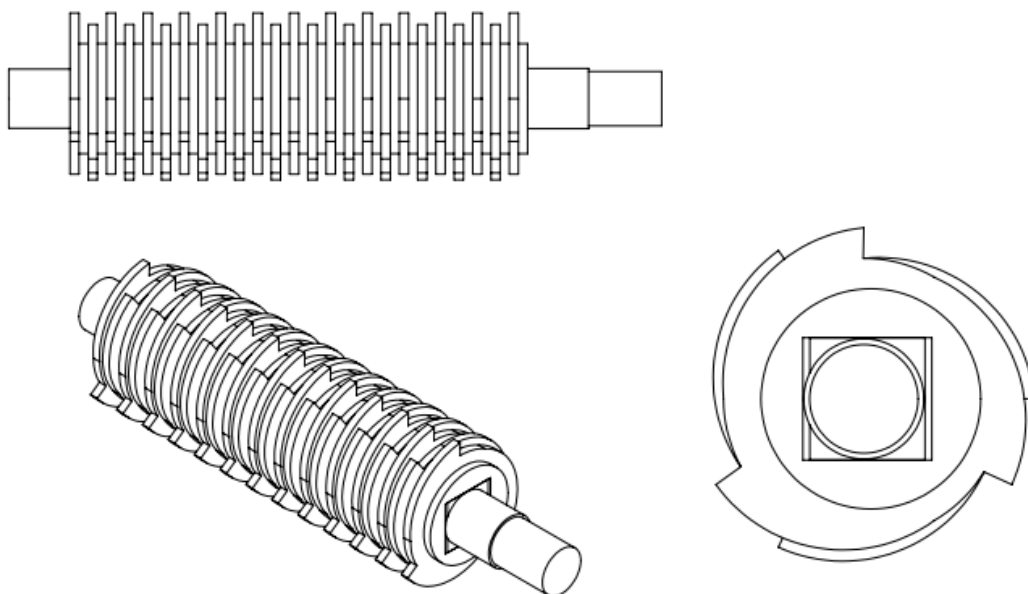
Fonte: O autor

Figura 25 – Bucha do mancal de deslizamento.



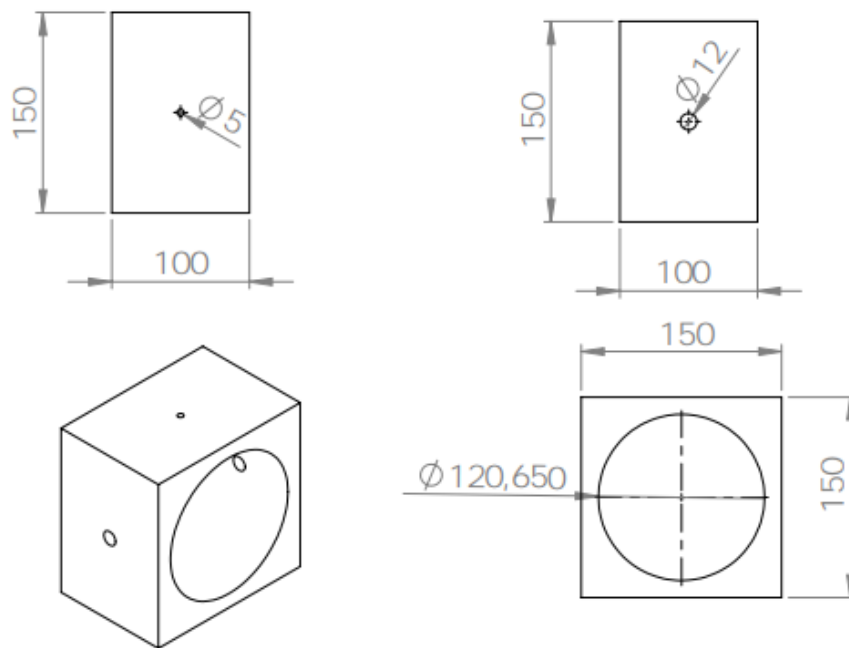
Fonte: O autor.

Figura 26 – Montagem do eixo das facas.



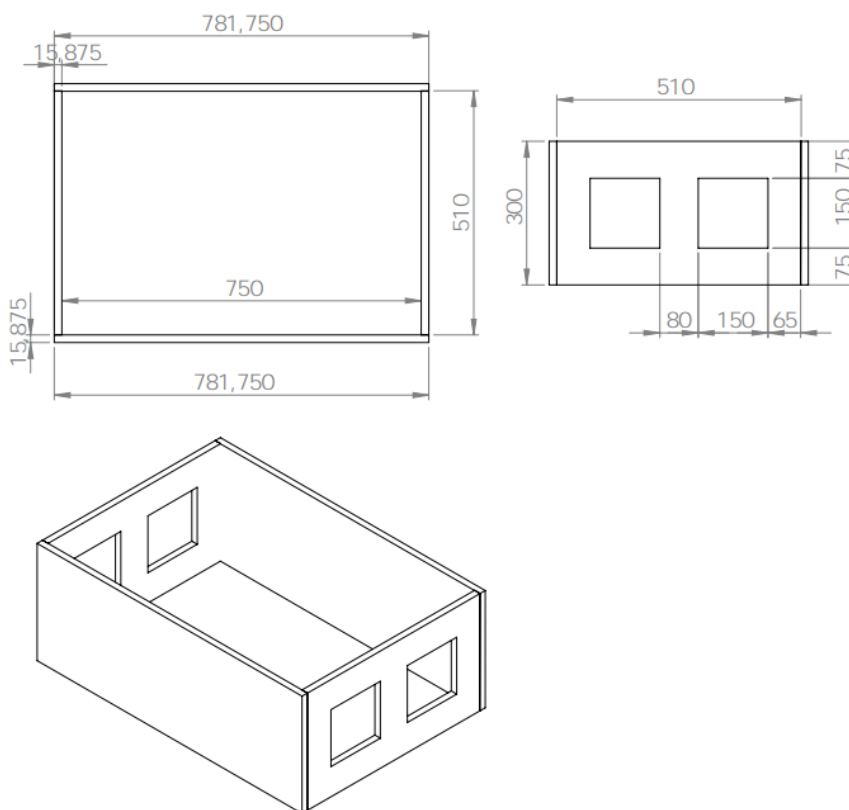
Fonte: O autor.

Figura 27 – Suporte do mancal de deslizamento.



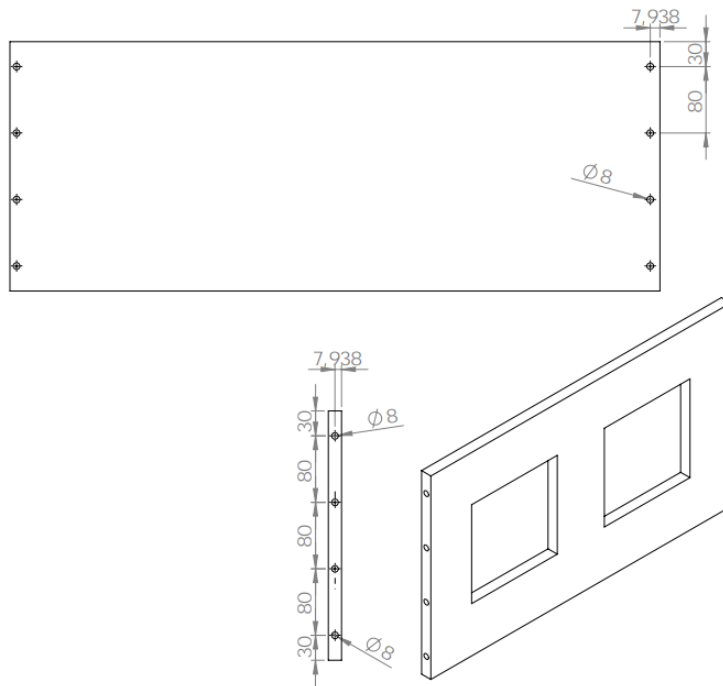
Fonte: O autor.

Figura 28 – Gabinete estrutural.



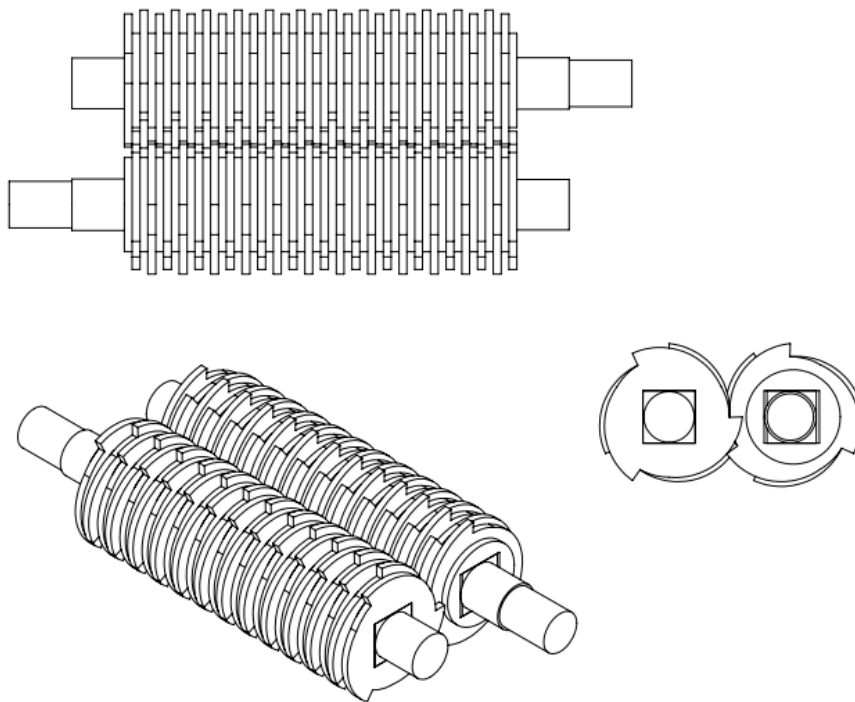
Fonte: O autor.

Figura 29 – Furação para fixação do gabinete.



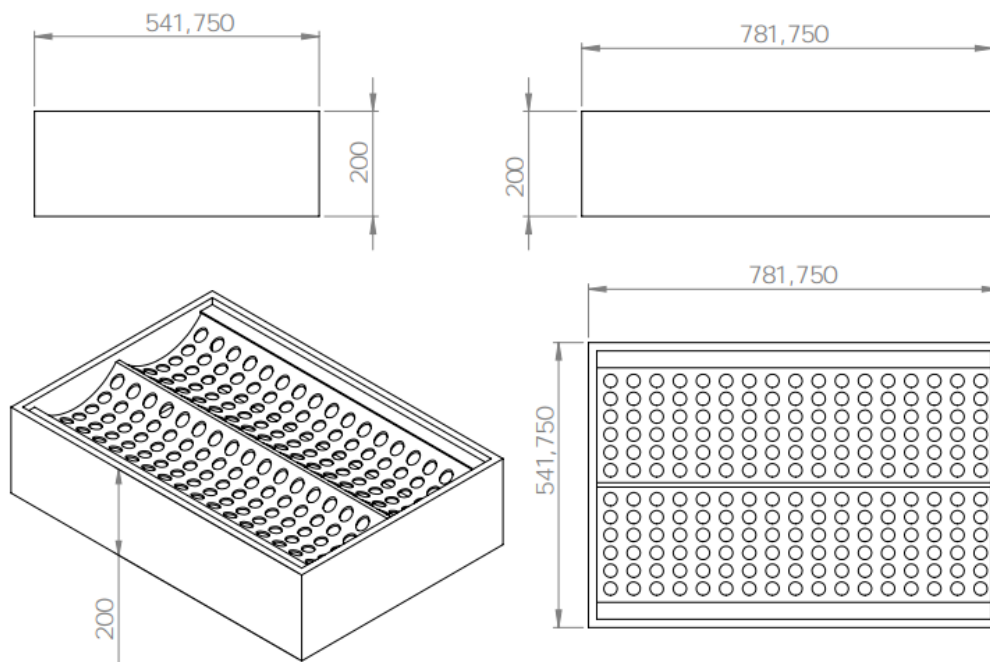
Fonte: O autor.

Figura 30 – Montagem do sistema de corte.



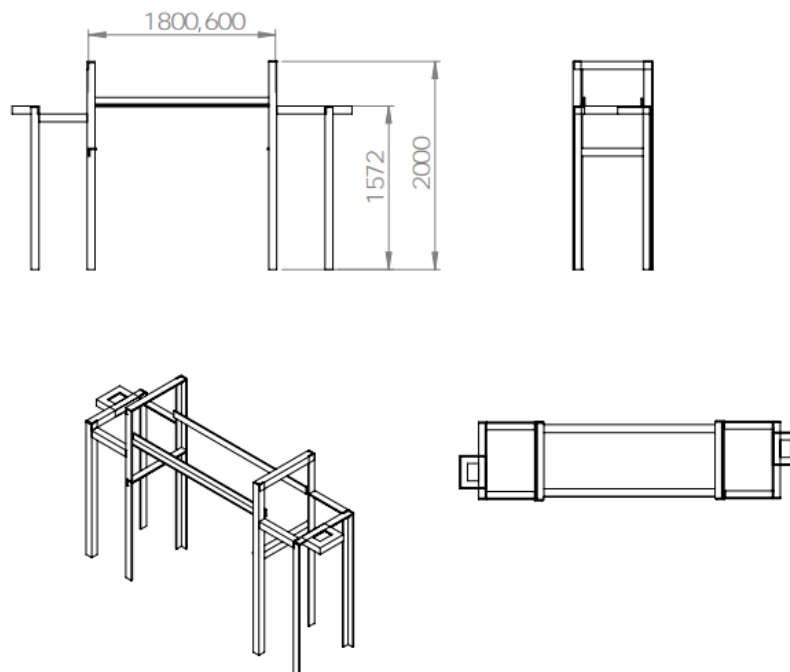
Fonte: O autor.

Figura 31 – Esquemática da peneira.



Fonte: O autor.

Figura 32 – Esboço de montagem da estrutura metálica.



Fonte: O autor.

PLANILHA DE CUSTOS ESTIMADOS DE MATÉRIA PRIMA

QTD.	DESCRIÇÃO	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL
2	MOTOR WEG w22 ir2 15 CV 4 POLOS	R\$ 3.353,00	R\$ 6.706,00
2	REDUTORES PLANETÁRIOS SANTANA	R\$ 11.300,00	R\$ 22.600,00
	N° 2 REDUÇÃO 21,5		
2	ACOPLAMENTOS ELÁSTICOS MADEMIL GR 330	R\$ 3.775,00	R\$ 7.550,00
2	ACOPLAMENTOS ELÁSTICOS MADEMIL GR 82	R\$ 300,00	R\$ 600,00
4	AMORTECEDORES VIBRASTOP 3/4"	R\$ 240,00	R\$ 960,00
1	CHAVE ACIONADORA 100 A	R\$ 147,00	R\$ 147,00
173	FERRO QUADRADO 4" (kg)	R\$ 6,35	R\$ 1.098,55
3,93	BUCHA BRONZE TM 23 (kg)	R\$ 27,00	R\$ 106,11
450	CHAPA VC 5/8 (kg)	R\$ 8,90	R\$ 4.005,00
20	CHAPA FINA 3/16 (kg)	R\$ 4,90	R\$ 98,00
97	CHAPA GROSSA 5/8 (kg)	R\$ 4,90	R\$ 475,30
335	CANTONEIRA 3 X 1/2" (kg)	R\$ 5,25	R\$ 1.758,75
1	DIVERSOS BAIXO CUSTO	R\$ 350,00	R\$ 350,00

TOTAL **R\$ 46.454,71**