



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA PRENSA ELETROMECAÂNICA PARA  
PRENSAGEM DE MASSA DE MANDIOCA**

ANDREVALDO DE JESUS LOPES  
JOSÉ RUBENS DIAS LEÃO

TUCURUÍ-PA  
2025

ANDREVALDO DE JESUS LOPES  
JOSÉ RUBENS DIAS LEÃO

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA PRENSA ELETROMECÂNICA PARA  
PRENSAGEM DE MASSA DE MANDIOCA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Engenharia Mecânica do Campus de  
Tucuruí, como requisito para obtenção do título bacharel  
em Engenheiro Mecânico.

Orientador:  
Prof. Me. Walter dos Santos Sousa

TUCURUÍ-PA  
2025



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUI

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO/TCC Nº 1 / 2025 - CTUCU (11.16)**

**Nº do Protocolo: 23073.072074/2025-56**

**Tucuruí-PA, 18 de setembro de 2025.**

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA PRENSA ELETROMECAÂNICA PARA  
PRENSAGEM DE MASSA DE MANDIOCA**

ANDREVALDO DE JESUS LOPES

JOSÉ RUBENS DIAS LEÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica do Campus de Tucuruí, como parte dos requisitos para obtenção do título bacharel em Engenharia Mecânica.

Data da aprovação: 16/09/2025

Conceito: Excelente

**BANCA EXAMINADORA**

Orientador: Prof. Me. Walter dos Santos Sousa

FEM/CAMTUC/UFPA

Membro Interno: Prof. Dr. Giovanni de Souza Pinheiro

FEM/CAMTUC/UFPA

Membro Interno: Prof. Dr. Maciel da Costa Furtado

FEM/CAMTUC/UFPA

*(Assinado digitalmente em 18/09/2025 22:14 )*

GIOVANNI DE SOUZA PINHEIRO  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
CTUCU (11.16)  
Matrícula: ###560#5

*(Assinado digitalmente em 19/09/2025 10:48 )*

MACIEL DA COSTA FURTADO  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
CTUCU (11.16)  
Matrícula: ###033#8

*(Assinado digitalmente em 18/09/2025 17:28 )*

WALTER DOS SANTOS SOUSA  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
CTUCU (11.16)  
Matrícula: ###112#8

Visualize o documento original em <https://sipac.ufpa.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **1**, ano: **2025**, tipo: **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO/TCC**, data de emissão: **18/09/2025** e o código de verificação: **15845e2d26**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**  
**Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

- D278p De Jesus Lopes, Andrevaldo.  
Projeto e construção de uma prensa eletromecânica para  
prensagem da massa de mandioca / Andrevaldo De Jesus Lopes,  
José Rubens Dias Leão. — 2025.  
90 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Me. Walter dos Santos Sousa  
Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade Federal do  
Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de Engenharia  
Mecânica, Tucuruí, 2025.
1. Prensa eletromecânica. 2. Prensagem de mandioca. 3.  
Projeto de máquinas. I. Dias Leão, José Rubens. II. Título.

CDD 620.100113

---

## AGRADECIMENTOS

Eu, Andrevaldo, em primeiro lugar, agradeço a Deus, por ter permitido que tivesse com saúde e determinação para não desanimar, durante todos os meus anos de estudos. Aos meus irmãos, tios, filhos e esposa, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho. Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei nessa jornada.

Eu, José Rubens, agradeço a Deus pela vida e pela força para vencer os desafios, à minha família, em especial a meus pais e irmãos, pelo apoio constante, e à minha esposa Thalielma, cuja dedicação, amor e paciência foram essenciais nesta jornada, grato também à sua família pelo acolhimento e apoio. Aos amigos Benoel e Diel pelo apoio sincero, e rendo homenagem à memória de minha comadre Marta Dias, que sempre me ajudou e cuja fé e generosidade seguem como inspiração. A todos que contribuíram de alguma forma, meu profundo agradecimento.

Nossos agradecimentos estendem-se ao nosso amigo e colega de turma Fredson Mendes, por todo o apoio e ajuda, Leandro da oficina Deus é Pai, e a Oficina do Neco que muito contribuíram para a construção do protótipo.

Ao professor Walter Sousa, por ter sido nosso orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade. E demais professores, pelas correções e ensinamentos que nos permitiram apresentar um melhor desempenho no nosso processo de formação profissional ao longo do curso. A todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento e construção deste projeto, enriquecendo o nosso processo de aprendizado.

Aos nossos colegas de curso, pela convivência durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que nos permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formando. À instituição de ensino Universidade Federal do Pará, essencial no nosso processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendemos ao longo dos anos do curso.

## RESUMO

O projeto e construção de uma prensa eletromecânica para prensagem de massa de mandioca, envolve várias etapas como, o desenvolvimento detalhado do projeto incluindo desenho técnico, análise estática computadorizada e cálculos de dimensionamento dos componentes mecânicos e elétricos. A construção e montagem dos componentes mecânicos realizados de acordo com o desenvolvido no projeto, através da mesclagem de materiais novos e usados, mas sem comprometer a sua funcionalidade do equipamento. E os testes do protótipo realizados com a matéria prima da farinha de mandioca (massa), avaliando a eficiência na secagem da massa de mandioca e a uniformidade do produto final, analisando os resultados dos testes de desempenho. Tendo como objetivo principal desenvolver um equipamento para o melhoramento desse processo, em relação aos modelos manuais de prensagem para produção da farinha de mandioca, como por exemplo o tipiti e prensas artesanais, visando mais eficiência na produção e na qualidade do produto. O mecanismo de pesquisa teve como ponto de partida um modelo de prensa manual já utilizado na região, que é usado um macaco hidráulico do tipo garrafa na aplicação da carga de prensagem. Os testes foram determinantes para a validação da funcionalidade e eficiência do protótipo. Tendo em vista que os resultados obtidos na prensagem da massa de mandioca, foram significativos em comparação com os métodos manuais, reduzindo o tempo e o esforço físico do trabalhador, demonstrando ser uma alternativa viável para pequenos produtores e agricultores familiares.

**Palavras-chave:** prensa eletromecânica; prensagem de mandioca; projeto de máquinas.

## ABSTRACT

The design and construction of an electromechanical press for pressing cassava dough involves several steps such as the detailed development of the project including technical drawing, computerized static analysis and sizing calculations of the mechanical and electrical components. The construction and assembly of the mechanical components carried out according to what was developed in the project, through the mixing of new and used materials, but without compromising the functionality of the equipment. And the prototype tests carried out with the raw material of cassava flour (dough), evaluating the efficiency in drying the cassava dough and the uniformity of the final product, analyzing the results of the performance tests. Its main objective is to develop equipment to improve this process, in relation to manual pressing models for the production of cassava flour, such as the tipiti and artisanal presses, aiming at more efficiency in production and product quality. The search engine had as its starting point a manual press model already used in the region, which uses a hydraulic jack of the bottle type in the application of the pressing load. The tests were decisive for the validation of the functionality and efficiency of the prototype. Considering that the results obtained in the pressing of the cassava dough were significant compared to manual methods, reducing the time and physical effort of the worker, proving to be a viable alternative for small producers and family farmers.

**Keywords:** electromechanical press; cassava pressing; machine design.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – (a) Tipiti de vibra vegetal, (b) Prensa com o uso de macaco hidráulico e (c) Prensa de madeira do tipo lavanca .....	17
Figura 2 – Fluxograma da produção da farinha de mandioca e derivados .....	22
Figura 3 – Tipiti de fibra vegetal .....	23
Figura 4 – Prensa de madeira do tipo lavanca .....	24
Figura 5 – Prensa manual com parafuso de metal.....	24
Figura 6 – Prensa com parafuso de madeira.....	24
Figura 7– Prensa de madeira com uso de macaco hidráulico.....	25
Figura 8 – Prensa hidráulica .....	25
Figura 9 – Desenvolvimento passo a passo de um produto industriais .....	27
Figura 10 – DCL das forças na transmissão da engrenagem.....	31
Figura 11 – DCL da linha primitiva (a), torque transmitido (b).....	32
Figura 12 – Processo para obtenção de dados para curva de calibração .....	37
Figura 13 – Processo para obtenção de dados para curva de calibração .....	38
Figura 14 – Esboço da extremidade da base.....	39
Figura 15 – Esboço da base .....	39
Figura 16 – Base e Esboço dos perfis laterais .....	40
Figura 17 – Estrutura principal.....	40
Figura 18 – esboço do perfil da engrenagem.....	41
Figura 19 – Trem de engrenagens .....	41
Figura 20 – Parafuso principal.....	42
Figura 21 – Mesa móvel de prensagem .....	43
Figura 22 – Mancais: Radial e axial .....	43
Figura 23 – Montagem final da pensa eletromecânica .....	44
Figura 24 – Geração de malha automática/Ansys Workbench.....	45
Figura 25 – Refinamento e geração de malha (tamanho de elemento 0,008 m) .....	46
Figura 26 – Resultado com malha com tamanho de elemento 0,005 m.....	46
Figura 27 – Resultado com malha com tamanho de elemento 0,004 m.....	47
Figura 28 – Skewness com tamanho de elemento de 0,008 m.....	48
Figura 29 – Métricas de malha .....	48
Figura 30 – Força aplicada e condição de contorno .....	49
Figura 31 – Análise de distribuição de tensão de Von Mises na estrutura principal.....	49

Figura 32 – Forças aplicadas e condições de contorno .....	50
Figura 33 – Análise de distribuição de tensão de Von Mises na estrutura do motor .....	51
Figura 34 – Aplicação da condição de contorno da mesa móvel .....	51
Figura 35 – Análise de distribuição de tensão de Von Mises na mesa móvel.....	52
Figura 36 – Engrenagem de acionamento do motor Changay 28 HP .....	53
Figura 37 – Engrenagem central de acionamento .....	53
Figura 38 – Engrenagens do segundo trem de engrenamento .....	54
Figura 39 – Motor elétrico Weg 3 CV.....	55
Figura 40 - Fuso e porca roscada.....	55
Figura 41 – Estrutura principal.....	56
Figura 42 – Mancais de rolamento flangeado .....	57
Figura 43 – Mancal axial e rolamento axial de esferas .....	57
Figura 44 – Eixo central do conjunto de engrenagens.....	58
Figura 45 – Limitador de torque por fricção .....	59
Figura 46 – Desenho geométrico do componente de adaptação do limitador de torque.....	59
Figura 47 – Procedimento de calibração do limitador de torque.....	60
Figura 48 – Parafusos de fixação.....	60
Figura 49 – Processo de soldagem da estrutura principal .....	61
Figura 50 – Usinagem do fuso para o acoplamento das engrenagens e mancais .....	62
Figura 51 – Fabricação e montagem da mesa móvel e suporte do motor .....	63
Figura 52 – Eixo central da engrenagem maior.....	63
Figura 53 – Soldagem da chapa e eixo central .....	64
Figura 54 – Soldagem e acabamento dos acoplamentos .....	64
Figura 55 – Demarcação da fixação dos mancais.....	65
Figura 56 – Proteção das engrenagens .....	65
Figura 57 – Comando elétrico e chave de segurança .....	66
Figura 58 – Processo de colocação da massa para ser prensada .....	67
Figura 59 – Processo de aplicação de carga na massa de mandioca .....	68
Figura 60 – Tensão de apoio na rosca do parafuso de potência .....	79
Figura 61 – DCL do primeiro trem de engrenagens.....	83
Figura 62 – DCL do segundo trem de engrenagens .....	84
Figura 63 – DCL das cargas nas engrenagens maiores .....	84
Figura 64 – DCL do eixo central.....	85
Figura 65 – DCL parafuso de potência.....	87

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Dados comparativos de prensagem da massa de mandioca.....	68
Tabela 2 – Comparação de valores de aquisição de um equipamento hidráulico e o Protótipo da prensa eletromecânica.....	70
Tabela 3 – Orçamento dos materiais .....	94

## **LISTA DE SIGLAS**

DCL: Diagrama de corpo livre

EMBRAPA: Empresa brasileira de pesquisa agropecuária

FAO: Food and Agriculture Organization

FEA: Finite element analysis

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFPRI: International Food Policy Research Institute

MEF: Métodos de elementos finitos

NR: Norma regulamentadora

SEAD: Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1. Justificativa</b> .....	<b>17</b>
<b>1.2. Objetivos</b> .....	<b>19</b>
1.2.1. Geral .....	19
1.2.2. Específicos .....	19
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1. Agricultura familiar na Amazônia</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2. Técnicas de prensagem da massa de mandioca</b> .....	<b>22</b>
<b>2.3. Projetos de componentes de máquinas</b> .....	<b>26</b>
2.3.1. Dimensionamento dos componentes mecânicos .....	28
<b>2.4. Normas técnicas</b> .....	<b>32</b>
<b>2.5. Modelagem computacional</b> .....	<b>33</b>
2.5.1. Modelagem utilizando o método dos elementos finitos .....	33
2.5.2. Análise estática estrutural .....	34
2.5.3. Avaliação de malha (convergência de malha, métricas de malha).....	34
2.5.4. Tipos de elementos finitos (sólido tetraédrico e hexaédrico) .....	35
2.5.5. Condições de contorno e aplicação dos carregamentos.....	35
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>36</b>
<b>3.1. Desenvolvimento do projeto</b> .....	<b>36</b>
3.1.1. Desenho em 3D .....	38
3.1.2. Análise estrutural por elementos finitos .....	44
3.1.2.1. Análise da estrutura principal .....	44
<b>3.2. Seleção dos materiais</b> .....	<b>52</b>
3.2.1. Engrenagens.....	52
3.2.2. Motor .....	54
3.2.3. Parafuso de potência.....	55
3.2.4. Estrutura principal .....	56
3.2.5. Mancais.....	56
3.2.6. Eixo central.....	57
3.2.7. Limitador de torque .....	58
3.2.8. Parafusos de fixação .....	60
<b>3.3. Processos de fabricação dos componentes e montagem do protótipo</b> .....	<b>60</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>67</b>
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>70</b>
<b>5.1. Sugestões para trabalhos futuros</b> .....	<b>71</b>

<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>72</b>
APÊNDICE A – Cálculos de dimensionamento do parafuso de potência e dimensionamento do motor.....	77
APÊNDICE B – Cálculos das cargas na transmissão das engrenagens e nos mancais.....	81
APÊNDICE C – Cálculos das cargas nos mancais e de dimensionamento do eixo central da transmissão .....	85
APÊNDICE D – Desenhos técnicos da estrutura e peças .....	88
APÊNDICE E – Orçamento dos materiais para a construção do protótipo .....	94

## 1. INTRODUÇÃO

Na Amazônia a farinha de mandioca tem um papel essencial na vida de muitas famílias, tanto na alimentação quanto na obtenção de valores, isso na cidade e na zona rural. Na cidade através de compra e venda, por feirantes e consumidores, na zona rural pelo cultivo da mandioca e comercialização dos derivados da mesma, quanto pelo próprio consumo das famílias locais. Sendo a produção da farinha uma atividade que gera oportunidades de emprego, desde o plantio da mandioca até venda da farinha, e entre outros derivados da mandioca, como farinha de tapioca, polvilho, beiju de massa e tucupi resultante desse processo produtivo, além ser utilizado na fabricação de ração animal. Muito popular nos mercados locais e regionais devido à sua alta demanda e valor cultural, é uma prática tradicional passada por gerações nas comunidades amazônicas. A farinha é rica em nutriente, fonte de carboidrato e com diversas utilidades na culinária e com a versatilidade deste alimento na cozinha, abre um leque de modos de preparo seja consumido sozinho ou combinado com outros ingredientes ou ainda como base para receitas tradicionais.

O cultivo da mandioca assim como outros cultivos, depende de adaptações climáticas para um bom desenvolvimento da produção. O clima Amazônico proporciona uma boa adaptação para esse cultivo, isso contribui com o manejo no plantio, características essas que diminui a dependência do uso de produtos químicos e técnicas agrícolas intensivas. Dada a importância da mandioca no mercado brasileiro, é necessária uma produção eficiente, com mais tecnologias e estudos científicos, de modo a minimizar os custos, desenvolver produtos de maior qualidade e mitigar os problemas ambientais (Guimarães et al., 2022). As técnicas eficientes de colheita, armazenamento e processamento são essenciais para garantir uma produção bem-sucedida e sustentável, permitindo que os agricultores obtenham melhores rendimentos e minimizem as perdas pós-colheita (Souza et al., 2024).

De acordo com Chisté e Cohen (2006) processo de fabricação da farinha de mandioca envolve várias etapas, desde a colheita da raiz até a torrefação da farinha. Sendo essas etapas realizadas após a maturação das raízes, com a colheita que pode ser realizada manualmente ou com o auxílio de máquinas, retirando-as do solo com cuidado para evitar danos nas raízes, em seguida transportadas para a área de preparo, quando em pequena escala, que é o caso da agricultura familiar ou em grande escala à exemplo das pequenas agroindústrias, onde são pesadas e inspecionadas para garantir a qualidade das mesmas. Seguido com retirada da casca que pode ser feito, manualmente ou com auxílio de máquinas descascadoras de mandioca, depois lavadas para retirar as impurezas e trituradas e/ou raladas para formar uma massa

homogênea, facilitando a extração do líquido através da prensagem. A prensagem é realizada através de tipiti, prensas de aperto manual ou hidráulico, nesse processo é retirado o máximo de umidade da massa para facilitar a próxima etapa, que é o ‘escaldamento’ e a torrefação. Sendo a massa esfarelada e peneirada antes de ser colocada no forno. A torrefação é uma etapa crucial para garantir a qualidade final da farinha de mandioca. Onde a massa é cozida (escaldada) em grandes tachos ou fornos, onde é possível modelar diferentes granulometrias de farinha para possíveis classificação, ajuda a eliminar toxinas naturais presentes na mandioca, e a melhorar a textura da farinha. No mesmo forno ou em fornos específicos a massa cozida é torrada para dar à farinha sua textura final e sabor característico. Na etapa final desse processo vem a classificação da farinha, de acordo com a granulometria e a qualidade, isso ajuda a separar diferentes categorias para diferentes usos e comercialização da mesma. Sendo um fator de suma importância o armazenamento adequado, em locais secos e arejados garantindo a conservação e qualidade do produto para o consumo.

Tratando-se da agricultura familiar nas comunidades Quilombolas e Tradicionais as dificuldades enfrentadas são diversas, tanto do ponto de vista tecnológico quanto comercial, especialmente quando comparada à indústria alimentícia. Essas comunidades muitas vezes têm acesso limitado a tecnologias modernas, como maquinário agrícola avançado, sistemas de irrigação eficientes e ferramentas de monitoramento de culturas. A falta de programas de capacitação e treinamento para o uso de novas tecnologias impede que os agricultores familiares adotem práticas mais eficientes e sustentáveis. Os resultados demonstraram a inexpressiva inserção das comunidades na economia solidária, o baixo nível de acesso às políticas públicas e a incapacidade do Estado em gerir o território (Silva, 2021). Infraestrutura básica, como estradas, eletricidade e acesso à internet, é frequentemente inadequada nessas comunidades, dificultando o conhecimento e a implementação de tecnologias agrícolas modernas.

Outro fator que os agricultores familiares enfrentam são dificuldades para acessar maiores mercados e mais lucrativos. A logística de transporte e a falta de canais de distribuição eficiente também são barreiras significativas. Portanto produção em pequena escala e a falta de padronização dos produtos dificultam a competição com a indústria alimentícia, que opera em larga escala e com maior eficiência. Por sua vez a produção de farinha de mandioca está inserida nesse contexto, com muitas comunidades que dependem de métodos artesanais e ferramentas rudimentares para a produção de farinha. A ausência de máquinas modernas, como prensas mecânicas e fornos eficientes, limitam a capacidade de produção e até mesmo a qualidade do produto derivados da mandioca. Além de ser extremamente trabalhoso e requerer muita mão de obra, cada uma dessas etapas demandam um esforço físico relevante.

Um exemplo notável de diversidade cultural e práticas agrícolas tradicionais, a Comunidade Quilombola de São José do Icatu, localizada entre os municípios de Baião e Mocajuba, no Pará, preserva uma rica herança cultural, que se reflete nas suas práticas agrícolas, festividades e modos de vida. As práticas agrícolas tradicionais são uma parte essencial dessa herança, com técnicas e conhecimentos ancestrais sendo aplicados no cultivo de alimentos. Sendo a agricultura familiar como a principal atividade econômica da comunidade. Com prática da agricultura de subsistência, cultivando feijão, arroz, milho, mandioca, açaí, cacau, pimenta-do-reino entre outros cultivos diversos.

Apesar das dificuldades tecnológicas e comerciais, a comunidade tem desenvolvido estratégias para superar esses desafios. A falta de acesso a tecnologias modernas e a maiores mercados é compensada pela cooperação comunitária e pelo uso de técnicas tradicionais de cultivo. Além disso, iniciativas como oficinas de capacitação voltadas para o desenvolvimento sustentável das famílias e o protocolos de consulta livre e informada que ajudam a fortalecer a autonomia e os direitos da comunidade. A Comunidade Quilombola São José do Icatu é um exemplo inspirador de resiliência e preservação cultural, mostrando como a agricultura familiar pode ser uma força vital para a sustentabilidade e a identidade cultural das comunidades quilombolas (Pereira, 2021).

Na produção de farinha de mandioca, a etapa de prensagem da massa é essencial. A eficiência desse processo é fundamental para assegurar a qualidade nas etapas de produção subsequentes. Portanto a implantação de novas tecnologias e práticas aprimoradas de prensagem, aumentam a produtividade e a qualidade da mesma, fortalecendo a economia local, através do desenvolvimento da produção. A eficiência deste processo está relacionada diretamente à sustentabilidade econômica dos agricultores, já que métodos inadequados de prensagem podem levar a perdas significativas de matérias primas da mandioca e afetar negativamente a rentabilidade da produção.

Diante dessas necessidades, a construção de uma prensa eletromecânica para o processo de extração de líquido da massa de mandioca, representará um avanço significativo no processo de produção da farinha, especialmente no contexto de eficiência, custo e sustentabilidade para a agricultura familiar. O ensaio desse protótipo explora os benefícios esperados dessa tecnologia para o melhoramento desse processo, fundamentados em estudos e pesquisas que destacam suas vantagens para a indústria da mandioca.

### 1.1. Justificativa

A implantação de novas tecnologias nos processos de descascamento, trituração, prensagem e torrefação, reduz a necessidade de trabalho manual intenso na produção de farinha de mandioca, aliviando o esforço físico dos trabalhadores. Com isso a automação dessas etapas quando realizadas por máquinas e equipamentos projetados ergonomicamente, melhoram as condições de trabalho, reduz o risco de lesões e fadiga. Além de ser essencial para melhorar a qualidade produtiva, minimizando as perdas durante o processamento, resultando em maior rendimento e melhor aproveitamento da matéria-prima. Contudo os produtos resultam de mesma qualidade ou superior, comparado com os métodos tradicionais, tornando os agricultores familiares mais competitivos no mercado, aumentando suas oportunidades de venda e lucro, sem perder a essência da tradição que vem sendo repassado de várias gerações.

As principais técnicas de prensagem na produção da farinha de mandioca na Comunidade Quilombola São José do Icatu se dão por diferentes tipos, e muitos delas através da fabricação de equipamentos artesanais fabricado pelos próprios agricultores. Dentre estes estão o tipiti feito de fibra vegetal (Figura 1a), a prensa de madeira utilizando macaco hidráulico do tipo garrafa (Figura 1b), prensa de madeira do tipo lavanca (Figura 1c).



Fonte: Autoria Própria

(c) Prensa de madeira do tipo lavanca



Fonte: Pereira (2020)

Desse modo, o projeto de implantação de uma prensa eletromecânica no processo em questão, aumenta consideravelmente a capacidade de produção, reduzindo significativamente o tempo necessário para a secagem. Consequentemente, esse aumento na eficiência do tempo, é crucial para atender à demanda crescente por produtos derivados da mandioca. A produção da farinha tradicional sofre variações de preço constantemente no mercado. Isso se dá por ser um produto semelhante na percepção dos consumidores. Todavia, percebe-se que depois da inovação tecnológica, foi obtido um aumento de 133% na produção da farinha tradicional e alcance de 41,2% sobre o preço desta no mercado (Silva Junior, 2019). Portanto esse projeto visa construir um equipamento eficiente e mais acessível economicamente, por exemplo em comparação com o sistema hidráulico, que por sua vez apresenta uma boa eficiência nesse processo, porém demanda um alto valor devido os seus componentes serem mais caros, tanto quanto a manutenção dos mesmos.

Outra vantagem significativa é a uniformidade na desidratação da massa através da prensagem mecânica, que garante a remoção de umidade mais consistente e eficaz, facilitando os próximos processos como o esfarelamento e a torrefação por exemplo. Com isso obtém-se um produto final de melhor qualidade, sendo uma das características essenciais para a padronização e comercialização dos produtos da mandioca, como farinha e tapioca. Além disso, prensas mecânicas modernas são projetadas para serem energeticamente eficientes, onde essa eficiência energética reduz custos operacionais a longo prazo, contribuindo para a sustentabilidade econômica do processo, principalmente na redução da necessidade de trabalho manual, que é um dos principais fatores de economia de custos, permitindo que os trabalhadores sejam redirecionados para outras etapas produtivas mais qualificadas.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Geral

Projetar, construir e testar uma prensa eletromecânica para prensagem da massa de mandioca, para produção da farinha de mandioca, visando a melhoria na eficiência desse processo e na qualidade da mesma.

### 1.2.2. Específicos

- Identificar e selecionar os materiais mais adequados para a construção da prensa eletromecânica, considerando durabilidade, custo e eficiência;
- Desenvolver um projeto detalhado, incluindo desenhos técnicos e especificações dos componentes a serem utilizados;
- Realizar a seleção, fabricação e montagem de componentes de máquinas de acordo com o projeto desenvolvido;
- Realizar testes de desempenho, avaliando a eficiência na secagem da massa de mandioca e a uniformidade do produto final;
- Analisar os resultados dos testes de desempenho, identificando possíveis melhorias e ajustes no projeto;
- Documentar todo o processo de construção e testes, incluindo fotos, gráficos e relatórios detalhados.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Agricultura familiar na Amazônia

De acordo com Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário (SEAD) a agricultura familiar tem dinâmica e características distintas em comparação à agricultura não familiar. Nela é feito o compartilhamento de uma determinada propriedade, que consiste em um meio de organizar produções agrícolas, florestais, de pesca, pastoral e aquicultura gerenciada e explorada por um grupo familiar. Além disso, o agricultor familiar tem uma relação particular com a terra, seu local de trabalho e moradia. Dados do último censo agropecuário, cerca de 77% dos estabelecimentos foram classificados como de agricultura familiar e foram responsáveis por 23% do valor da produção, ocupando 23% da área total dos estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2017).

A agricultura compreende a atividade econômica responsável pela produção de alimentos que ao longo da história da humanidade ocupou as terras férteis de vales de rios e posteriormente, desenvolveu técnicas e procedimentos que tornaram os solos mais produtivos, buscando sempre uma maior produtividade. Com o advento da indústria e o fortalecimento das cidades, a agricultura tornou-se um setor dependente das inovações técnicas industriais e estabeleceu-se uma interdependência entre os setores. É a agricultura que gera o alimento consumido por toda a população, seja essa população rural ou urbana (Lima, 2019).

Os povos e comunidades tradicionais são grupos culturalmente diferenciados e que se reconhecem como tais, que possuem formas próprias de organização social, que ocupam e usam territórios e recursos naturais como condição para sua reprodução cultural, social, religiosa, ancestral e econômica, utilizando conhecimentos, inovações e práticas gerados e transmitidos pela tradição (Brasil, 2007).

Assim, se tratando da mandioca que geralmente faz parte da cultura dessa população, é um tubérculo resistente e de fácil cultivo, que fornece boas quantidades de carboidratos para o corpo humano ao ser consumido, sendo a base de alimentação de muitas famílias. Embora a produção seja realizada principalmente pela agricultura familiar, na agroindústria sua relevância é significativa, pois os ganhos e a quantidade de empregos criados a partir dessa atividade é crescente e apresentam resultados positivos.

A produção de farinha de mandioca artesanal possui uma tradição secular em vários estados brasileiros e desempenha um importante papel social e econômico para a vida dos agricultores familiares. Que para se manterem economicamente, além dessa atividade, realizam múltiplas atividades produtivas, diversificando as produções ao longo do ano, aproveitando os momentos de entressafras de cultivos. Porém os de baixa renda em sua maioria, tem o cultivo da mandioca como maior fonte de arrecadação para o sustento da família durante o ano todo.

Na Amazônia as técnicas de preparo prévio do solo feito de modo convencional, ainda é utilizada na mandiocultura, favorecendo a erosão do mesmo e sua perda precocemente. Isso atribui-se ao pouco investimento e conseqüentemente a falta de implantação de novas tecnologias no cultivo e na produção de farinha de mandioca, dificultando o desenvolvimento dessas áreas de produção. Mesmo com a facilidade de cultivo, o plantio da mandioca precisa de cuidados específicos que permitam um bom desenvolvimento para a raiz e demais estruturas da planta. Diante disso é fundamental adotar práticas mais sustentáveis no manejo do solo, além de implementar estratégias eficazes para controlar doenças e impedir que plantas invasoras disputem os nutrientes essenciais no crescimento da mandioca (De Paula, 2024, p. 7).

A mandioca é amplamente empregada na culinária amazônica, servindo como base para pratos do dia a dia e/ou sofisticados, contribuindo também para a formação da identidade cultural regional. A partir da raiz são produzidos a farinha d'água, a farinha de tapioca, a farinha temperada, o beiju de massa, o carimã ou massa puba, o tucupi e a goma usados no tacacá. As folhas são trituradas e cozidas por sete dias, juntamente com a carne de porco salgada, originando a maniçoba, um prato típico da culinária paraense. A Região Norte lidera a produção de mandioca com 36,1% da safra nacional, seguida pela Região Nordeste com 25,1% e pela Região Sul, representado a terceira força produtora com 22,1% da produção nacional (Embrapa, 2018).

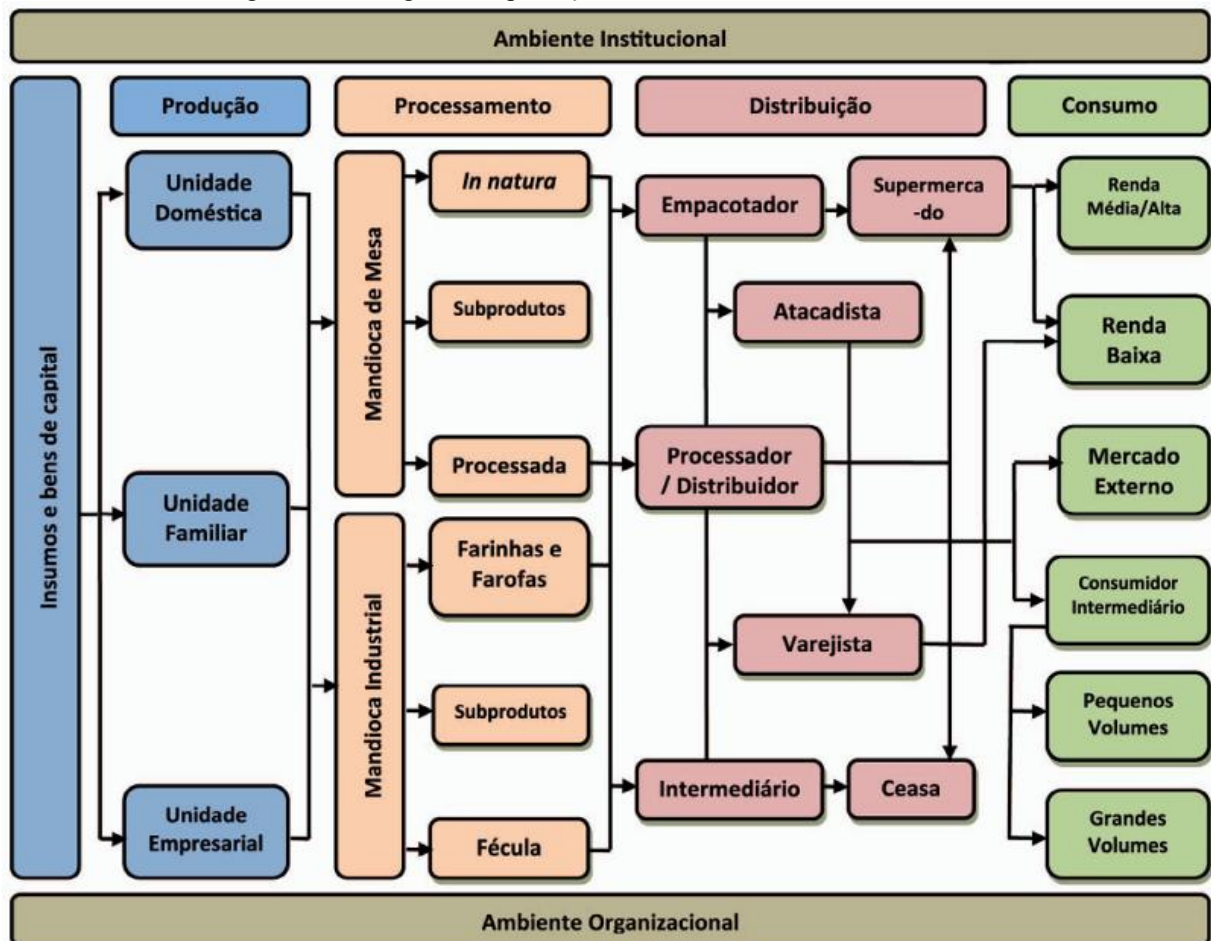
Os locais de processamento da mandioca conhecidos como casas de farinha, em sua maioria são artesanais nessa região, e geralmente são de posse individual ou familiar. Contudo, são usadas de maneira compartilhada, sendo frequentadas por familiares e vizinhos que trabalham em dias alternados nesses locais, isso se deve ao alto valor dos materiais de uma casa de farinha comparado com a produção de determinadas famílias que produzem em quantidades mínimas, sendo mais favorável alugar ou emprestar o local para produção de derivados da mandioca.

O desenvolvimento em qualquer área de crescimento se dá ao incentivo à produção e difusão de novas tecnologias, na agricultura familiar não é diferente, contudo, respeitando as tradições ao mesmo tempo dando qualidade e produtividade para que o agricultor se torne competitivo no mercado. Com isso gerando ações que contribuam para a fixação do jovem na comunidade, como empoderamento e renda certa podem gerar um cenário de continuidade para a agricultura local. (Da Silva, 2021, p. 144). A participação de moradores de diversas faixas etárias no processo de produção da farinha de mandioca é um ponto positivo que denota a transferência de saberes para os comunitários mais jovens, garantindo sua sobrevivência e tendo subsídios para permanecer no campo, evitando o êxodo rural, mantendo a cultura pelo hábito

alimentar histórico quilombola e amazônica do uso de farinha como ingrediente principal (Quadros; Gomide, 2021, p. 60).

Para produzir a farinha de mandioca o processo básico se dá respectivamente, pela colheita das raízes, transporte até o local de produção, descascamento, lavagem, ralação, prensagem, peneiramento, escaldamento, torração, classificação e estocagem. Na Figura 2 é ilustrado um fluxograma mais completo desse processo.

Figura 2 – Fluxograma da produção da farinha de mandioca e derivados



Fonte: Coêlho (2018)

A prensagem da massa na etapa do processo artesanal de fabricação da farinha de mandioca, é que mais interfere nos requisitos de qualidade do produto. É realizada para reduzir ao máximo o excesso de umidade da massa triturada, o que facilitará as etapas de escaldamento/branqueamento e de torração. Então, caso a prensagem seja realizada em horários muito quentes do dia e por um período muito longo, pode ocorrer a fermentação da massa, resultando na elevação da acidez da farinha (Alvares; de Sousa; Lambertucci, 2019).

## 2.2. Técnicas de prensagem da massa de mandioca

A prensagem se dá através da aplicação de uma força em determinada área para obter resultados em diferentes âmbitos, seja uma peça através de um molde, cortar e dobrar materiais metálicos, até mesmo na indústria alimentícia para moldar ou retirar líquido de alimentos, onde a massa de mandioca estar inserida, entre outras aplicações. Para a prensagem da massa de mandioca são utilizados vários métodos, sendo esses de acordo com a necessidade do produtor em relação a produção, ou até mesmo com a disponibilidade de matérias primas da natureza, usados na fabricação de instrumentos para prensagem. As técnicas tradicionais de prensagem utilizadas no processo de extração do excesso de líquido na massa de mandioca, são realizadas através do uso do tipiti (instrumento fabricado de tala vegetal) (Figura 3).

Figura 3 – Tipiti de fibra vegetal



Fonte: Autoria Própria

Na prensa de alavanca (Figura 4), usa-se madeira e cabo de aço ou náilon para aplicar a carga.

Figura 4 – Prensa de madeira do tipo lanca



Fonte: Pereira (2020)

As prensas parafuso (Figuras 5 e 6), são modelos que normalmente são fabricadas de madeira ou de metal.

Figura 5 – Prensa manual com parafuso de metal



Fonte: Chapadão Máquinas (2019)

Figura 6 – Prensa com parafuso de madeira



Fonte: Vitor Leiloeiro Público

A prensa de madeira com auxílio de macaco hidráulico (Figura 7) e a prensa hidráulica (Figura 8), com maior uso industrial, são equipamentos que necessitam de um aperto contínuo para melhor resultado final do processo, obtendo-se a retirada uniforme do líquido da massa.

Figura 7– Prensa de madeira com uso de macaco hidráulico



Fonte: Autoria Própria

Figura 8 – Prensa hidráulica



Fonte: Chapadão Máquinas (2019)

Com exceção do tipiti, que é utilizado em uma armação e tracionado através de madeira servindo como lavanca, os outros processos envolvem os mesmos princípios de prensagem. Os procedimentos de prensagem da massa de mandioca são realizados da seguinte forma: após a massa ser ralada, é colocada na prensa com auxílio de baldes em sacos de rafias. Dependendo

do tamanho e modelo coloca-se a partir de três sacos de massa sendo que em cada saco coloca-se aproximadamente 40 kg de massa para. Após colocar todos os sacos na prensa, é feito o aperto manual e/ou automático. Sendo que a cada aperto deve ser feito por um determinado intervalo de tempo de acordo com o modelo, até que a massa perca o máximo de umidade possível.

Essa umidade reduz à medida que se aumenta o tempo de permanência na prensa, e esta define por sua vez o tempo de permanência da massa ralada nos fornos. Quanto menor umidade, menor a permanência do produto nos fornos, reduzindo os gastos com energia, possibilitando menor tempo na execução desta tarefa (Texeira, 2008, p. 7).

Diante do exposto temos que a acidez da massa durante a etapa de prensagem aumenta com o maior tempo de prensagem, e cuidados devem ser tomados nesta etapa para que estes valores não sejam excessivos a ponto de a acidez da farinha não reduzirem a níveis permitidos pela legislação brasileira (Álvares, 2009, p. 862). Sendo a acidez um indicador da eficiência desse processo. Portanto a necessidade de projetar e construir uma prensa eletromecânica se dá pelo baixo custo operacional e de construção, em comparação com uma prensa hidráulica que demanda alto valor de aquisição dos materiais e manutenção especializada. Tendo em vista a necessidade de baratear o projeto que visa inicialmente uma faixa de adquirentes de pouca rentabilidade, devemos optar por soluções que equilibrem custo e qualidade. Isso implica na escolha de materiais acessíveis, métodos de produção eficientes e simplificados, e na adoção de tecnologias que reduzam o tempo e o custo de fabricação.

### **2.3. Projetos de componentes de máquinas**

O projeto de engenharia mecânica é um dos principais segmentos da engenharia; ele trata dos conceitos, do projeto, do desenvolvimento, do refinamento e das aplicações de máquinas e dispositivos mecânicos de todos os tipos (Juvinal, 2016, p. 3). Assim como as considerações de segurança, os fatores ecológicos são muito mais complexos para o engenheiro abordar do que temas como tensão e deformação de corpos elásticos. Tendo em vista que essas atribuições devem ser levadas em consideração, a partir de que pode gerar impacto negativo para o meio ambiente.

Para Phal (2005, p. 2) a missão do engenheiro é encontrar soluções para problemas técnicos. Para tanto ele se baseia em conhecimentos das ciências naturais e da engenharia e leva em conta as condicionantes materiais, tecnológicas e econômicas, bem como restrições legais, ambientais e aquelas impostas pelo ser humano. Portanto as soluções precisam atender os objetivos prefixados e autopropostos, para que após seu esclarecimento, os problemas sejam

convertidos em subtarefas que o engenheiro terá pela frente durante o processo de desenvolvimento do produto. Buscando eficiência no funcionamento do produto em questão.

Outra questão que está inserida nesse contexto é a proteção pessoal, uma preocupação constante para os engenheiros, que a cada dia demanda mais cuidado. Comparativamente aos cálculos quase instantâneos e diretos de variáveis como tensão e deslocamentos em estruturas. A avaliação da segurança é bastante subjetiva, de difícil mensuração e sujeita a fatores psicológicos e sociológicos. No entanto, essa circunstância apenas intensifica o apelo do trabalho de um engenheiro. Ela o inspira a reunir todas as informações relevantes para que, posteriormente, sejam feitas escolhas acertadas que expliquem o entendimento, a criatividade, a competência e o discernimento. Em uma análise consciente, a habilidade é o segundo aspecto crucial da segurança na engenharia. A criatividade e a competência do engenheiro devem ser um ponto positivo para antecipar possíveis situações de perigo do projeto. O ditado popular que afirma que tudo que pode acontecer provavelmente acontecerá mais cedo ou mais tarde é pertinente neste contexto.

Caso o engenheiro esteja suficientemente ciente das questões de segurança e esteja disposto a enfrentar esse desafio com sua criatividade e competência, existem algumas técnicas e diretrizes que costumam ser úteis como ilustra a Figura 9.

Figura 9 – Desenvolvimento passo a passo de um produto industriais



Fonte: Delgado Neto

Para a engenharia segura são essenciais aspectos não-técnicos ligados às pessoas envolvidas. Para que os esforços relacionados à segurança sejam eficazes, os engenheiros precisam estar cientes disso. Para isso contam com uma grande variedade de ferramentas e recursos para assisti-los na solução de problemas de projeto. Microcomputadores baratos e pacotes de programas robustos fornecem ferramentas de imensa capacidade para o projeto, a análise e a simulação de componentes mecânicas. Além dessas ferramentas, os engenheiros sempre necessitam de informação técnica, seja na forma de ciência básica, comportamento de engenharia ou na de características de componentes específicas de catálogo (Budynas, 2011, p. 34).

O sucesso de qualquer projeto depende muito da validade e adequação dos modelos de engenharias utilizados, para prever e analisar seu comportamento antes da construção de qualquer máquina. A criação de um modelo de engenharia útil para um projeto é provavelmente a parte mais difícil e desafiadora de todo processo. Seu sucesso depende tanto de experiências como de habilidade. O mais importante é a compreensão completa dos princípios básicos e dos fundamentos da mesma, que pode consistir em alguns croquis da configuração geométrica e em algumas equações que descrevam seu comportamento. É um modelo matemático que descreve o comportamento físico do sistema. Esse modelo de engenharia requer invariavelmente o uso de computadores para ser testado (Norton, 2013).

### 2.3.1. Dimensionamento dos componentes mecânicos

Diante dos fundamentos foram usados os princípios físicos e cálculos de engenharia para dimensionar os componentes mecânicos do projeto. Inicialmente da carga ser exercida na prensa, dimensionamento do parafuso de potência, transmissão das engrenagens, potência do motor, dimensionamento de eixo e as cargas nos mancais. Sendo ainda inspirado no modelo de prensa que utiliza o macaco hidráulico citado anteriormente, foi determinado a carga a ser exercida por meio de adaptação de manômetro ao equipamento e posteriormente usou-se os princípios de calibração de instrumentos. A calibração é um processo que compara valores de dois ou mais sistemas de medição. O primeiro é o sistema de referência, ou laboratório, e o segundo o sistema de medição que está sendo calibrado (Albuquerque, 2018).

Os parafusos de potência foram dimensionado de acordo com a carga e velocidade de avanço pré determinada, através de engrenagem adquiridas de motores usados e suas relações de transmissão, e a rotação inicial. Para determinar a rotação do parafuso usou-se a equação 1 e/ou a equação 2.

$$n_3 = \frac{N_2}{N_3} n_2 \quad (1)$$

$$\frac{\omega_p}{\omega_c} = \frac{N_c}{N_p} \quad (2)$$

Sendo  $N_2$  e  $N_3$  o número de dentes das engrenagens motora e movida,  $n_2$ ,  $\omega_p$  e  $n_3$ ,  $\omega_c$  são as velocidades angulares das respectivas engrenagens.

Usando a equação 3 para calcular a velocidade de avanço da suposta mesa móvel.

$$V_{avanço} = Rot_{parafuso} * p \quad (3)$$

Onde  $Rot$  é a rotação e  $p$  o passe da rosca do parafuso.

As tensões nominais de roscas  $\sigma_B$  em parafusos de potência podem ser relacionadas aos parâmetros de rosca de acordo com a equação 4:

$$\sigma_B = -\frac{F}{\pi d_m n_t \frac{p}{2}} = -\frac{2F}{\pi d_m n_t p} \quad (4)$$

Sendo  $F$  a força a ser aplicada,  $d_m$  o diâmetro do parafuso,  $n_t$  números de roscas engajadas e  $p$  o passe da rosca.

A tensão transversal de cisalhamento  $\tau$  no centro da raiz da rosca devido à carga  $F$  é calculada através da equação 5.

$$\tau = \frac{3}{2} * \frac{F}{\frac{2\pi d_r n_t p}{2}} = \frac{3F}{\pi d_r n_t p} \quad (5)$$

Onde  $d_r$  é o diâmetro de raiz do parafuso.

Diâmetro médio, equação 6;

$$d_m = d - \frac{p}{2} \quad (6)$$

Onde  $d$  é o diâmetro externo.

Diâmetro de raiz, equação 7;

$$d_r = d - p \quad (7)$$

Para obter o torque de prensagem  $T_R$  de acordo com a carga necessária, foi determinada através da equação 8, juntamente o torque do colar  $T_c$  equação 9.

$$T_R = \frac{F \cdot d_m}{2} \left( \frac{l + \pi f d_m \cdot \sec(\alpha)}{\pi d_m - f l \cdot \sec(\alpha)} \right) \quad (8)$$

Onde  $l = p$ ,  $f$  o coeficiente de fricção e  $\alpha$  o ângulo da rosca trapezoidal.

$$T_c = \frac{F f_c d_c}{2} \quad (9)$$

Sendo que  $f_c$  é o coeficiente de fricção e  $d_c$  o diâmetro do colar.

O torque do motor  $T_{motor}$  é dado pelo torque de elevação e a relação de transmissão das engrenagens, equação 10.

$$T_{motor} = \frac{T_R \cdot 2}{Rel} \quad (10)$$

Onde  $Rel$  é a relação do sistema de engrenamento.

A potência do motor equação 11;

$$Pot_{motor} = \frac{T_{motor} \cdot \omega}{ef_{eng}} \quad (11)$$

Sendo que  $ef_{eng}$  é a eficiência de transmissão da engrenagem e  $\omega$  a velocidade angular em radianos por segundo.

A carga axial máxima que uma coluna pode suportar antes de ocorrer a flambagem chamamos de carga crítica  $P_{cr}$ .

Cálculos de  $P_{cr}$  para o parafuso de potência, é usado para analisar a carga crítica para ocorrer a flambagem devido seu comprimento  $L$ , onde se calcula o menor momento de inercia da seção transversal do parafuso em relação ao comprimento do mesmo, de acordo com o seu módulo de elasticidade equações 12 e 13.

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad (12)$$

Onde  $I$  é o momento de inércia de área.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (13)$$

Onde  $P$  são carga máxima segura a ser aplicada e  $E$  módulo de elasticidade do material.

A tensão crítica  $\sigma_{critico}$  para o parafuso de potência, se dá pela tensão crítica para ocorrer a flambagem devido seu comprimento  $L$ , equação 14 e 15.

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (14)$$

Sendo  $A$  a área menor da seção transversal.

Dessa forma, a tensão crítica e dada pela seguinte equação.

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L}{k}\right)^2}; \quad k = \frac{\sqrt{I}}{A} \quad (15)$$

Sendo  $k$  o menor momento de inercia da seção transversal.

Com as dimensões das engrenagens e a potência do motor é possível calcular as cargas transmitidas nas engrenagens, no eixo e posteriormente no mancal. Sendo inicialmente determinada a carga transmitida no primeiro trem de engrenagens acionada pelo motor, equação 16. A transmissão transferência de carga através de movimento ou potência (rotação e torque) de uma entrada para saída, dentro de uma máquina, ou entre máquinas distintas.

$$W_{32}^t = F_{32}^t = \frac{60000H}{\pi d_{eng} n} \quad (16)$$

Sendo:

$W^t = F^t$  é a carga transmitida da engrenagem motora para a movida;

$H$  é a potência do motor em hp;

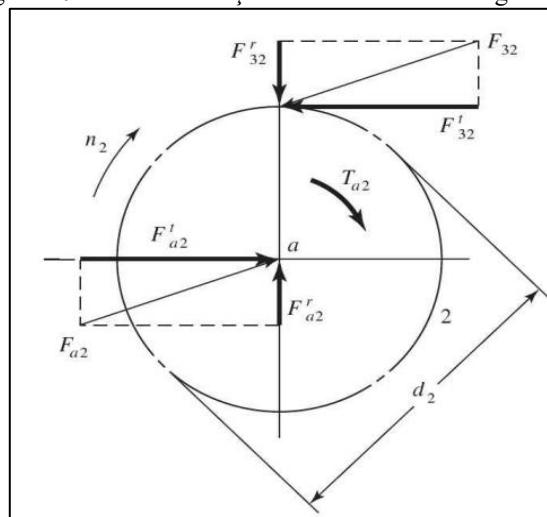
$d_{eng}$  é o diâmetro da engrenagem motora;

$n$  a rotação do motor.

O torque aplicado através da transmissão do engrenamento  $T_{eng}$ . Como é mostrado na equação 17 e ilustrado no DCL da figura 10.

$$T_{eng} = \frac{d}{2} * W_t \quad (17)$$

Figura 10 – DCL das forças na transmissão da engrenagem



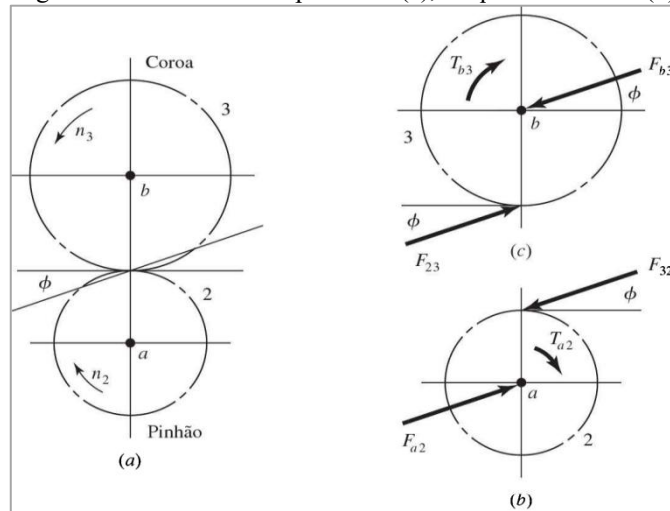
Fonte: Budynas, 2011.

A potência transmitida é calculada através do torque e/ou carga, e a velocidade angular. Equação 18.

$$H = T_{eng} \omega = \left( W_t \frac{d}{2} \right) \omega \quad (18)$$

Essas cargas são transmitidas na velocidade da linha primitiva da engrenagem, como é ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – DCL da linha primitiva (a), torque transmitido (b)



Fonte: Budynas, 2011.

Os cálculos das cargas radiais e cargas resultantes, são calculados em relação ao ângulo de pressão entre as engrenagens. Equação 19 e 20.

$$F_{32}^r = F_{32}^t * \tan 20^\circ \quad (19)$$

$$F_{32} = \frac{F_{32}^t}{\cos 20^\circ} \quad (20)$$

Sendo a carga resultante igual a aplicada no eixo e posteriormente no mancal.

Para determinar a tensão admissível  $\sigma'$  e o diâmetro mínimo seguro para o eixo  $d_{eixo}$ , temos as seguintes equações.

$$\sigma_x = \frac{32M_{max}}{\pi d_{eixo}^3} \quad (21)$$

$$\tau_{xy} = \frac{16T_R}{\pi d_{eixo}^3} \quad (22)$$

Onde  $\sigma_x$  é a tensão nominal,  $M_{max}$  o momento máximo e  $\tau_{xy}$  a tensão cisalhante.

As tensões em um elemento localizado na superfície de um eixo sólido e redondo, de diâmetro  $d$ , sujeito a flexão, carregamento axial e torção, são usadas para calcular as tensões média e alternada de Von Mises a partir da Equação 23.

$$\sigma' = \left[ \sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

## 2.4. Normas técnicas

Projetar uma máquina requer fundamentos e normativas necessárias para o desenvolvimento e funcionamento adequado da mesma. Por isso identificar as necessidades de implantação e exigências do projeto faz-se necessário. As normas regulamentadoras (NR) e

seus anexos definem referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para resguardar a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos, e ainda à sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título.

De acordo com a NR 12 o projeto das máquinas e equipamentos fabricados a partir da publicação da Portaria MPT n.º 806, de 13 de abril de 2022, deve levar em conta a segurança intrínseca da máquina ou equipamento durante as fases de construção, transporte, montagem, instalação, ajuste, operação, limpeza, manutenção, inspeção, desativação, desmonte e sucateamento por meio das técnicas, a serem observadas para resguardar a saúde e a integridade física dos trabalhadores em todos os âmbitos.

Analisar os acidentes é uma forma de preveni-los. A missão do departamento de segurança do trabalho é justamente evitar que por falta de atenção e dedicação, um trabalhador ou um estudante possa vir se acidentar gravemente (Alencar Junior, 2018)

## **2.5. Modelagem computacional**

No âmbito da Engenharia de Estruturas, o Método dos Elementos Finitos (MEF) é fundamental para a determinação do estado de tensão e de deformação de sólidos com geometria arbitrária sujeitos a ações externas. Durante o curso de Engenharia, é crucial que o estudante tenha a oportunidade de lidar com tecnologias básicas e avançadas, simulando condições reais. Isso é essencial para que o futuro profissional possa aplicar a ciência e a tecnologia de forma eficaz, adaptando os conhecimentos científicos às necessidades práticas e enfrentando os desafios do mercado profissional de maneira competente (Azevedo, 2003).

Para Silva (2013), “Com o MEF, é possível analisar qualquer forma, usar várias maneiras para idealizar a geometria e produzir resultados com a precisão desejada. As restrições de tempo e a disponibilidade limitada de dados dos produtos exigem muitas simplificações nos modelos de análise”. A exatidão dessas simulações é fortemente influenciada pela qualidade dos dados e das equações empregadas no modelo.

### **2.5.1. Modelagem utilizando o método dos elementos finitos**

Esta revisão tem por finalidade apresentar os fundamentos teóricos e práticos associados ao Método dos Elementos Finitos (MEF), com foco na aplicação em análises estruturais. Serão explorados aspectos fundamentais do MEF, bem como a influência da qualidade da malha gerada no desempenho e na precisão das simulações. Adicionalmente, abordam-se a análise

estática estrutural, os critérios de avaliação da malha incluindo convergência e métricas geométricas, os principais tipos de elementos finitos empregados (tais como os sólidos tetraédricos e hexaédricos), além das condições de contorno e das metodologias de aplicação dos carregamentos. A integração desses tópicos visa estabelecer uma base conceitual sólida para a condução das simulações numéricas que compõem este projeto.

O Método dos Elementos Finitos é um método de solução aproximada de equações diferenciais muito úteis em ciência e engenharia. Ele possibilita a simulação de situações reais em um espaço discreto, cujo limite infinitesimal tende ao contínuo. A visualização computacional também tem seguido a implementação dos cálculos por este método permitindo uma análise visual das situações determinadas através do cálculo numérico. (Alves, 2010).

Atualmente, a Análise de Elementos Finitos (FEA) é amplamente utilizada em análises, pois apresenta muitas vantagens em comparação com o método analítico tradicional. [...] A FEA é uma técnica numérica para encontrar a solução aproximada de equações diferenciais parciais da análise de tensões devido ao impacto de força, vibração, calor, etc.” (Patil; Jeyakarthikeyan, 2018, p. 065).

### 2.5.2. Análise estática estrutural

O principal objetivo da análise estrutural é determinar as forças e deformações da estrutura devido às cargas aplicadas. O projeto estrutural envolve a determinação da forma, das cargas e o dimensionamento dos elementos e componentes estruturais, de modo que a estrutura montada seja capaz de suportar tais cargas dentro dos estados limites de projeto. O modelo analítico é uma idealização da estrutura real, e deve relacionar o comportamento físico às propriedades dos materiais, aos detalhes estruturais e às condições de contorno com a maior precisão possível, conforme discutido por Chen e Lui (2005).

### 2.5.3. Avaliação de malha (convergência de malha, métricas de malha)

“A análise estrutural é uma ferramenta essencial para engenheiros de projeto. A geração de malhas é a etapa básica em qualquer simulação. Na prática da análise de tensões por elementos finitos, o engenheiro precisa primeiro saber se as tensões-chave estão convergindo e, em segundo lugar, se convergiram para um nível razoável de precisão. Para obter resultados confiáveis ao usar o método dos elementos finitos, deve-se garantir que uma malha aceitável seja usada em relação à forma e ao tamanho dos elementos” (PATIL; JEYAKARTHIKEYAN, 2018, p. 012065).

SILVA (2013) afirma que “embora o gerador de malhas automático realize a parte trabalhosa do problema, é preciso controlar a dimensão e a qualidade da malha. O algoritmo de malha baseada na curvatura gera uma malha com um tamanho de elemento variável que possibilita a resolução precisa de pequenos recursos na geometria. A densidade da malha afeta diretamente a precisão dos resultados. Quanto menores os elementos, menores os erros de discretização, mas maiores os tempos de geração de malha e solução”.

O refinamento de malhas é uma importante abordagem utilizada como forma de representação e manipulação de sistemas reais. A crescente evolução de software e hardware, permitiu que problemas clássicos fossem analisados computacionalmente antes de terem seus projetos colocados em prática. Isso trouxe um melhor aproveitamento de tempo e recursos, pois falhas que só seriam descobertas em uma fase de construção são detectadas anteriormente (FOGAÇA, 2015).

Uma malha mais refinada gera um número maior de equações, dessa maneira é possível observar melhor o comportamento estrutural. Em contrapartida há um aumento do custo computacional que deve ser avaliado na viabilidade do procedimento em cada problema tratado (Nunes, 2016, p. 120).

#### 2.5.4. Tipos de elementos finitos (sólido tetraédrico e hexaédrico)

A escolha entre elementos tetraédricos e hexaédricos depende diretamente das características geométricas do modelo a ser analisado. Como observado por Zienkiewicz e Taylor (2000), “os elementos hexaédricos oferecem maior precisão, mas requerem malhas estruturadas, o que dificulta sua aplicação em geometrias mais complexas. Em contrapartida, os elementos tetraédricos são mais versáteis nesse aspecto, mesmo com menor eficiência numérica. Assim, a decisão deve considerar tanto a fidelidade da análise quanto a praticidade na geração da malha”.

#### 2.5.5. Condições de contorno e aplicação dos carregamentos

Na análise estática estrutural da prensa, as condições de contorno foram definidas para representar os apoios e as forças atuantes no modelo. As restrições limitaram os deslocamentos em regiões fixas da estrutura, enquanto os carregamentos simularam as forças aplicadas durante o funcionamento da prensa, permitindo avaliar com precisão as tensões e deformações. Como destaca Oliveira (2013, p. 28): “Para realização de análises no MEF, é necessário alimentar o modelo com dados reais ou hipótese de simulação, estes dados são denominados restrições e condições de contorno. As condições de contorno em análises estáticas se dividem geralmente em dois grupos, que são as restrições e os carregamentos.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Desenvolvimento do projeto

Para dar início a esse projeto fez-se necessário obter a carga que é aplicada na prensa de madeira usando o macaco hidráulico do tipo garrafa para a aplicação da carga, usada na comunidade de implantação do projeto. Para isso, foi adaptado um manômetro analógico da marca Novapress, para isso foi utilizado um macaco hidráulico do tipo garrafa da marca vulcamac. Feito isso, iniciou-se o processo de prensagem para obtenção dessa carga por meio de duas medições. Sendo a primeira com uma carga máxima de 2 toneladas, mantendo-se constante. Tendo em vista que no início do processo há uma quantidade muito elevada de líquido na massa. Após perder bastante líquido, o processo exigiu uma carga maior a ser exercida, portanto 3 toneladas foram exercidas dessa vez. Com isso, obtivemos que a carga de 3 toneladas é máxima necessária para esse processo.

Devido esse equipamento usado para realização da medição não ter certificação de calibração, optou-se por fazer uma curva de calibração para obter valores reais. No entanto, esse procedimento foi realizado com auxílio da máquina de ensaios mecânicos da marca MC do laboratório de ensaios mecânicos da faculdade de engenharia mecânica da UFPA campus Tucuruí.

A curva de calibração é uma ferramenta fundamental no campo da análise química e instrumental. Ela permite a determinação precisa e confiável da concentração de uma substância em uma amostra desconhecida, através da relação entre a concentração e a resposta do instrumento de medição, nesse caso usamos entre instrumentos de medições. É criada utilizando uma série de padrões com concentrações conhecidas da substância alvo. Estes padrões são submetidos à análise do instrumento de medição, que registra as respectivas respostas. Posteriormente, um gráfico é elaborado com as concentrações no eixo x e as respostas do instrumento no eixo y. A mesma é essencial para assegurar a precisão e exatidão em análises químicas. Permite comparar os resultados medidos com padrões de referência, assegurando a confiabilidade dos dados obtidos.

Existem diferentes tipos de curva de calibração, que podem ser utilizados de acordo com as características da substância de interesse e do instrumento de medição. A curva de calibração linear é utilizada por sua simplicidade, aplicável quando existe uma relação linear entre a concentração e a resposta do instrumento. Nessa abordagem, ajusta-se os pontos experimentais a uma linha reta que expressa essa relação. Por outro lado, a curva não linear é empregada quando essa relação não é linear, exigindo o uso de uma equação matemática mais complexa

para o ajuste dos pontos. Esse princípio foi usado para a construção dessa curva de calibração, usando os equipamentos de medições citados e o método linear, o qual se aplica a mesma.

Os procedimentos de medições feito na máquina de ensaios mecânicos, ocorreu posicionado o macaco hidráulico citado anteriormente para realizar o procedimento de ensaio de compressão (Figura 12), aplicando a carga gradualmente com intervalo de 0,5 kN.

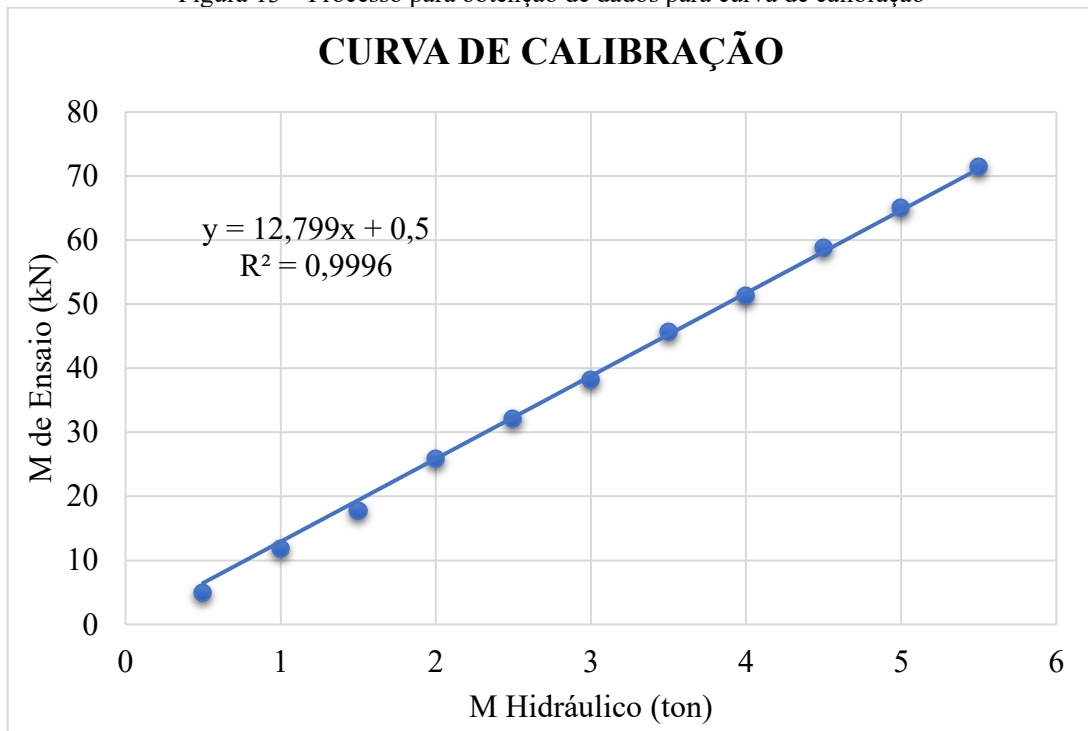
Figura 12 – Processo para obtenção de dados para curva de calibração



Fonte: Autoria Própria

Com isso obteve-se através da plotagem do gráfico (Figura 13), os valores referentes em ambos instrumentos.

Figura 13 – Processo para obtenção de dados para curva de calibração



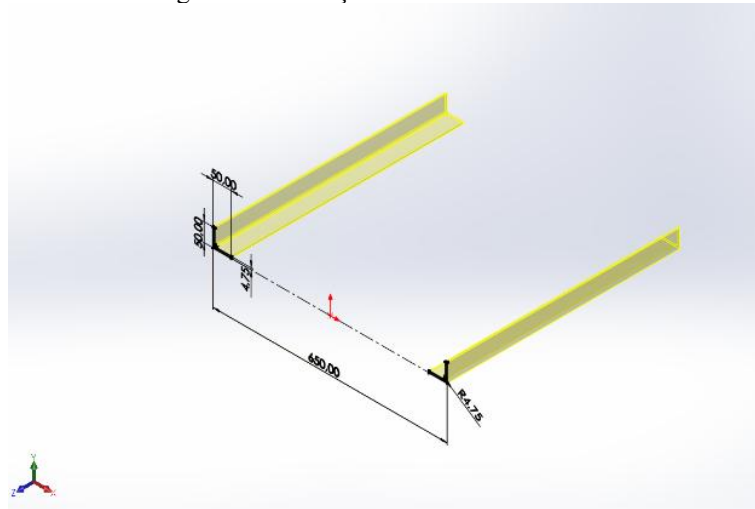
Fonte: Autoria própria

Através da curva de calibração obteve-se uma carga real na aplicada no processo de prensagem com o macaco hidráulico de aproximadamente 40 kN, onde serviu como base para aplicação no projeto.

### 3.1.1. Desenho em 3D

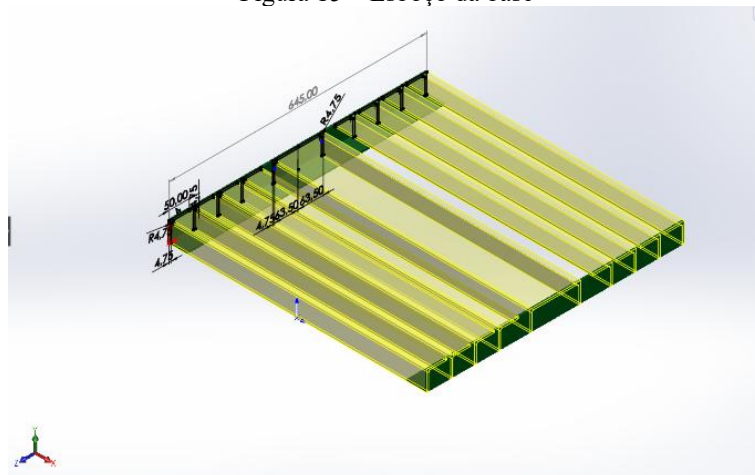
Foi realizado os desenhos de todos os componentes da prensa para representar as peças e suas respectivas dimensões. Onde foi realizado os ajustes e proporção iniciando pela estrutura principal até os demais componentes para compreender e interpretar com precisão cada peça. Tendo os desenhos e suas cotas definidas, todos os componentes sairão precisos e conseqüente a isso, com resultados positivos. A modelagem estrutural da prensa foi realizada no software CAD SolidWorks, iniciando-se pela construção do esboço bidimensional da base, seguido pela aplicação da operação de extrusão para geração do volume sólido (Figura 14 e 15).

Figura 14 – Esboço da extremidade da base



Fonte: Autoria Própria

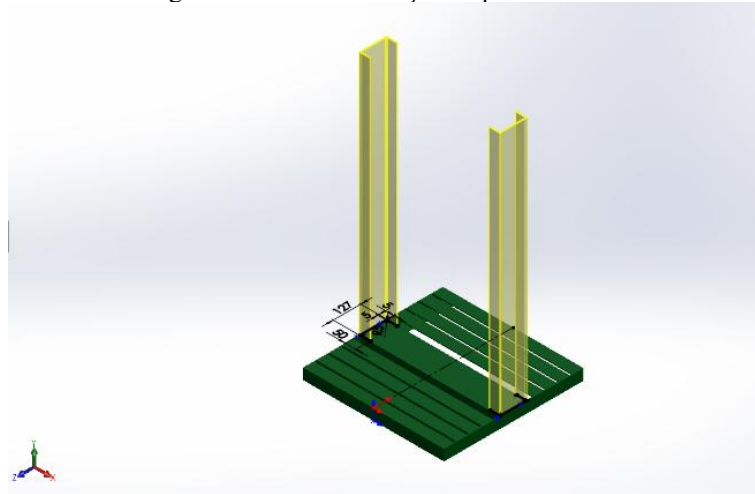
Figura 15 – Esboço da base



Fonte: Autoria Própria

Subsequentemente, foram desenvolvidos os perfis laterais da prensa, também por meio de esboços e extrusões sequenciais, respeitando as dimensões e simetrias do projeto (Figura 16).

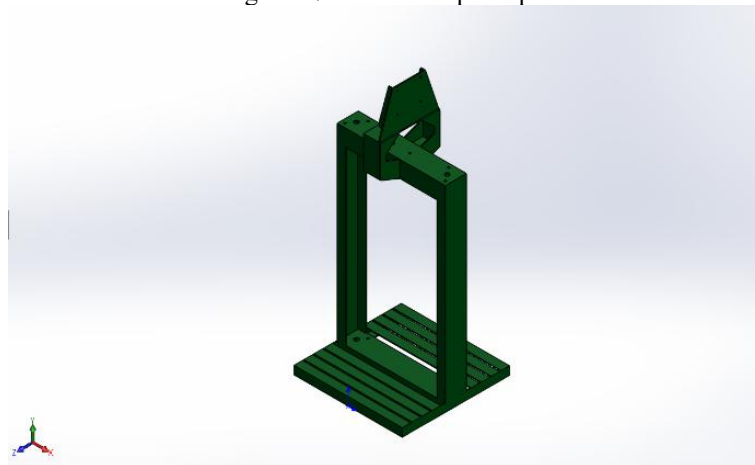
Figura 16 – Base e Esboço dos perfis laterais



Fonte: Autoria própria

Após a consolidação da geometria estrutural da base, foram incorporadas features funcionais por meio de operações paramétricas de corte e perfuração, incluindo os furos para o parafuso principal, alojamentos para os mancais e demais elementos de fixação e apoio. Em seguida, aplicou-se o mesmo procedimento construtivo à parte superior da prensa, respeitando os alinhamentos e simetrias exigidos pelo projeto. Para finalizar, foi modelado o suporte do motor, integrando-o à estrutura principal com precisão dimensional e compatibilidade funcional. Com todas as etapas concluídas, obteve-se uma representação tridimensional completa e fiel da estrutura da prensa, permitindo a validação visual do conjunto, a verificação de interferências e a preparação para os processos de análise estrutural (Figura 17).

Figura 17 – Estrutura principal

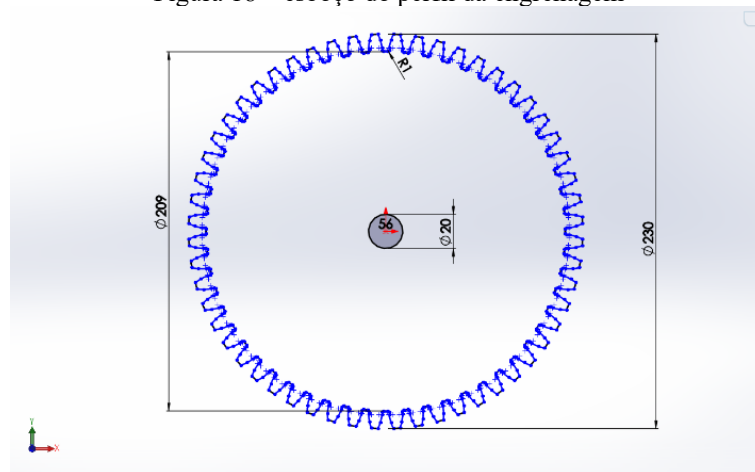


Fonte: Autoria Própria

Com a estrutura principal da prensa finalizada, foi desenvolvido o trem de engrenagens, composto por cinco engrenagens e um eixo central. Todo o desenho e modelagem foram

realizados no SolidWorks, com base nos parâmetros definidos no memorial de cálculo de cada componente. As engrenagens foram construídas manualmente por meio de esboços paramétricos, respeitando módulo, número de dentes, ângulo de pressão e diâmetro primitivo. O perfil dos dentes foi gerado com a curva involuta, utilizando o recurso, esboço, curva acionada por equação para garantir precisão geométrica e desempenho funcional. As operações de Ressalto/Base Extrudado e padrão circular foram aplicadas para formar o corpo da engrenagem e replicar os dentes (Figura 18).

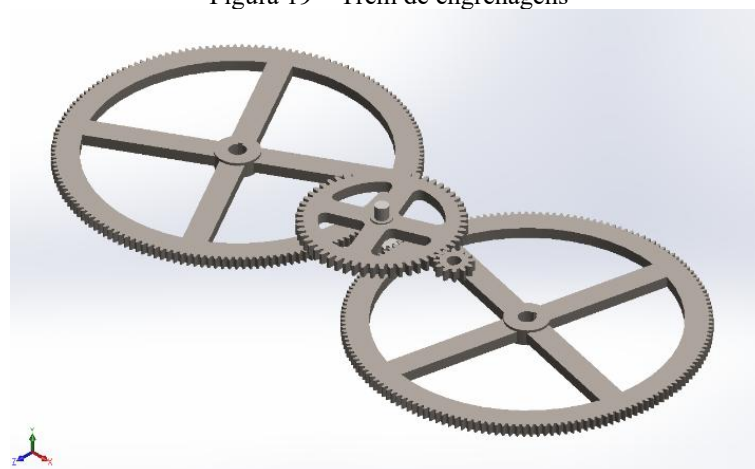
Figura 18 – esboço do perfil da engrenagem



Fonte: Autoria própria

O eixo central foi modelado com extrusões e cortes conforme os encaixes definidos no projeto. Após a finalização das peças, todas foram inseridas no ambiente de montagem para verificação de posicionamento, alinhamento e funcionamento do conjunto (Figura 19).

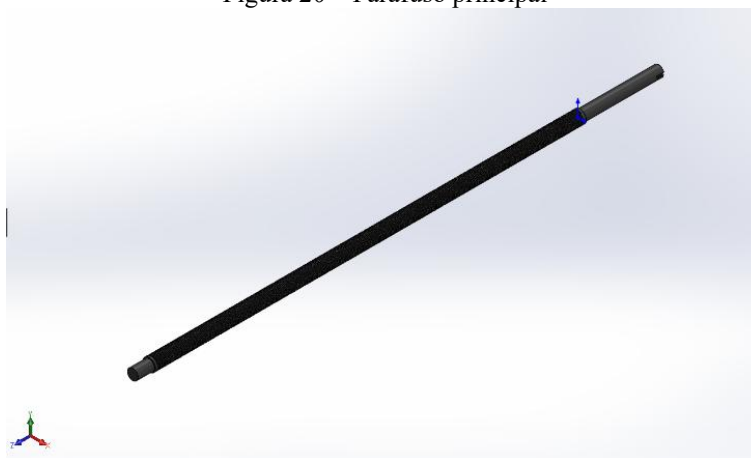
Figura 19 – Trem de engrenagens



Fonte: Autoria própria

O parafuso principal da prensa foi modelado no SolidWorks com perfil de rosca trapezoidal, ideal para aplicações que exigem alta capacidade de carga e movimento linear preciso. A geometria foi construída por meio de ressalto-extrusão, hélice/espiral, ressalto-extrusão e corte-extrusão, com parâmetros já definidos. A rosca trapezoidal foi aplicada ao longo do corpo do parafuso, garantindo eficiência na transmissão de força. A extremidade superior foi projetada para acoplamento com as engrenagens de maior diâmetro, e a base foi ajustada para alinhamento com mancal fixado na estrutura da prensa (Figura 20)

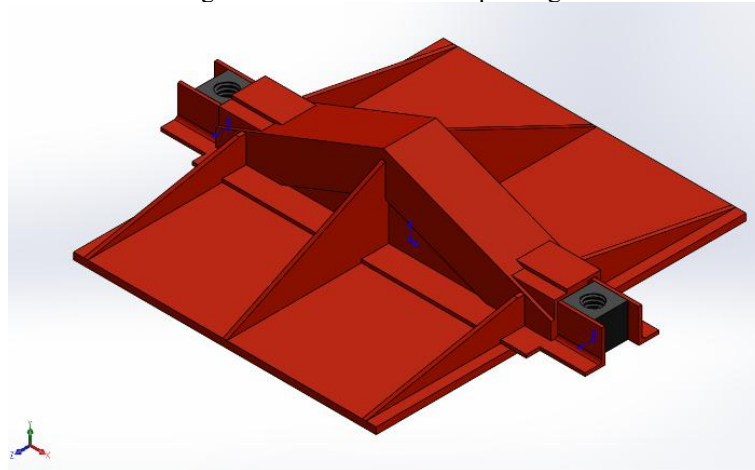
Figura 20 – Parafuso principal



Fonte: Autoria própria

Com base na distância entre centros das engrenagens, foi definido o posicionamento preciso do sistema de transmissão. A partir desses parâmetros, realizou-se a modelagem da mesa de prensagem, alinhada ao eixo de acionamento e projetada para suportar esforços que a mesma estará exposta. A geometria da mesa inclui reforços estruturais com nervuras e área útil compatível com o curso do parafuso trapezoidal. Nas extremidades, foram instalados componentes de fixação e transmissão (porcas trapezoidais) alinhadas à rosca do parafuso principal, permitindo a conversão do movimento rotacional em deslocamento linear. Essa etapa garantiu a integração funcional entre os elementos mecânicos e a base operacional da prensa (Figura 21).

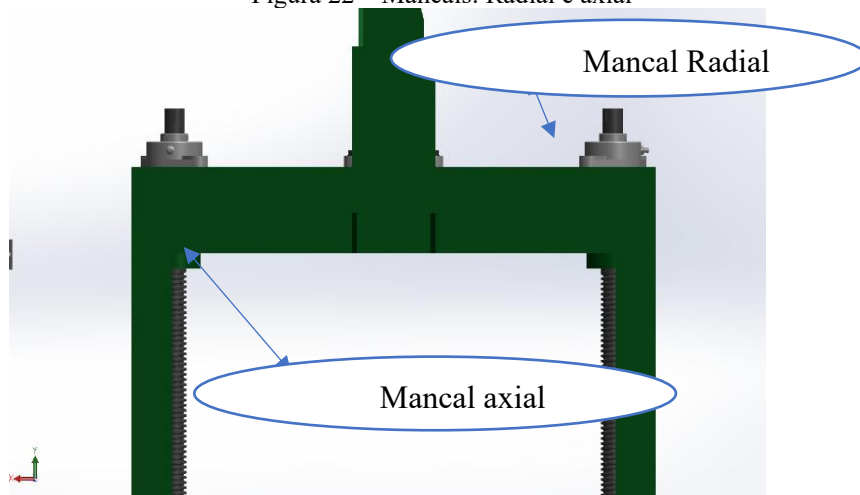
Figura 21 – Mesa móvel de prensagem



Fonte: Autoria própria

Os mancais foram posicionados estrategicamente tanto na base quanto na parte superior da estrutura, garantindo suporte e estabilidade ao parafuso principal. Na parte inferior da seção superior, foi realizada uma adaptação específica para a instalação de um rolamento axial, projetado para suportar as maiores cargas aplicadas durante o funcionamento da prensa. Essa modificação foi essencial para distribuir os esforços de forma eficiente, evitando sobrecargas nos mancais radiais e assegurando maior durabilidade ao conjunto. A escolha e o posicionamento dos componentes foram validados por meio de modelos CAD da SKF, permitindo uma integração precisa e funcional dos demais componentes (Figura 22).

Figura 22 – Mancais: Radial e axial



Fonte: Autoria própria

A montagem final foi realizada com todos os componentes, ajustados no ambiente de montagem no CAD Solidworks. Foram aplicados recursos avançados de posicionamento, como restrições mecânicas no trem de engrenagens e no parafuso com rosca trapezoidal, simulando

o funcionamento real do sistema. Os elementos foram alinhados com precisão, garantindo compatibilidade geométrica, movimento relativo e validação funcional da prensa (Figura 23).

Figura 23 – Montagem final da prensa eletromecânica



Fonte: Autoria própria

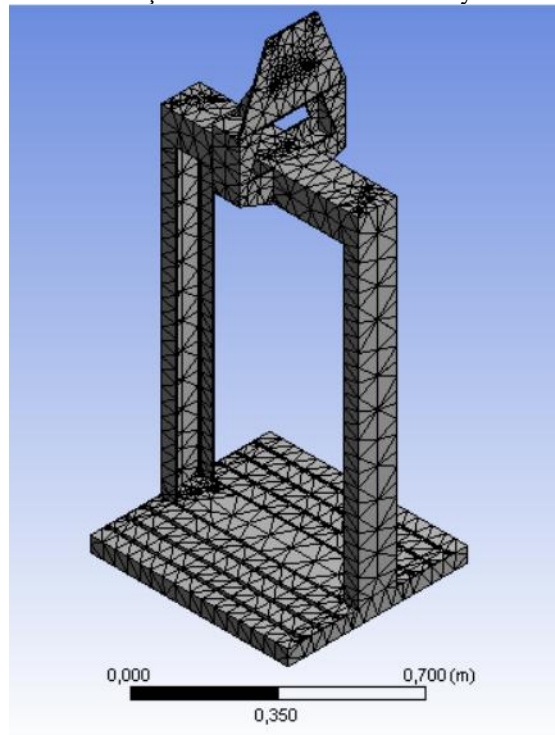
### 3.1.2. Análise estrutural por elementos finitos

Com o modelo tridimensional do protótipo desenvolvido integralmente no SolidWorks 2020, a etapa seguinte consistiu na realização da análise estrutural estática por meio do software ANSYS Workbench. Essa análise teve como principal objetivo avaliar o desempenho mecânico da estrutura sob condições de carregamento específicas, simulando situações reais de funcionamento.

#### 3.1.2.1. Análise da estrutura principal

A análise estática estrutural foi iniciada no ANSYS Workbench com a geração automática da malha (Figura 24), etapa fundamental para a discretizar o modelo tridimensional. No entanto, a qualidade inicial da malha gerada não foi satisfatória, o que exigiu um refinamento adicional em toda a estrutura para melhorar a representação geométrica e a precisão dos resultados.

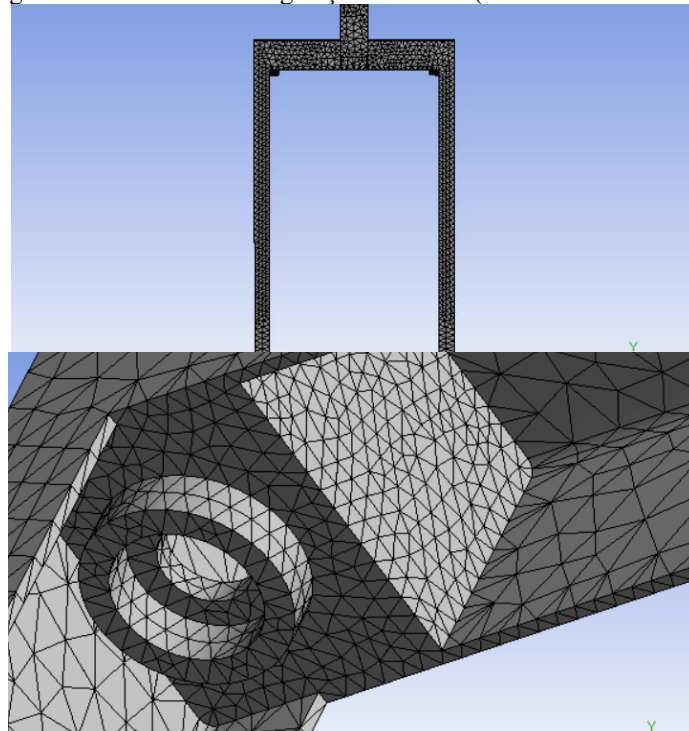
Figura 24 – Geração de malha automática/Ansys Workbench



Fonte: Autoria Própria

Dando continuidade à análise, iniciou-se o processo de convergência de malha com o objetivo de avaliar as tensões no modelo. Foram realizados refinamentos sucessivos até se alcançar um tamanho de elemento de 0,008 m, conforme ilustrado na (Figura 25). A partir desse ponto, os resultados obtidos indicaram valores de tensão e 150 Mpa, o que está dentro dos padrões considerados estáveis, permitindo concluir que o modelo já apresentava consistência suficiente para prosseguir com a avaliação.

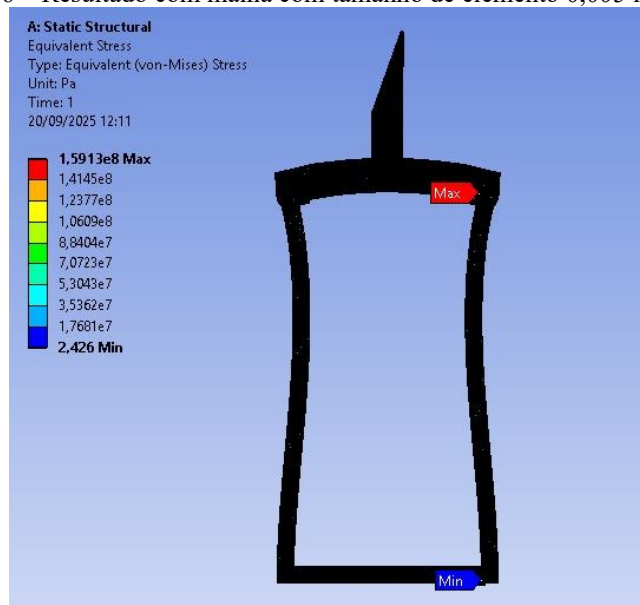
Figura 25 – Refinamento e geração de malha (tamanho de elemento 0,008)



Fonte: Autoria Própria

Dando sequência ao processo de refinamento, foi testada uma malha com elementos de 0,005 m, resultando em uma tensão máxima de 159,13 MPa (Figura 26), em comparação aos 150,49 MPa obtidos com a malha de 0,008 m. Deste modo, um aumento de 60% no refino da malha, não justifica apenas 5% na diferença entre os resultados.

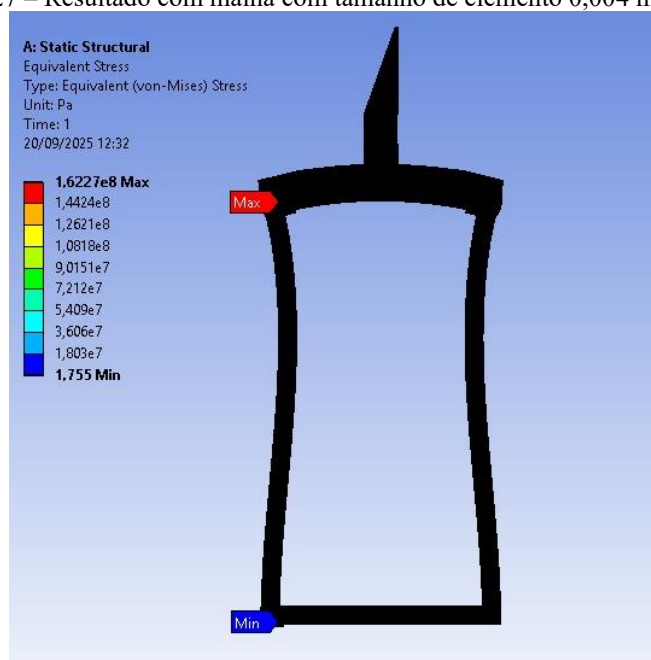
Figura 26 – Resultado com malha com tamanho de elemento 0,005 mm



Fonte: Autoria Própria

Em seguida, ao aplicar uma malha ainda mais refinada, de 0,004 m, a tensão máxima atingiu cerca de 162 Mpa (Figura 27), o que corresponde a uma variação de aproximadamente 7% em relação ao valor inicial. Ou seja, um aumento de 100% no refino da malha, não justifica apenas 7% na diferença entre os resultados. Esses resultados demonstram que, apesar do aumento significativo no refinamento, os ganhos em precisão foram mínimos, permitindo concluir que a malha de 0,008 m é suficiente para garantir estabilidade numérica e eficiência computacional na análise.

Figura 27 – Resultado com malha com tamanho de elemento 0,004 mm.



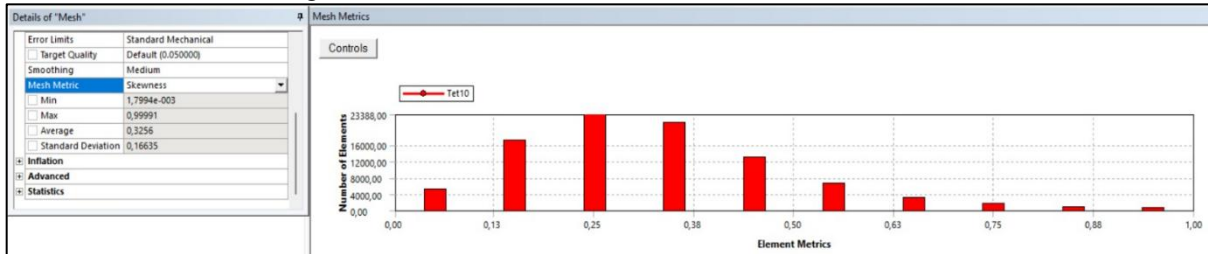
Fonte: Autoria Própria

O mesmo procedimento de convergência de malha foi aplicado à análise da mesa móvel e do suporte do motor. Para ambos os componentes, o tamanho dos elementos foi progressivamente reduzido até que os valores de tensão se estabilizassem, garantindo a confiabilidade dos resultados. Durante esse processo, observou-se que, ao aumentar em 50% o tamanho do elemento, a variação nos resultados de tensão não ultrapassava 5%, o que confirma a estabilidade numérica e valida o refinamento adotado.

A análise de convergência de malha realizada nesse processo, evidenciou variações relevantes nos resultados à medida que o refinamento da malha era incrementado. Nos estágios iniciais, observou-se que os valores obtidos nas simulações apresentavam discrepâncias significativas, o que indicava a necessidade de uma malha mais densa para garantir maior precisão. Com o refinamento progressivo, essas diferenças foram se reduzindo gradualmente.

A Figura 28 mostra o teste de qualidade de malha, de modo que o gráfico ilustra a relação do número de elementos com a métrica de elementos.

Figura 28 – Skewness com tamanho de elemento de 0,008 m



Fonte: Ansys Workbench

Tal análise mostra os resultados onde apresentou média e desvio padrão de 0,318 e 0,156, respectivamente, totalizando uma dispersão de 0,474. Na Figura 29 é apresentada uma tabela como o valor do Skewness e em função da qualidade do elemento, evidenciando a boa confiabilidade da malha adotada.

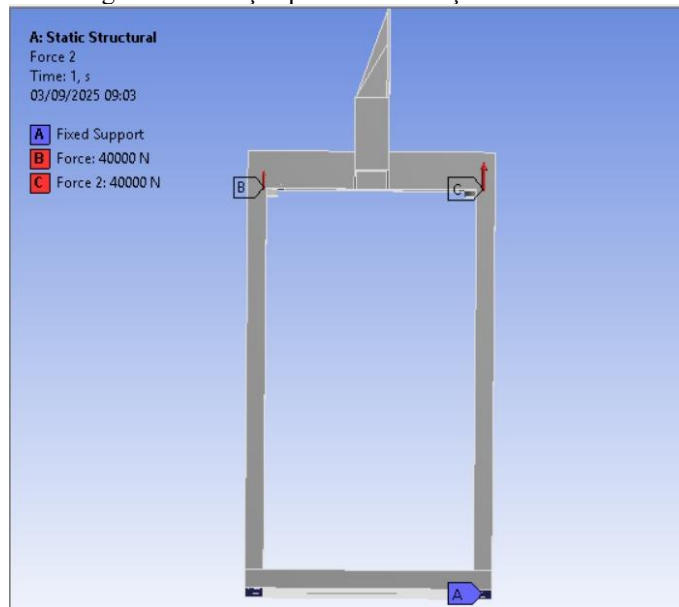
Figura 29 – Métricas de malha

Value of Skewness	Cell Quality
1	degenerate
0.9 — < 1	bad (sliver)
0.75 — 0.9	poor
0.5 — 0.75	fair
0.25 — 0.5	good
> 0 — 0.25	excellent
0	equilateral

Fonte: Ansys Workbench

A Figura 30, a seguir, mostra onde foram aplicadas cargas concentradas e distribuídas em pontos estratégicos do modelo, sendo A, B e C. Onde B e C representam o esforço exercido durante o funcionamento da máquina e A identifica as restrições de movimento que foram definidas de forma a reproduzir as condições de fixação e apoio presentes na montagem física, garantindo maior fidelidade à simulação.

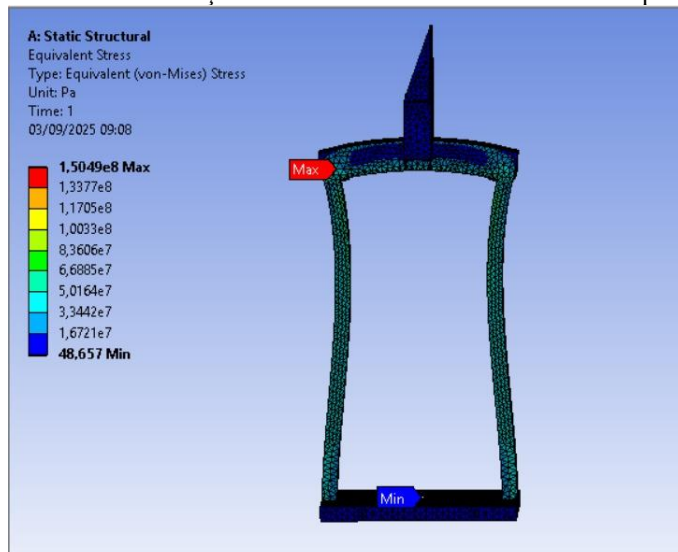
Figura 30 – Força aplicada e condição de contorno



Fonte: Autoria Própria

A primeira análise refere-se à distribuição de tensão de Von Mises na estrutura principal. Os resultados indicam que as maiores concentrações de tensão ocorrem nas regiões de contato direto com os elementos de carga, especialmente nos mancais axiais localizado nas extremidades da secção superior. Apesar dessas concentrações, os valores máximos de tensão permanecem abaixo do limite de escoamento do material que é de 350 Mpa, o que demonstra que a estrutura está operando dentro de condições seguras. Essa análise foi fundamental para avaliar a integridade estrutural da prensa frente aos esforços aplicados durante o seu funcionamento (Figura 31).

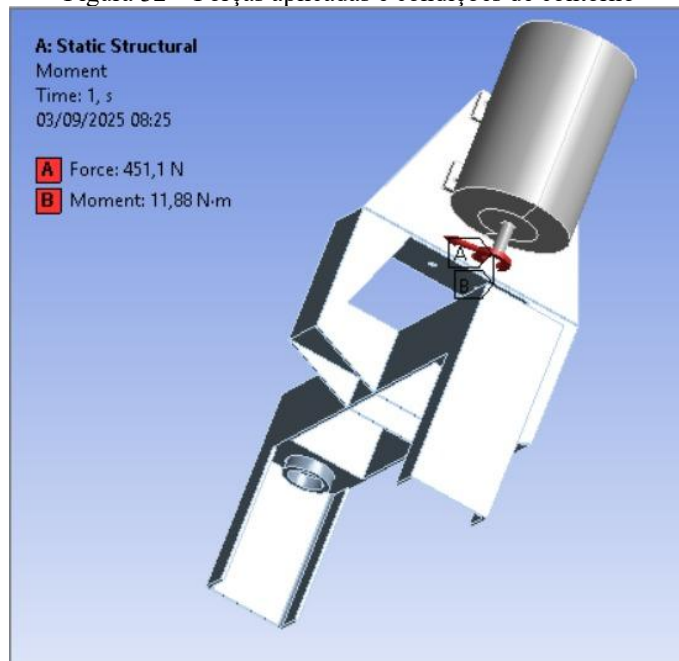
Figura 31 – Análise de distribuição de tensão de Von Mises na estrutura principal



Fonte: Autoria Própria

Considerando as condições de contorno aplicadas no sistema de coordenadas global, as cargas foram distribuídas com componentes de -154 N no eixo X, 0 N no eixo Y e 424 N no eixo Z, simulando os esforços durante o funcionamento. Adicionalmente, foi considerada uma força de 451,1 N gerada no momento do acionamento do motor, responsável por induzir torção na estrutura devido à transmissão de esforços pelas engrenagens (Figura 32). Essa aplicação permitiu avaliar a resistência mecânica e o comportamento estrutural do suporte sob condições reais de operação.

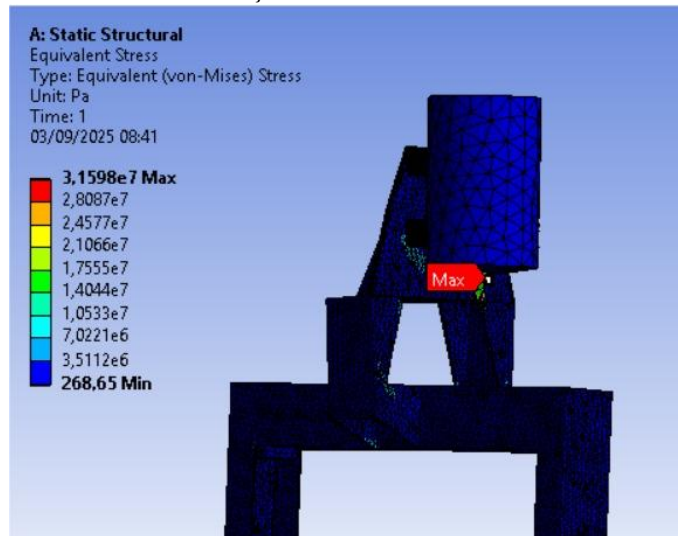
Figura 32 – Forças aplicadas e condições de contorno



Fonte: Autoria Própria

A segunda análise refere-se à distribuição de tensão equivalente (Von-Mises) no suporte do motor. Onde as tensões mais elevadas concentram-se nas áreas de fixação e nas regiões próximas aos pontos de aplicação de carga (eixo do motor). O suporte foi projetado para resistir aos esforços gerados durante o funcionamento do motor, e os resultados obtidos indicam que não há risco de falha estrutural. Essa análise confirma que o componente está dimensionado adequadamente para suportar as condições operacionais previstas (Figura 33).

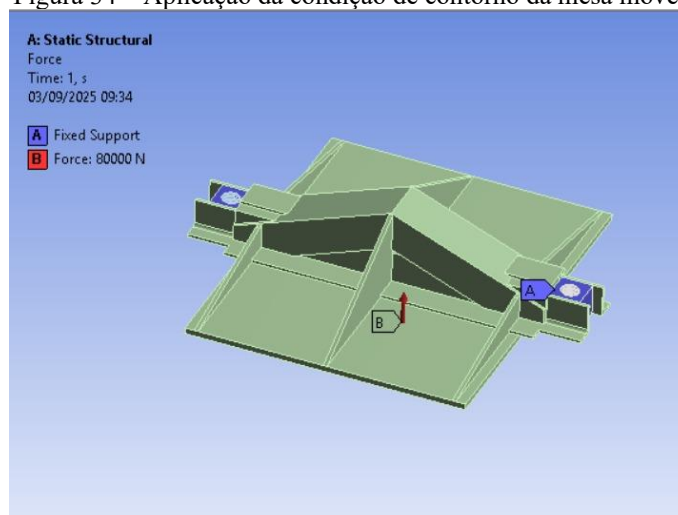
Figura 33 – Análise de distribuição de tensão de Von Mises na estrutura do motor



Fonte: Autoria Própria

Após as análises da estrutura principal e do suporte do motor, foi realizada a análise estática da mesa móvel, construída em aço SAE 1020, material amplamente utilizado por sua boa resistência mecânica e excelente usinabilidade. Utilizou-se o mesmo critério de malha, com foco na convergência e qualidade, garantindo precisão nos resultados sem comprometer o desempenho computacional. As condições de contorno foram aplicadas nas extremidades da mesa, nas regiões onde estão fixadas as porcas de rosca trapezoidal que recebem o parafuso principal (Figura 34), simulando fielmente o cenário real de funcionamento.

Figura 34 – Aplicação da condição de contorno da mesa móvel

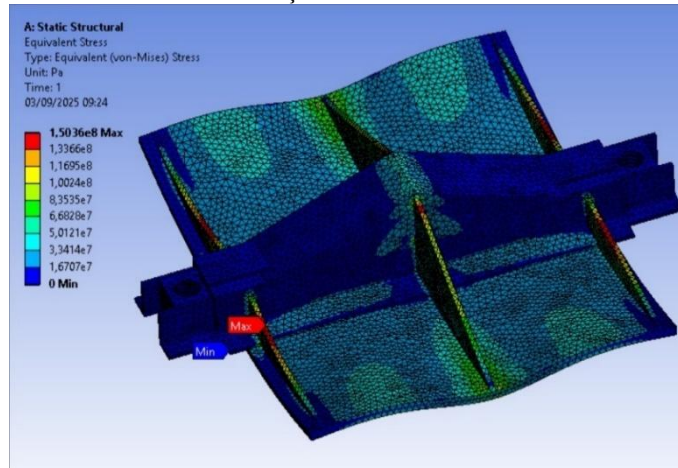


Fonte: Autoria Própria

A seguir, foi realizada simulação considerando uma força de 80 kN, aplicada conforme as condições reais de operação durante o funcionamento do sistema. Deste modo, os resultados mostram através da análise pelo critério de Von Mises que a tensão máxima obtida é de

aproximadamente 150 MPa na estrutura, estando abaixo do limite de escoamento do material (Figura 35).

Figura 35 – Análise de distribuição de tensão de Von Mises na mesa móvel



Fonte: Autoria Própria

### 3.2. Seleção dos materiais

A construção de um protótipo, em geral, implica um custo financeiro considerável. Desse modo, tornou-se necessária a implementação de adaptações estratégicas no desenvolvimento do projeto. Essas implantações visam, primordialmente, reduzir os custos de produção, permitindo a viabilidade do projeto sem comprometer a sua qualidade ou funcionalidade.

Inicialmente, a seleção dos materiais foi conduzida por meio de uma abordagem mista. Utilizando peças doadas para atender aos requisitos iniciais e para aproveitar a disponibilidade de recursos. Paralelamente, materiais adicionais foram adquiridos conforme as especificações e as exigências estabelecidas. Os memoriais de cálculos e os desenhos técnicos com as medidas detalhadas estão apresentados nos apêndices A, B, C e D, comprovando os enunciados a seguir.

#### 3.2.1. Engrenagens

Para este projeto, concebeu-se um sistema de transmissão por engrenagens, sendo utilizados dois trens de engrenamento. Para o primeiro, optou-se por utilizar um par de engrenagens de 501 mm de diâmetro, com 165 dentes e de módulo 3, reaproveitadas do mecanismo de partida de um motor Changay de 28 HP (Figura 36). Esse tipo de motor é amplamente empregado em embarcações utilizadas por populações ribeirinhas na região de Cametá, no Pará.

Figura 36 – Engrenagem de acionamento do motor Changay 28 HP



Fonte: Autoria Própria

A principal justificativa técnica para essa escolha foi a necessidade de se obter um torque elevado na transmissão. Tal exigência demanda uma redução significativa na velocidade angular, que é alcançada pela diferença de diâmetro entre as engrenagens. Para viabilizar a conversão do movimento, foram necessárias adaptações para o acoplamento das engrenagens. O objetivo final é transformar o movimento rotativo em movimento linear na prensa, onde o parafuso principal está localizado.

Para acionar o par de engrenagens maior, obtive-se ainda por meio de doação uma terceira engrenagem com diâmetro de 60 mm e 18 dentes (Figura 37). A compatibilidade do módulo entre as engrenagens foi um ponto crucial, pois permitiu definir as dimensões laterais do protótipo sem a necessidade de adaptações adicionais.

Figura 37 – Engrenagem central de acionamento



Fonte: Autoria Própria

Para o segundo trem, foi utilizado peças também doadas de um ralador de mandioca manual do tipo caititu, porém de módulo diferente do primeiro trem. Neste sistema, a engrenagem de 56 mm de diâmetro e 12 dentes, recebe a rotação do motor transmitindo a carga

para a engrenagem maior com 230 mm de diâmetro e 56 dentes, que está fixada no eixo central (Figura 38). Com esse sistema de transmissão obteve-se uma redução de 43:1, adquirindo um torque final de 99,35 Nm transmitido para o parafuso de potência.

Figura 38 – Engrenagens do segundo trem de engrenamento



Fonte: Autoria Própria

### 3.2.2. Motor

A seleção do motor elétrico para a prensa eletromecânica foi feita com base em cálculos de força e transmissões de engrenagens citado anteriormente. Desse modo a potência mínima necessária de 2,67 HP foi determinada, e verificou-se que um motor com as especificações exigidas estava disponível por meio de doação, o que foi ideal para o projeto (Figura 39).

Figura 39 – Motor elétrico Weg 3 CV

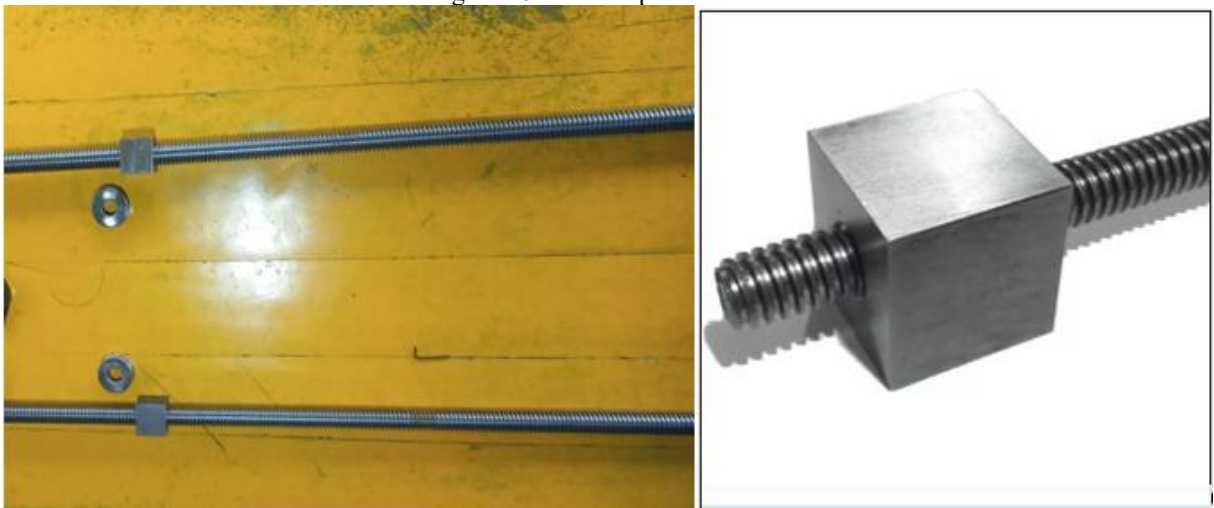


Fonte: Autoria Própria

### 3.2.3. Parafuso de potência

A seleção do parafuso de potência foi determinada pelas exigências do projeto, que demandam a capacidade de suportar a carga e a velocidade de avanço da mesa principal. A base para essa escolha foi a literatura técnica de elementos de máquinas, que oferece cálculos de resistência para roscas, sendo fundamental para o dimensionamento adequado da peça. Com isso fez-se necessário o uso de um fuso trapezoidal com diâmetro medindo  $1 \cdot \frac{1}{4}$  polegada, passo da rosca 4 fios por polegada, com 1500 mm de comprimento, aço SAE 1045 polido. A porca quadrada medindo 2 polegadas em aço SAE 1020 de mesma rosca, características ideais para suportar cargas elevadas (Figura 40).

Figura 40 - Fuso e porca rosca



Fonte: Autoria Própria

### 3.2.4. Estrutura principal

Após a criação dos modelos 3D da estrutura principal, foi realizada uma análise computacional, com o objetivo de obter resultados que, ao serem comparados com as referências técnicas consultadas, pudessem garantir a segurança da estrutura com os devidos materiais selecionados. Esse processo permitiu determinar as dimensões ideais e necessárias para a construção do equipamento. Para isso utilizou-se diferentes perfis metálicos em aço estrutural SAE 1020, entre eles chapas, perfil em U e cantoneiras (Figura 41).

Figura 41 – Estrutura principal



Fonte: Autoria Própria

### 3.2.5. Mancais

Com base nas cargas transmitidas pelo conjunto de engrenagens, foi possível determinar os esforços nos mancais radiais, onde a carga máxima encontrada foi de 1,2366 kN, o que permitiu a seleção do tipo de mancal. O modelo selecionado foi o mancal flangeado (UCF) 205 e (UCF) 204, com diâmetro para o eixo de 25 mm e 20 mm para o acoplamento do parafuso de potência e do eixo central respectivamente. Amplamente utilizado na indústria, sua principal

função é suportar e guiar eixos rotativos em diferentes aplicações, oferecendo grande estabilidade para o projeto (Figura 42).

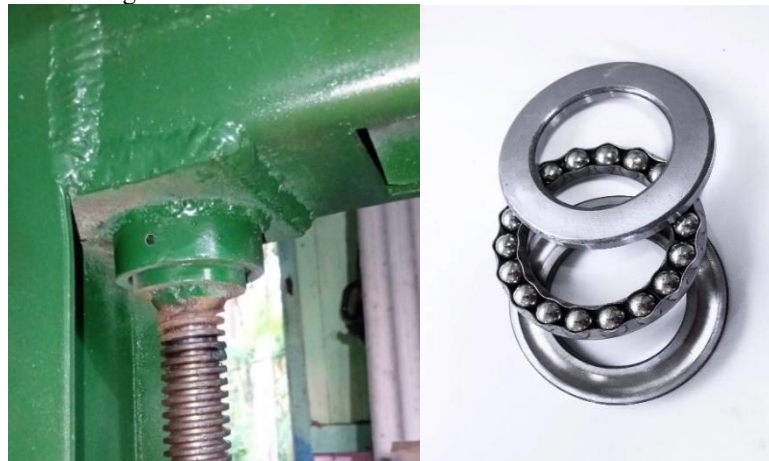
Figura 42 – Mancais de rolamento flangeado



Fonte: Autoria Própria

Para suportar a carga radial exercida pelo fuso de potência, utilizou-se a força máxima exercida pela prensa conforme o projeto, que é de 80 kN, ou seja, 40 kN para cada rolamento. Com base nessa carga dinâmica, os rolamentos radiais foram selecionados a partir do catálogo do fabricante para garantir a segurança da operação. No entanto, para fixar o rolamento na estrutura principal, foi necessário projetar e fabricar um mancal para tal (Figura 43).

Figura 43 – Mancal axial e rolamento axial de esferas



Fonte: Autoria Própria/SKF

### 3.2.6. Eixo central

Com base também nas cargas máxima exercidas pelo conjunto de engrenagens no eixo, que é de 0,11886 kN, foi possível determinar o material para a fabricação. Sendo usado o aço estrutural SAE 1020 e o diâmetro mínimo seguro de 20 mm para o eixo central do mecanismo

através da tensão de Von Mises. Com isso verificou-se a possibilidade de obter esse material por meio de doação e parceira para usinagem do mesmo (Figura 44).

Figura 44 – Eixo central do conjunto de engrenagens



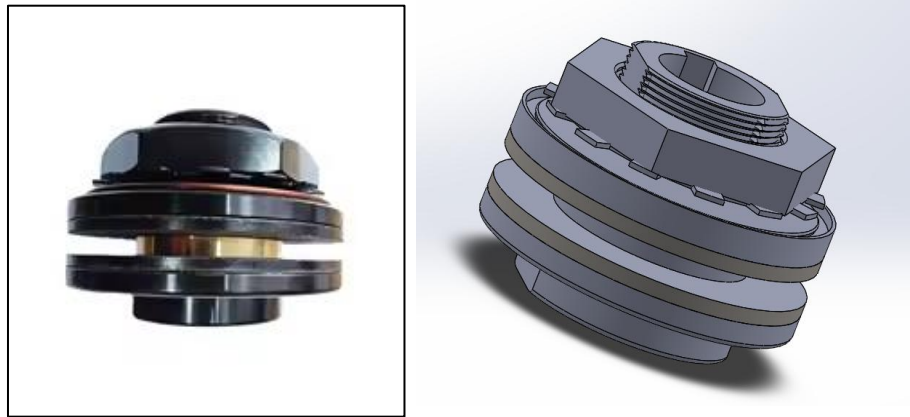
Fonte: Autoria Própria

### 3.2.7. Limitador de torque

Para proteger a vida útil do motor elétrico e/ou possíveis danos na estrutura, é essencial ter um sistema de controle de carga. Inicialmente, uma célula de carga parecia ser a solução ideal para evitar sobrecargas. No entanto, o custo elevado de um equipamento robusto tornou sua aquisição inviável, elevando demais o valor do protótipo.

Uma alternativa mais acessível seria um limitador de torque por fricção com controle através de aperto dos anéis de fricção, frequentemente utilizado em motores elétricos na indústria. Embora mais barato que a célula de carga, o modelo ideal para o projeto ainda estava acima do orçamento, principalmente por se tratar de um produto de importação. Por fim, decidiu-se adquirir um modelo de limitador de torque inferior e adaptá-lo para atender às necessidades do projeto (Figura 45).

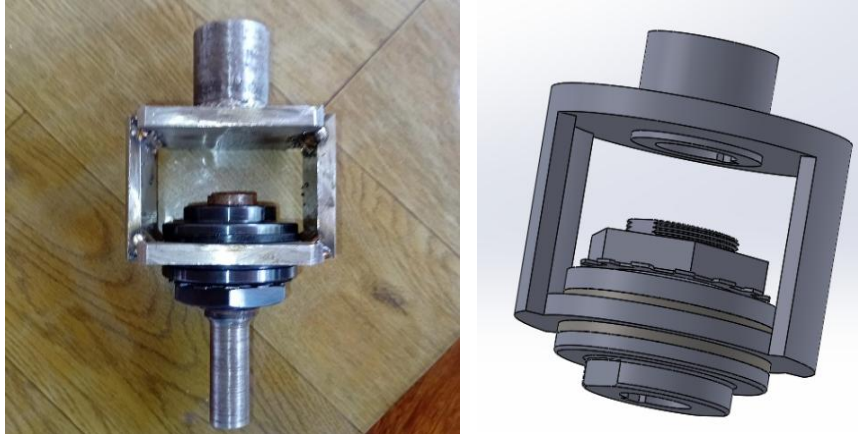
Figura 45 – Limitador de torque por fricção



Fonte: Autoria Própria

A adaptação do limitador de torque foi realizada com base em modelos com conexão entre eixos, porque a peça adquirida possuía outro perfil de uso. Para viabilizar sua aplicação no projeto principal, foi desenvolvido um miniprojeto de adaptação no eixo do motor que o tornou compatível com o sistema de funcionamento (Figura 46). Para a fabricação contamos com a parceria firmada de um torneiro mecânico da região de Cametá. Foi usado o aço inox AISI 316 para suprir por imediato as necessidades de uso, apesar de sua principal característica ser a resistência mecânica e a corrosão, resiste ainda ao desgaste, o que é fundamental nessa aplicação.

Figura 46 – Desenho geométrico do componente de adaptação do limitador de torque



Fonte: Autoria Própria

O torque requerido para que o funcionamento adequado evitando sobrecarga no sistema, está relacionado com a mesma encontrada através das medições iniciais exercidas na prensa de referência, que é de 40 kN, o que equivale a um torque de 11,86 N.m com o motor selecionado. Portanto foi realizado os procedimentos de calibração através de um torquímetro de estalo da marca Robust (Figura 47).

Figura 47 – Procedimento de calibração do limitador de torque



Fonte: Autoria Própria

### 3.2.8. Parafusos de fixação

Para fixar os componentes na estrutura principal, foram utilizados dois tipos de parafusos. O parafuso M15 foi usado para os mancais radiais maiores, enquanto o parafuso M8 foi empregado nos mancais menores e no suporte do motor elétrico (figura 48).

Figura 48 – Parafusos de fixação



Fonte: Autoria Própria

### 3.3. Processos de fabricação dos componentes e montagem do protótipo

Diante das dificuldades orçamentárias para construir um protótipo de uma máquina e também a facilidade em adquirir habilidades prática, decidiu-se construir a estrutura principal, fazer a montagem dos componentes e o teste de funcionamento. No entanto, ainda assim encontramos dificuldades na execução dos trabalhos pelo fato de não está de posse de todos as

ferramentas necessárias, mas com adaptações de ferramentas conseguimos finalizar a construção do protótipo da prensa eletromecânica de forma segura.

A estrutura principal da prensa foi construída com perfis em “U” de aço AISI 1020 (127 mm × 50 mm x 4.75mm) e cantoneiras de aço AISI 1020 (50mm x 50mm x 4.75) (Figura 49). Inicialmente, os perfis para as laterais foram cortados com precisão em comprimento de 1,20 m, seguidos pelos cortes necessários nas cantoneiras para garantir uma base estável. Após a preparação da superfície e limpeza das peças, iniciou-se a soldagem utilizando uma Inversora Touch 150-Bivolt 140 Boxer soldas e eletrodos revestidos E6013 nesse processo.

Figura 49 – Processo de soldagem da estrutura principal



Fonte: Autoria Própria

O fuso de rosca trapezoidal (Figura 50), originalmente com rosca integral ao longo de toda sua extensão, foi submetido a processo de usinagem em torno mecânico, nas extremidades com o objetivo de adaptá-lo ao acoplamento direto nas engrenagens maiores. Esse processo permitiu o ajuste dimensional necessário para garantir o alinhamento e a fixação segura no conjunto de transmissão.

Figura 50 – Usinagem do fuso para o acoplamento das engrenagens e mancais



Fonte: Autoria Própria

A mesa móvel da prensa foi confeccionada em chapa de aço SAE 1020, com dimensões de 450 mm x 550 mm x 10 mm, reforçada por cantoneiras (50 mm x 50 mm x 4,75 mm) e nervuras do mesmo material, todas cortadas conforme as medidas estabelecidas em projeto. A montagem foi realizada por soldagem, seguindo o mesmo processo aplicado na estrutura principal. Nas extremidades da mesa, foram fixadas porcas com rosca trapezoidal, responsáveis por permitir o deslocamento vertical por meio de fusos. O suporte do motor, igualmente fabricado em aço SAE 1020 com espessura de 6 mm, foi projetado para garantir o alinhamento e a fixação do conjunto motriz, sendo soldado à estrutura de forma a assegurar estabilidade e eficiência na transmissão (Figura 51).

Figura 51 – Fabricação e montagem da mesa móvel e suporte do motor



Fonte: Autoria Própria

O processo de acoplamento interno das engrenagens maiores teve início com o corte de um eixo de 2 polegadas de diâmetro em aço SAE 1045. Em seguida, essa peça foi levada para um torno mecânico para que fosse usinada. Esse procedimento criou um furo interno de 25 milímetros, permitindo o encaixe necessário para o acoplamento do sistema (Figura 52).

Figura 52 – Eixo central da engrenagem maior



Fonte: Autoria Própria

Após a usinagem do eixo, as chapas foram cortadas e soldadas. O processo de soldagem teve como objetivo unir a chapa tanto ao eixo usinado quanto às extremidades da engrenagem, garantindo a fixação e a estabilidade do conjunto (Figura 53).

Figura 53 – Soldagem da chapa e eixo central



Fonte: Autorial Própria

Após a realização desses procedimentos, as engrenagens já com acoplamento finalizado, foram colocadas no torno mecânico para alinhamento e acabamento final. Esse procedimento foi crucial para assegurar o alinhamento central do conjunto (Figura 54).

Figura 54 – Soldagem e acabamento dos acoplamentos



Fonte: Autorial Própria

Previamente à montagem dos componentes na estrutura, foram realizadas marcações precisas referentes à posição dos mancais, bem como a distância entre os centros das engrenagens. Essas demarcações visaram garantir o alinhamento adequado dos elementos mecânicos, assegurando o funcionamento eficiente do sistema de transmissão (Figura 55).

Figura 55 – Demarcação da fixação dos mancais



Fonte: Autoria Própria

A folga entre os dentes das engrenagens foi estabelecida com base nas tolerâncias recomendadas pela norma ABNT NBR ISO 1328-1, assegurando o engrenamento adequado sob condições dinâmicas e térmicas. A lubrificação é realizada com graxa de alta viscosidade e estabilidade térmica, conforme especificações da norma ISO 6743-9, visando reduzir o coeficiente de atrito, minimizar o desgaste por contato e garantir a proteção e o bom funcionamento.

Afim de garantir a saúde e integridade física do operador, de acordo com a norma regulamentadora NR-12, foi fabricado uma proteção de chapa de aço galvanizada nas engrenagens para evitar possíveis acidentes, como ainda impurezas na massa de mandioca durante o processo de prensagem (Figura 56).

Figura 56 – Proteção das engrenagens



Fonte: Autoria Própria

Para exercer a função de subida e descida da mesa móvel, optou-se por uma chave reversora Margirius Cr-800 para os comandos elétricos de acionamento. Tendo em vista que para isso há a necessidade de inverter o sentido de rotação do motor. Ainda por questões de segurança foi implantado um botão de emergência para interromper o funcionamento caso precise (Figura 57).

Figura 57 – Comando elétrico e chave de segurança



Fonte: Autoria Própria

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os testes iniciais de funcionamento e alguns ajustes, o protótipo demonstrou uma ótima eficiência equiparado a prensa artesanal com o uso de macaco hidráulico. A sua capacidade de operação de forma contínua contribui de forma significativa na otimização da produção. A extração de líquido da massa de mandioca em comparação com os métodos tradicionais, destaca as melhorias alcançadas com essa inovação, em relação ao tempo de prensagem, esforço físico e a qualidade final do produto nessa etapa. Essas melhorias resultam em um aumento na capacidade de produção e nos custos operacionais.

Os procedimentos experimentais ocorreram de forma similar ao processo de prensagem já realizado no modelo da figura 1c. Foram depositados dois volumes de massa de mandioca embalados em sacos de ráfia contendo 25 kg cada, ambos separados por estrado de madeira (Figura 58). Porém a capacidade total estimada é de 125 kg por ciclo.

Figura 58 – Processo de colocação da massa para ser prensada



Fonte: Autoria Própria

Ao término da prensagem da massa, observou-se o bom funcionamento da máquina como na eficiência do sistema de transmissão, na resistência da estrutura, na atuação do limitador de torque que com carga necessária atingida teve seu deslizamento, evitando a

sobrecarga do motor. Assim como os resultados esperados na remoção de líquido da matéria prima da farinha de mandioca (Figura 59).

Figura 59 – Processo de aplicação de carga na massa de mandioca



Fonte: Autoria Própria

Na necessidade de comprovar seu desempenho, foram realizados testes com massa de mandioca com capacidade reduzida para confrontar o teste realizado na prensagem no equipamento citado na figura 1c. Os principais parâmetros analisados foram: o volume de massa inicial e final, líquido extraído, tempo de prensagem e visualmente o teor da massa. Os resultados obtidos foram comparados com dados de resultados de prensagem de uma prensa usada na comunidade citado anteriormente (Tabela 1).

Tabela 1 – Dados comparativos de prensagem da massa de mandioca

<b>Características</b>	<b>Prensa madeira/macaco hidráulico</b>	<b>de Protótipo da prensa eletromecânica</b>
Massa inicial (kg)	38	50
Massa final (kg)	23	26,28
Líquido extraído (kg)	15	23,72
Líquido extraído (%)	39,47	47,44

---

Tempo de prensagem (min)	40	15
--------------------------	----	----

---

Fonte: Autoria Própria

Os resultados demonstram um desempenho satisfatório comparados ao outro mecanismo de prensagem, como a redução do tempo em 25 minutos e porcentagem de líquido extraído com uma média de 47,44 %, aproximadamente 8% a mais que o outro método. Portanto essa evolução, contribui significativamente com o aumento da produção diária da farinha de mandioca elevando ainda mais a sua qualidade final, que é um dos principais objetivos do produtor.

A inspeção visual é uma ferramenta crucial para a garantia imediata de um determinado produto, com a capacidade de identificar defeito ou anomalias e corrigi-los, evitando possíveis danos maiores. Diante disso inspecionou-se a estrutura e os componentes após os testes, comprovando o seu bom funcionamento e não apresentando falhas visíveis no mesmo.

## 5. CONCLUSÃO

Diante da necessidade de aprimoramento no processo de prensagem da massa de mandioca, o projeto e construção de uma prensa eletromecânica inicialmente cumpriu os objetivos propostos. Onde seria extrair o líquido necessário nessa etapa de fabricação da farinha de mandioca, representando um avanço significativo na produção no contexto de eficiência e esforço físico equiparado ao uso da prensa com macaco hidráulico, quanto ao custo benefício se tratando de uma prensa hidráulica como é mostrado na tabela 2, principalmente para agricultura familiar.

Tabela 2 – Comparação de valores de aquisição de um equipamento hidráulico e o Protótipo da prensa eletromecânica

<b>ORÇAMENTO</b>	<b>VALOR (R\$)</b>
<b><u>Protótipo</u></b>	
Doação para o projeto	R\$ 3.701,67
Desembolso próprio para o projeto	R\$ 4.291,18
Total do protótipo da prensa eletromecânica (500 kg/h)	<b>R\$ 7.992,85</b>
<b><u>Proposta comercial de prensa</u></b>	
Prensa hidráulica (1200 kg/h) (empresa Fabrik e TSA)	<b>R\$ 37.500,00</b>

Fonte: Autoria Própria

De acordo com o orçamento, comparando os dois equipamentos o valor da prensa hidráulica é mais de quatro vezes maior do que o protótipo construído.

O sistema de transmissão eletromecânico mostrou eficiência sendo funcional e robusto, capaz de aplicar a força de compressão necessária exigida pelo projeto e suprir as necessidades conforme comprovação nos testes realizados. Esses resultados contribuem positivamente no desenvolvimento profissional em processo de formação no âmbito da engenharia. Apesar das dificuldades encontradas ao longo do projeto, com limitações encontradas na seleção e aquisição dos materiais, afim de baratear o máximo a montagem do protótipo sem comprometer a sua qualidade e funcionalidade.

Foram identificados e selecionados os materiais mais adequados para a construção do protótipo da prensa, levando em consideração critérios como durabilidade, custo-benefício e

eficiência operacional, elaborando um projeto técnico detalhado, o que permitiu uma execução segura. Assim como a fabricação e montagem, conduzida com rigor técnico, respeitando as diretrizes do projeto e garantindo a funcionalidade da máquina. Os testes de desempenho realizados demonstraram significativa melhoria na eficiência da prensagem e na uniformidade da massa, contribuindo diretamente para a qualidade da farinha de mandioca produzida. Com isso as análises dos resultados possibilitaram a identificação de pontos de melhoria e ajustes futuros no projeto, onde os mesmos documentados e registrados através de imagens fotográficas, gráficos e relatórios que reforçam a transparência e a confiabilidade do trabalho desenvolvido. De modo geral o protótipo construído atingiu os objetivos principais impostos. De fato, por ser o primeiro protótipo alguns pontos identificados podem ser aprimorados.

Conclui-se que o sucesso do projeto destaca, os conhecimentos adquiridos ao longo dessa jornada de formação acadêmica, a capacidade de desenvolver soluções aprimoradas no âmbito da engenharia mecânica e contribuir com o desenvolvimento da produção mecanizada em diferentes aspectos.

### **5.1. Sugestões para trabalhos futuros**

O presente trabalho aborda a metodologia para o projeto e construção de uma prensa eletromecânica. Portanto, por se tratar de um protótipo são recomendadas algumas melhorias que podem ser desenvolvidas posteriormente.

Diante disso, algumas sugestões de trabalhos futuros são apresentadas:

- Implementação de sistema de lubrificação avançado do trem de potência da prensa;
- Análise e controle de ruído da prensa eletromecânica;
- Avaliação de riscos de operação no processo de prensagem;
- Implementação de automação e controle do processo de prensagem e beneficiamento da massa de mandioca.

## 6. REFERÊNCIAS

- ABASS, A., Amaza, P., Bachwenkizi, B., Wanda, K., Agona, A., & Cromme. **O impacto do processamento mecanizado de mandioca na eficiência da produção dos agricultores em Uganda**. *Applied Economics Letters*, v. 24, n. 2, p. 102–106, 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13504851.2016.1167817>. Acesso em: 5 fev. 2025.
- ALBUQUERQUE, Hélio Rubens Reis de. **Modelagem matemática da curva de calibração do sensor de vazão YF-S201 aplicada ao contexto da indústria 4.0**. UFCG, Campina Grande – Paraíba. 2018.
- ALENCAR JUNIOR, Averaldo Alencar; SOUZA, Mikael Moraes de; SANTOS, Leon Denis Rodrigues dos. **A importância da NR-12 segurança no trabalho em máquinas e equipamentos**. Artigo apresentado na Semana Acadêmica. 2018. Disponível em: [https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo\\_alencar\\_v00.pdf](https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_alencar_v00.pdf). Acesso em: 17 set. 2025.
- ALVARES, V. de S.; DE SOUZA, J. M. L.; LAMBERTUCCI, D. M. **Comportamento da massa durante a etapa de prensagem na fabricação de farinha de mandioca**. *Revista Raízes e Amidos Tropicais*, v. 5, p. 858-863, 2019.
- ALVES, Lucas Máximo. Método dos elementos finitos. **Universidade Federal do Paraná. Curitiba**, p. 438, 2007.
- ANTONIAZZI, Laura, NASSAR, André, MOURA, Paula, e KIMURA, Willian. **Tecnologias na agricultura brasileira e potenciais para cooperação com a África**. *Contribuição para Diálogo. ICONE*, p. 61, 2013.
- AUGUSTO, Fábio; ANDRADE, João Carlos de; CUSTODIO, Rogério. Faixa linear de uma curva de calibração. **Revista Chemkeys**, Campinas, SP, n. 3, p. 1–8, 2018. DOI: 10.20396/chemkeys.v0i3.9627. Disponível em: <https://econtents.bc.unicamp.br/inpec/index.php/chemkeys/article/view/9627>. Acesso em: 3 fev. 2025.
- AZEVEDO, Álvaro FM. **Método dos elementos finitos**. Faculdade de Engenharia da universidade do Porto, v. 1, n. 7, 2003.
- BATISTA, Rodrigo Costa; DAS NEVES GOMES, Mateus. **Modelagem computacional aplicada como uma tecnologia no currículo de engenharia mecânica**. *Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão (ISSN: 2525-4782)*, v. 5, n. 3, 2020.
- BAYIYANA, I., Bua, A., Ozimati, A., Mugisha, J., Colvin, J., & Omongo, CA (2023). **Uso de inseticidas por pequenos produtores de mandioca de Uganda: uma análise econômica**. *Agricultura*, 13 (5), 1043. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051043>.
- BRASIL. Decreto nº 6.040, de 7 de fevereiro de 2007. **Institui a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 fev. 2007. Seção 1, p. 3. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/Decreto/D6040.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/Decreto/D6040.htm). Acesso em: 22 fev. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 12: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos**. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2016.

BUDYNAS, Richard G.; NISBETH, J. Keith. **Elementos de Máquinas de Shigley-8ª Edição**. McGraw Hill Brasil, 2011.

CHAPADÃO MÁQUINAS. **Prensa manual para massa de mandioca**. [S. 1.], 2019. Disponível em: <https://chapadaomaquinas.blogspot.com/2019/08/prensa-manual-para-massa-de-mandioca.html>. Acesso em: 4 abr. 2025.

CHEN, Wai-Fah; LUI, Eric M. Manual de engenharia estrutural. CRC Press, 2005. Capítulo 2, p. 172. . <https://doi.org/10.1201/9781420039931>

CHISTÉ, Renan Campos; COHEN, Kelle de Oliveira. **Estudo do processo de fabricação da farinha de mandioca**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 75 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 267). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/903120/estudo-do-processo-de-fabricacao-da-farinha-de-mandioca>. Acesso em: 16 set. 2025.

CLAUDINO, Livio Sergio Dias. **Agricultura e segurança alimentar em comunidades quilombolas na Amazônia brasileira: o caso da produção de farinha de mandioca em Abaetetuba, Pará, Brasil**. Humanidades & Inovação, v. 7, n. 16, p. 356-370, 2020.

COÊLHO, Jackson Dantas. **Produção de mandioca – raiz, farinha e fécula**. Caderno Setorial, Escritório técnico de estudos econômico do Nordeste (ETENE). 2018.

COSTA, Erick Cardoso. **Desenvolvimento de uma máquina universal de ensaios mecânicos com controle da velocidade de ensaio**. XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, p. 16-19, 2018.

DA CRUZ, Jozângelo Fernandes; AZEVEDO, Araujo J. M.; SILVA Costa E.; SOUZA, Epifânio R; COSTA, Celiana B. **Processamento artesanal da farinha de mandioca no Vale do Juruá, Acre: um estudo de caso**. Revista Conexão na Amazônia, v. 2, n. 2, p. 43-66, 2021.

DA SILVA, Josiane Santos DA SILVA ANDRADE, L, DE SOUZA, A. M. e HALMENSCHLAGER, F. **Práticas produtivas da farinha de mandioca na comunidade quilombola Mocambo–Ourém–PA**. Nova Revista Amazônica, v. 9, n. 3, p. 129-146, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/nra.v9i3.11723>

DE SOUSA, Diego Neves. **Quilombolas e indígenas: análise dos públicos da agricultura familiar excluídos das políticas públicas em uma região da Amazônia legal**. Humanidades & Inovação, v. 7, n. 16, p. 405-416, 2020.

DELGADO NETO, Geraldo Gonçalves; DEDINI, Franco Giuseppe. **Sistemática e metodologia de projeto: uma abordagem para o desenvolvimento de produtos**. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 6., 2010, Campina Grande.

EMBRAPA. **Mandioca em números**, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/congresso-de-mandioca-2018/mandioca-em-numeros>. Acesso em 22 fev. 2025.

FOGAÇA, Igor Antunes. **Utilização de refinamento de malhas na simulação computacional aplicada ao problema da transferência de calor**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015.

GUIMARÃES, Denílson Lopes Ferreira et al. Cadeia produtiva da mandioca no território brasileiro inovações e tecnologias uma revisão sistemática da literatura. **Diversitas Journal**, v. 7, n. 1, p. 0017-0025, jan./abr. 2022. Disponível em: [https://diversitasjournal.com.br/diversitas\\_journal/article/view/2009/1559](https://diversitasjournal.com.br/diversitas_journal/article/view/2009/1559). Acesso em: 18 ago. 2025.

IJALA, AR; ALACHO, FO; OGWANG, SB; THOMAS, A.; ASEERE, G.; OTIM-NAPE, GW. **Avaliação de tecnologias de secagem de mandioca de baixo custo e alta qualidade sustentáveis entre pequenos e médios processadores em Uganda**. Journal of Food Science and Engineering, [ *sl* ], v. 7, n. 9, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Agropecuário 2017. Rio de Janeiro: IBGE. 2017

JUVINALL, Robert C.; MATSHEK, Kurt M. **Fundamentos do projeto de componentes de máquinas**. Grupo Gen-LTC, 2016.

LIMA, A. F.; SILVA, E. G. de A.; IWATA, B. de F. Agriculturas e agricultura familiar no Brasil: uma revisão de literatura. **Retratos de Assentamentos**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 50-68, 2019. DOI: 10.25059/2527-2594/retratosdeassentamentos/2019.v22i1.332.

NBR 12: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos: Projeto, fabricação, importação, venda, locação, leilão, cessão a qualquer título e exposição.2022.

NORTON, Robert L. Projeto de máquinas. bookman editora, 2013.

NUNES, B. et al. Análise estática de uma asa de avião pelo Método dos Elementos Finitos. Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia, v. 2, n. 26, p. 123-127, 2016.3 p. 858-863, 2009.

OLIVEIRA, Mateus Lucena. **Análise comparativa de dois conceitos de travessas para chassis de semirreboques carga seca para transporte de bobinas**. 2013. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2013.

PAHL, Gerhard. **Projetos na engenharia: fundamentos do desenvolvimento, eficaz de produtos, métodos e aplicações**, São Paulo: ed. Edgard Blücher Ltda, 2005.

PATIL, Hemesh; JEYAKARTHIKEYAN, P. V. Mesh convergence study and estimation of discretization error of hub in clutch disc with integration of ANSYS. In: **IOP conference series: materials science and engineering**. IOP Publishing, 2018. p. 012065.

PAULA, M. T. de; SOARES, L. C. do R.; CASTRO, A. F. B.; SILVA, G. dos S.; NUNES, H. da C. B.; LIMA, N. M. de O. **Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da cultura da mandioca (*Manihot esculenta crantz*): uma revisão de literatura**. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, [S. l.], v. 7, n. 3, p. e73257, 2024. DOI: 10.34188/bjaerv7n3-119.

PEREIRA, Adhara Abdala Nogueira Pereira. **O Direito à consulta e consentimento prévio, livre e informado na construção de resistências**: a elaboração do protocolo comunitário autônomo de consulta como instrumento de garantia de direitos fundamentais na Comunidade Quilombola de São José de Icatu-Baião/PA. 2021.

PEREIRA, Suely & Rocha, Carla & Formigosa, Marcos. **Etnofísica dos mecanismos de alavancas utilizados pelos agricultores na produção da farinha de mandioca**, Senador. Revista Insignare Scientia (2020). - RIS. 3. 10.36661/2595-4520.2020v3i5.11518.

POSICIONAMENTO, N. O. **Sistematização do processo de projeto em automação de máquinas cartesianas com acionamento eletromecânico-ênfase**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina.

QUADROS, Fernanda Gisele Santos de; GOMIDE, Igor de Souza. **Aspectos socioeconômicos e ambientais da produção de farinha de mandioca na comunidade quilombola Amazônica do Cuxiú, Bonito/PA**. Nature and Conservation, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 55–61, 2020. DOI: 10.6008/CBPC2318-2881.2021.001.0006.

SECRETARIA ESPECIAL DE AGRICULTURA FAMILIAR E DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO (SEAD). **Lista de notícias**. [S. l.]: FAO, 2016. Disponível em: <https://www.fao.org/family-farming/detail/fr/c/454156/>. Acesso em: 4 mar. 2025.

SILVA JÚNIOR, Antônio Mariano Gomes da. **Análise das novas tecnologias de produção de farinha de mandioca**: um estudo de caso da agroindústria sabor de Bragança / Antônio Mariano Gomes da Silva Júnior, Paulo Jailson Amorim da Cruz. – Capanema, Pa., 2019.

SILVA, Evandro Pereira da. **Elementos finitos como ferramenta auxiliar na análise estrutural estática de uma colhedora de café do tipo automotriz**. 2013. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013. Disponível em: <<http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/6826>>. Acesso em: 23 jun. 2025.

SILVA, J. M.; OLIVEIRA, R. A. Territórios quilombolas e economia solidária: desafios e possibilidades. Cadernos ABAAgroecologia, v. 16, n. 2, p. 115, 2021. Disponível em: <https://cadernos.abaagroecologia.org.br/cadernos/article/download/66/1700/3650>. Acesso em: 17 set. 2025.

SKF. **51405 - Rolamentos axiais de esferas**. [S. l.]: SKF, [20]. Disponível em: <https://www.skf.com/br/products/rolling-bearings/ball-bearings/thrust-ball-bearings/productid-51405>. Acesso em: 22 fev. 2025.

SOUSA, Fagner Freires de; PIRAUX, Marc. **A construção social da qualidade da farinha de mandioca em comunidades rurais na Amazônia paraense**. Novos Cadernos NAEA, [S.l.], v. 18, n. 3, dez. 2015. ISSN 2179-7536. Disponível em: <<https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/1831>>. Acesso em: 19 fev. 2025. doi:<http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v18i3.1831>.

SOUZA, LG de A., Mendes, GR, Oliveira, FC, Vieira De Castro, SG, De Almeida, LB, Faria, RAN, Matos, ADM, Moura, MMA, De Oliveira, LDP, Martins, MJ, Pereira, KFN, Alves, RM, Mendes, PC, Ribeiro, RCF, & Santos, IO (2024). **Cultivo de mandioca**: do processamento à comercialização. Contribuições para Las Ciencias Sociales. <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.2-09>

STOCCHERO, Daniel; GARCIA, Matheus Sobania; ALVES, Willian Lopes. **Análise de tensões de uma escavadeira**. Universidade Positivo. 2021.

TEIXEIRA, Mauri Martins et al. **Desempenho e consumo específico de energia de máquinas utilizadas na fabricação de farinha de mandioca nas pequenas agroindústrias**. Revista Ciências Técnicas Agropecuarias, v. 17, n. 4, p. 6-12, 2008.

VITOR LEILOEIRO PÚBLICO. **Captção permanente de peças para leilões**. Disponível em: <<https://www.vitorcalableiloes.com.br/default.asp>>. acesso em: 05 de março 2025.

## APÊNDICE A – Cálculos de dimensionamento do parafuso de potência e dimensionamento do motor

Para os cálculos de transmissão com as engrenagens para obter a rotação do parafuso. Temos que a transmissão se dá por:

$$n_3 = \frac{N_2}{N_3} n_2$$

Temos as dimensões das engrenagens:

$$n_2 = \omega_{motor} = 1800 \text{ rpm}; N_2 = 12 \text{ dentes}$$

$$N_3 = 56 \text{ dentes}$$

$$N_4 = 18 \text{ dentes}$$

$$N_5 = 165 \text{ dentes}$$

$$n_5 = \omega_{cmaior} = Rot_{fuso}$$

$$n_3 = \frac{N_2}{N_3} * n_2 \rightarrow n_3 = \frac{12}{56} * 1800$$

$$n_3 = 385,71 \text{ rpm}$$

$$n_5 = \frac{N_4}{N_5} * n_3 \rightarrow n_5 = \frac{18}{165} * 385,71$$

$$n_5 = 42,08 \text{ rpm}$$

Ou ainda:

$$\frac{\omega_p}{\omega_c} = \frac{N_c}{N_p}$$

$$\frac{385,71}{\omega_c} = \frac{165}{18}$$

$$\omega_c = 42,08 \text{ rpm}$$

O projeto da prensa eletromecânica é com dois parafusos de potência. Onde cada parafuso deve suportar uma carga de 40 kN. As demais medidas são citadas abaixo:

$$F = 40 \text{ kN}$$

$$Rot_{motor} = 1800 \text{ rpm}$$

$$Rot_{eng3} = 385,71 \text{ rpm}$$

$$d = 31,75 \text{ mm} = 1 \cdot \frac{1}{4} \text{ pol}$$

$$l = p = 6,35 \text{ mm} = 4 \text{ f/pol}$$

$$ef_{eng} = 95 \%$$

$$fc = 0,09$$

$$f = 0,11$$

$$dc = 60 \text{ mm}$$

$$\text{Relação}_1 = 56:12; \text{Relação}_2 = 165:18$$

- Calculado a rotação do parafuso temos que:

$$Rot_{parafuso} = \omega_c = n_5 = 42,08 \text{ rpm}$$

Velocidade de avanço da mesa móvel:

$$V_{avanço} = Rot_{parafuso} \cdot p$$

$$= 42,08 \cdot 6,35$$

$$V_{avanço} = 4,45 \text{ mm/s}$$

- Diâmetro médio do parafuso:

$$d_m = d - \frac{P}{2}$$

$$= 31,75 - \frac{6,35}{2}$$

$$d_m = 28,575 \text{ mm}$$

- Diâmetro de raiz:

$$d_r = d - p$$

$$= 31,75 - 6,35$$

$$d_r = 25,4 \text{ mm}$$

- Torque de elevação da carga:

$$T_R = \frac{F \cdot d_m}{2} \left( \frac{l + \pi f d_m \cdot \sec(\alpha)}{\pi d_m - fl \cdot \sec(\alpha)} \right)$$

$$T_c = \frac{F f_c d_c}{2}$$

$$T_R = \frac{40 \cdot 10^3 \cdot 0,028575}{2} \left( \frac{0,00635 + \pi \cdot 0,11 \cdot 0,028575 \cdot \sec(14,5^\circ)}{\pi \cdot 0,028575 - 0,11 \cdot 0,00635 \cdot \sec(14,5^\circ)} \right)$$

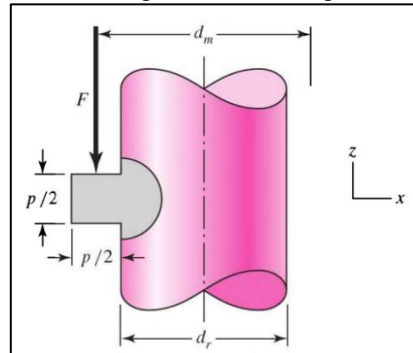
$$+ \frac{40 \cdot 10^3 \cdot 0,09 \cdot 0,06}{2}$$

$$T_R = 571,5 \cdot 0,185848 + 108$$

$$T_R = 214,21 \text{ N} \cdot \text{m}$$

As tensões nominais de roscas em parafusos de potência podem ser relacionadas aos parâmetros de rosca. A tensão de apoio como mostra na figura 60:

Figura 60 – Tensão de apoio na rosca do parafuso de potência



Fonte: Budynas, (2011)

$$\sigma_B = -\frac{F}{\pi d_m n_t p/2} = -\frac{2F}{\pi d_m n_t p}$$

$$\sigma_B = -\frac{2 * 40 * 10^3}{\pi * 0,028575 * 6 * 0,00635} = -23,4 \text{ MPa}$$

A tensão transversal de cisalhamento  $\tau$  no centro da raiz da rosca devido à carga  $F$

$$\tau = \frac{3V}{2A} = \frac{3}{2} \frac{F}{2\pi d_r n_t p/2} = \frac{3F}{\pi d_r n_t p}$$

$$\tau = \frac{3 * 40 * 10^3}{\pi * 0,0254 * 6 * 0,00635} = 39 \text{ MPa}$$

Cálculos de  $P_{crítico}$  e  $\sigma_{crítico}$  para o parafuso de potência:

Dados:

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$d_{menor} = 25,4 \text{ mm}$$

$$l = 1000 \text{ mm}$$

Cálculos do menor momento de inércia da seção transversal.

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \rightarrow I = \frac{\pi * 0,0254^4}{64} = 2,0432 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \rightarrow A = \frac{\pi * 0,0254^2}{4} = 5,0671 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$k = \sqrt{I/A} \rightarrow \sqrt{\frac{2,0432 * 10^{-8}}{5,0671 * 10^{-4}}} = 6,35 * 10^{-3} m^2$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{\left(\frac{L}{2}\right)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * (210 * 10^6) * ((2,0432 * 10^{-8}))}{(1/2)^2} = 169 kN$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{l}{k}\right)^2} = \frac{P_{cr}}{A} ; k = \frac{\sqrt{I}}{A}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 * (210 * 10^6)}{\left(\frac{1}{6,35 * 10^{-3}}\right)^2} = 83,57 MPa$$

- Torque e potência do motor:

$$T_{motor} = \frac{T_R \cdot 2}{Rel}$$

$$= \frac{214,21 \cdot 2}{\frac{56}{12} * \frac{165}{18}}$$

$$T_{motor} = eng_{central} = 10,02 N \cdot m$$

$$Pot_{motor} = \frac{T_{motor} \cdot \omega_{eixo\ central}}{ef_{eng}}$$

$$= \frac{10,02 \cdot \left(2\pi \cdot \frac{1800}{60}\right)}{0,95}$$

$$Pot_{motor} = 1988,13 W$$

$$\therefore Pot_{motor} = \frac{1988,03}{745,7} = 2,67 HP$$

## APÊNDICE B – Cálculos das cargas na transmissão das engrenagens e nos mancais

Dados do primeiro trem de engrenagens:

$$N_c = 165 \text{ dentes}$$

$$d = 501 \text{ mm}$$

$$\theta = 20^\circ$$

$$d_p = m * N = 3 * 165 = 495 \text{ mm}$$

$$d_b = d_p * \cos \theta = 495 * \cos 20 = 491,65 \text{ mm}$$

$$d_i = d_p - (2,25 * m) = 495 - (2,25 * 3) = 488,25 \text{ mm}$$

$$p = 9,4 \text{ mm}$$

$$m = \frac{d_p}{N} = \frac{495}{165} = 3 \text{ mm}$$

$$h = 2,25 * m = 2,25 * 3 = 6,75 \text{ mm}$$

$$N_p = 18 \text{ dentes}$$

$$d = m * (N_p + 2) = 3 * (18 + 2) = 60 \text{ mm}$$

$$d_p = m * N = 3 * 18 = 54 \text{ mm}$$

$$d_b = d_p * \cos \theta = 54 * \cos 20 = 50,74 \text{ mm}$$

$$d_i = d_p - (2,25 * m) = 54 - (2,25 * 3) = 47,25 \text{ mm}$$

Para o segundo trem de engrenagem:

$$N_p = 18 \text{ dentes}; d = 60 \text{ mm};$$

$$p = 9,4 \text{ mm}; h = 6,75 \text{ mm}; d_{furo} = 25 \text{ mm}$$

$$m = \frac{p}{\pi} = \frac{9,4}{\pi} = 3 \text{ mm}$$

$$d_p = m * N = 3 * 18 = 54 \text{ mm}$$

$$d_b = d_p * \cos \theta = 54 * \cos 20 = 50,74 \text{ mm}$$

$$d_i = d_p - (2,25 * m) = 54 - (2,25 * 3) = 47,25 \text{ mm}$$

$$N_c = 56 \text{ dentes}; d = 174 \text{ mm};$$

$$d_p = m * N = 3 * 56 = 168 \text{ mm}$$

$$d_b = d_p * \cos \theta = 168 * \cos 20 = 157,87 \text{ mm}$$

$$d_i = d_p - (2,25 * m) = 168 - (2,25 * 3) = 161,25 \text{ mm}$$

Cálculos das cargas transmitidas nas engrenagens do projeto, para a potência de um motor de 3 HP, temos que na engrenagem 2 e 3:

$$H = 3 \text{ HP} = 2,24 \text{ kW}$$

$$d_2 = 56 \text{ mm}; d_3 = 230 \text{ mm}$$

$$W_{32}^t = F_{32}^t = \frac{60000H}{\pi d n}$$

$$= \frac{60000 * 2,24}{\pi * 56 * 1800} = 0,42441 \text{ kN}$$

$$F_{32}^r = F_{32}^t * \tan 20^\circ$$

$$= 0,42441 * \tan 20^\circ = 0,15447 \text{ kN}$$

$$F_{32} = \frac{F_{32}^t}{\cos 20^\circ}$$

$$= 0,42441 / \cos 20^\circ = 0,45165 \text{ kN}$$

$$T_2 = \frac{d}{2} W_t$$

$$= \frac{56}{2} * 0,42441 = 11,88 \text{ Nm}$$

$$T_3 = \frac{d}{2} W_t$$

$$= \frac{230}{2} * 0,42441 = 48,80 \text{ Nm}$$

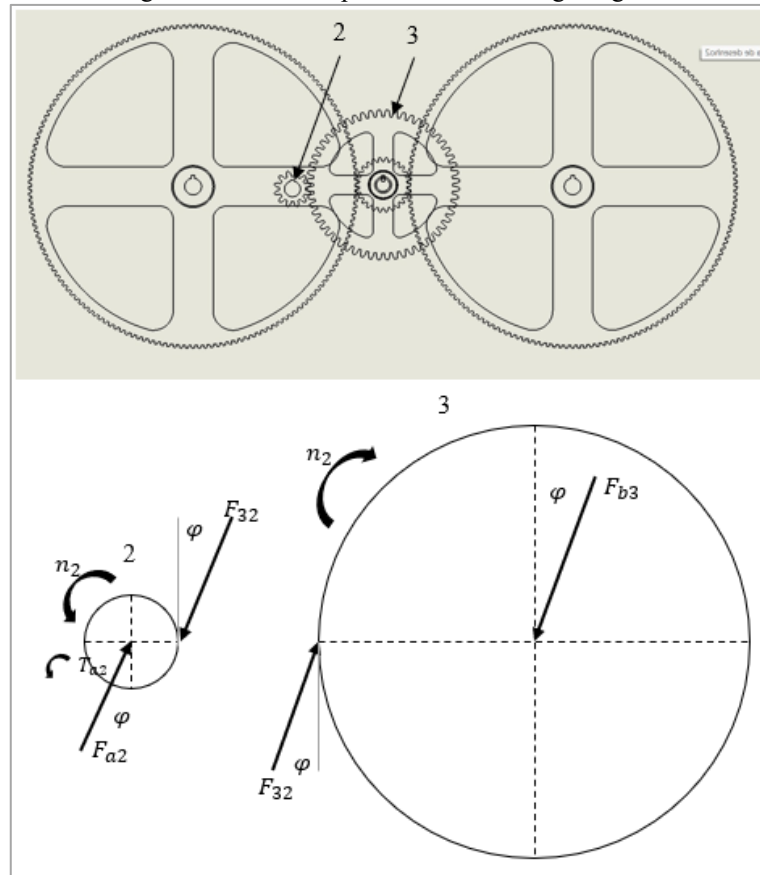
As reações no eixo a2 (eixo de acionamento):

$$F_{a2} = \sqrt{0,42441^2 + 0,15447^2} = 0,45165 \text{ kN}$$

As reações no eixo b3 (eixo central):

$$F_{b3} = F_{a2} = 0,45165 \text{ kN}$$

Figura 61 – DCL do primeiro trem de engrenagens



Fonte: Autoria Própria

Engrenagens 4 e 5

$$d_4 = 60 \text{ mm}; d_5 = 501 \text{ mm}$$

$$F_{54}^t * \frac{d_4}{2} = F_{32}^t * \frac{d_3}{2} \quad \rightarrow \quad F_{45}^t = \frac{F_{32}^t * \frac{d_3}{2}}{\frac{d_4}{2}}$$

$$F_{54}^t = \frac{0,42441 * 115}{30} = 1,6269 \text{ kN}$$

$$F_{54}^r = F_{54}^t * \tan 20^\circ$$

$$F_{54}^r = 0,39662 * \tan 20^\circ = 0,14436 \text{ kN}$$

$$F_{54} = \frac{F_{54}^t}{\cos 20^\circ}$$

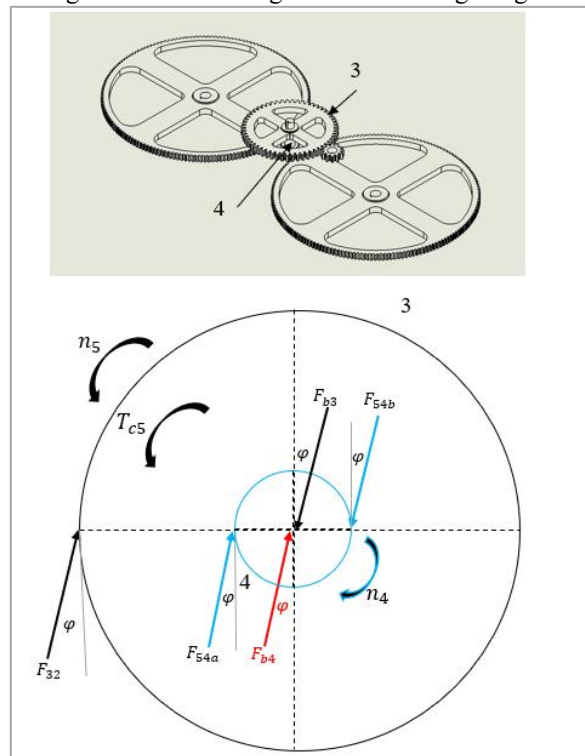
$$F_{54} = 0,39662 / \cos 20^\circ = 0,42207 \text{ kN}$$

$$T_4 = \frac{d}{2} W_t = \frac{60}{2} * 0,39662 = 11,90 \text{ N} * m$$

$$T_5 = \frac{d}{2} W_t = \frac{501}{2} * 0,39662 = 99,35 \text{ N} * \text{m}$$

Reações no eixo b4 c5:

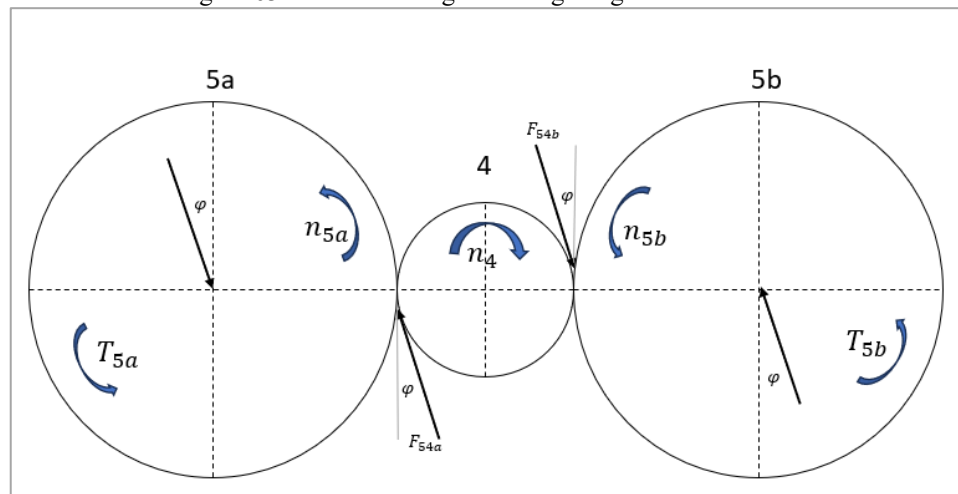
Figura 62 DCL do segundo trem de engrenagens



Fonte: Autoria Própria

$$F_{c5} = \sqrt{0,39662^2 + 0,14436^2} = 0,42207 \text{ kN}$$

Figura 63 – DCL das cargas nas engrenagens maiores

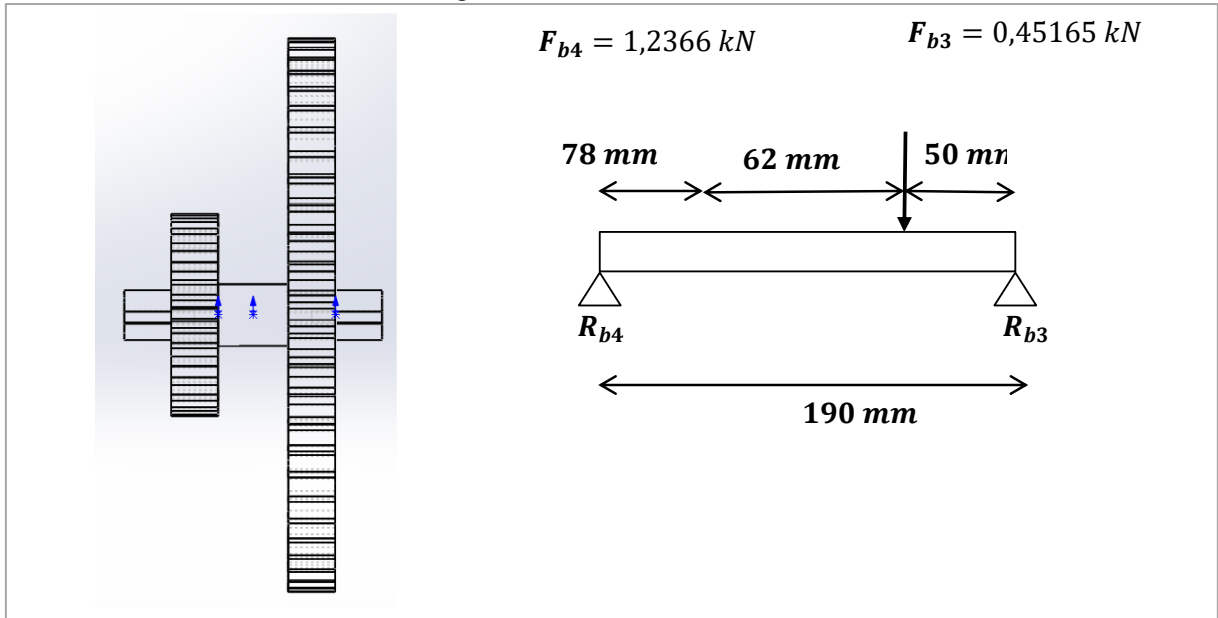


Fonte: Autoria Própria

## APÊNDICE C – Cálculos das cargas nos mancais e de dimensionamento do eixo central da transmissão

Diagrama de corpo livre do eixo central.

Figura 64 – DCL do eixo central



Fonte: Autoria Própria

Cargas nos mancais b3 e b4

$$\sum M_{b4} = 0$$

$$100R_{b3} - 0,45165 \cdot 140 = 0$$

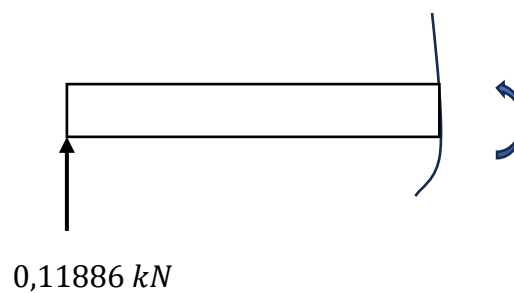
$$R_{b3} = \frac{63,23}{190} = 0,33279 \text{ kN}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{b3} + R_{b4} - 0,45165 = 0$$

$$R_{b4} + 0,33279 - 0,45165 = 0$$

$$R_{b4} = 0,11886 \text{ kN}$$



Tensão de Von Mises para o eixo central (b).

$$M_{\text{máximo}} = 0,11886 * 0,14 = 0,01664 \text{ kN} * \text{m}$$

$$\sigma_x = \frac{32M_{\text{max}}}{\pi d^3} = \frac{32 * 0,01664}{\pi * 0,02^3} = 21,19 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16T_R}{\pi d^3} = \frac{16 * 133,63}{\pi * 0,02^3} = 85,07 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = (\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2}$$

$$\sigma' = (21,19^2 + 3 * 85,07^2)^{1/2}$$

$$\sigma' = 148,86 \text{ MPa}$$

Para determinar o diâmetro mínimo seguro para o eixo. Aço 1020,  $S_y = 350 \text{ MPa}$  e  $n = 1,5$ .

$$\sigma_x = \frac{32M_{\text{max}}}{\pi d^3} = \frac{32 * 0,01664}{\pi * d^3} = \frac{0,16949}{d^3}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16T_R}{\pi d^3} = \frac{16 * 133,63}{\pi * d^3} = \frac{680,57}{d^3}$$

$$\sigma' = (\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2} = \frac{S_y}{n}$$

$$\left( \frac{0,16949^2}{d^3} + 3 * \frac{680,57^2}{d^3} \right)^{1/2} = \frac{350 * 10^6}{1,5}$$

$$\frac{1178,78}{d^3} = \frac{350 * 10^6}{1,5}$$

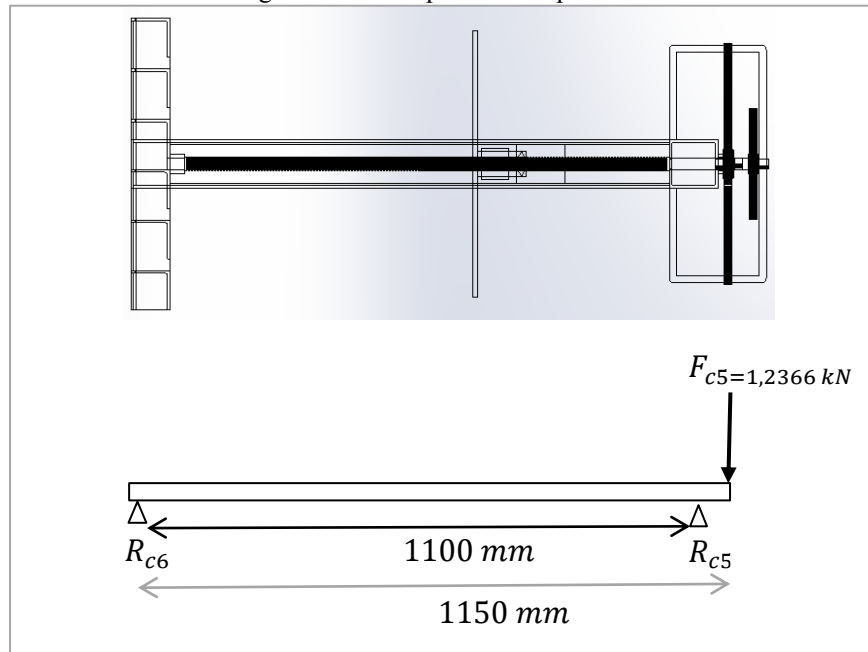
$$d = \sqrt[3]{\frac{1178,78 * 1,5}{350 * 10^6}}$$

$$d = 0,01715 \text{ m} \rightarrow 17,15 \text{ mm}$$

**Cargas nos mancais c5 e c6:**

Diagrama de corpo livre do parafuso de potência.

Figura 65 – DCL parafuso de potência



Fonte: Autoria Própria

$$\sum_M 1100R_{c5} - 1,2366 * 1150 = 0$$

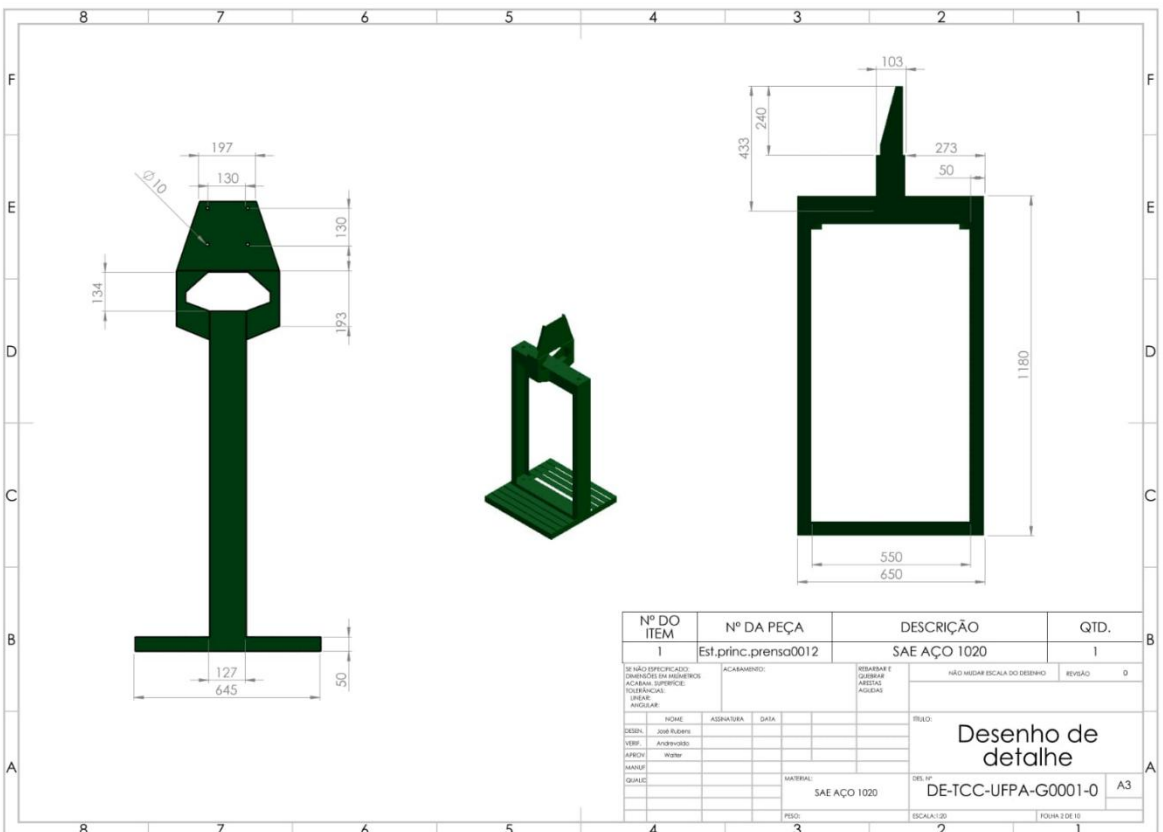
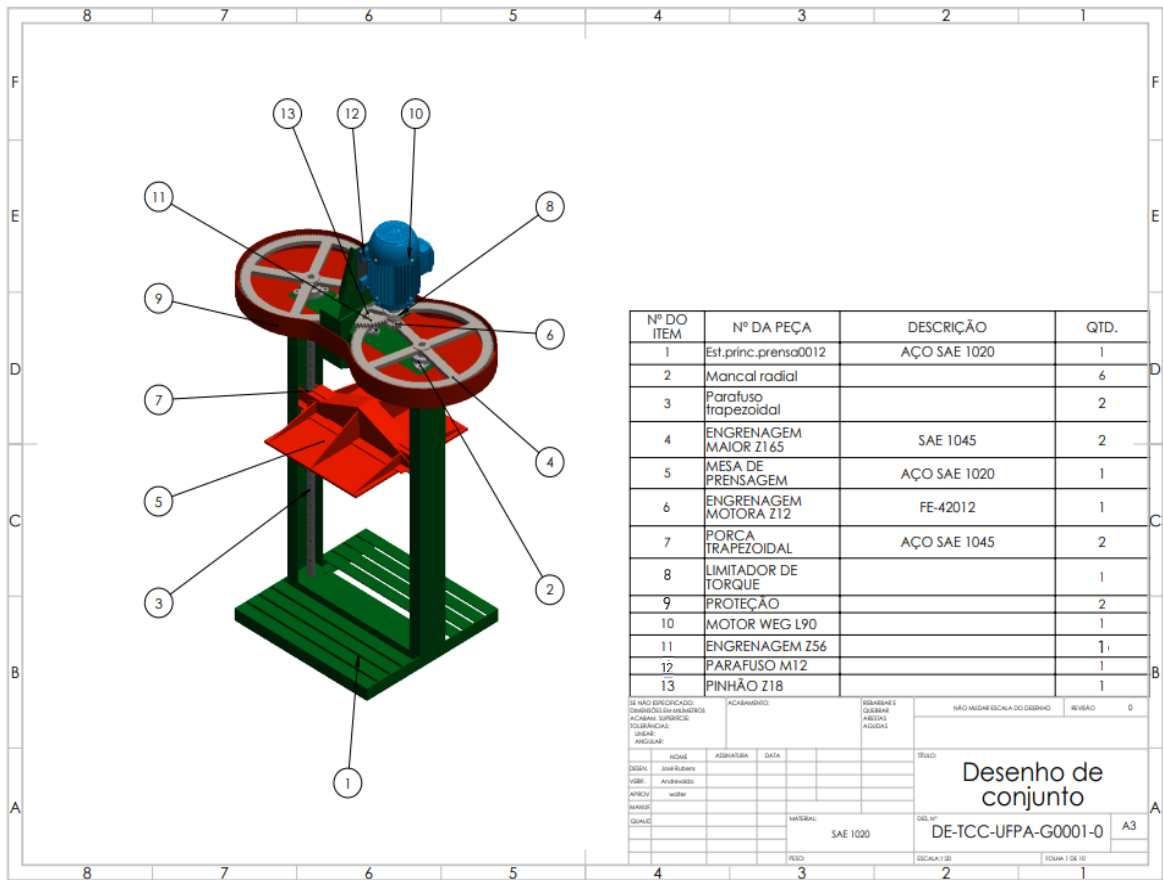
$$R_{c5} = \frac{1422,09}{1100} = 1,2928 \text{ kN}$$

$$\sum_y R_{c6} + R_{c5} - 1,2366 = 0$$

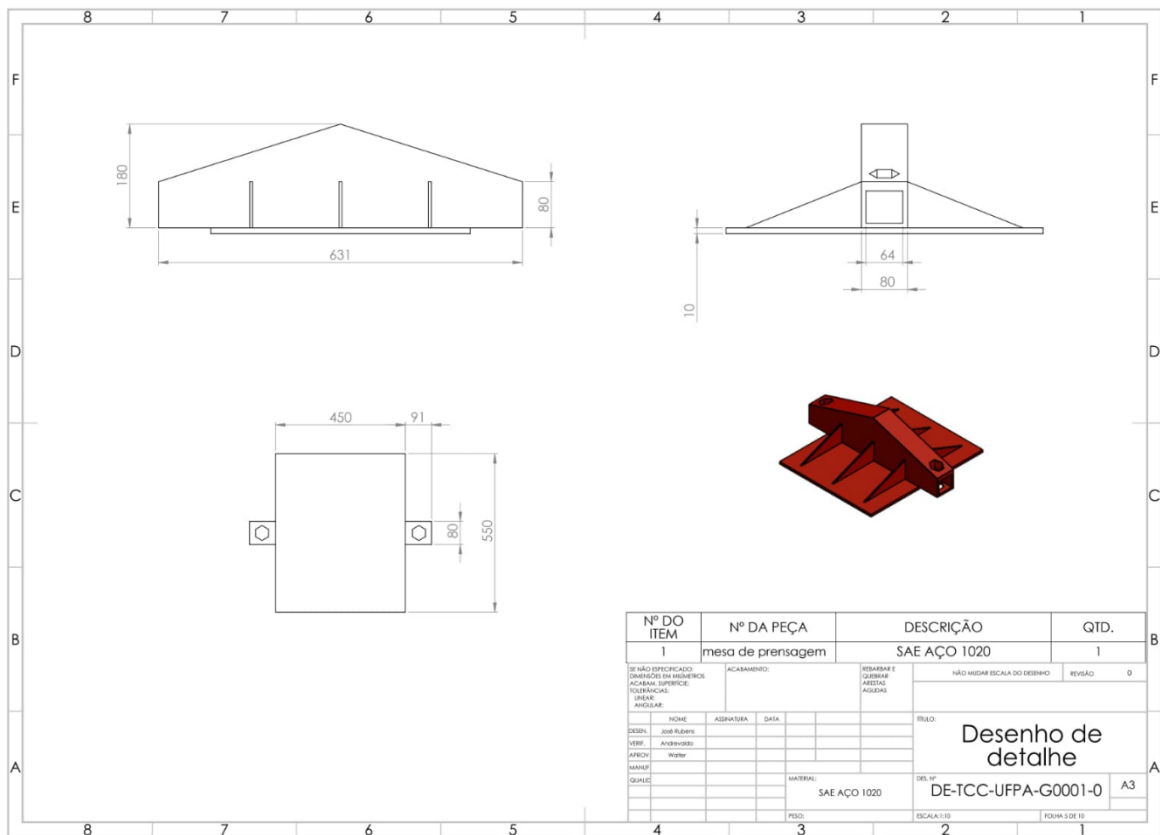
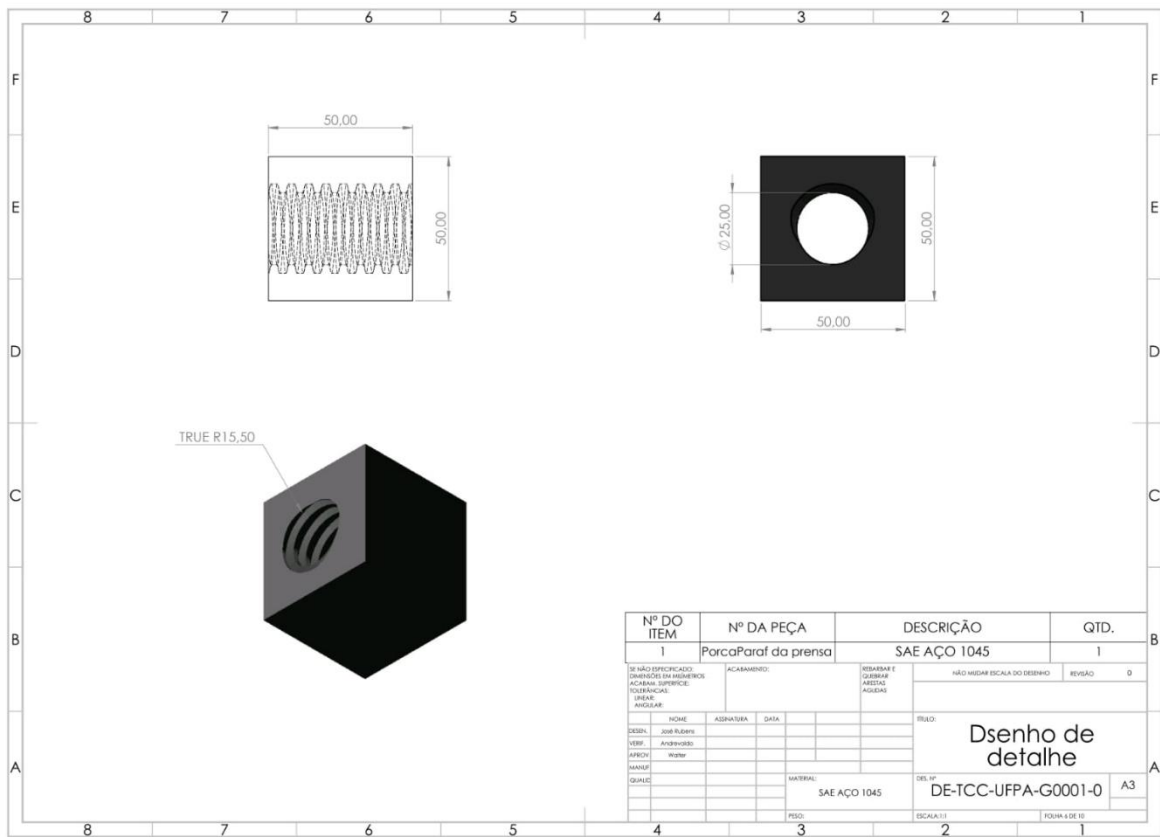
$$R_{c6} = 1,2366 - 1,2928$$

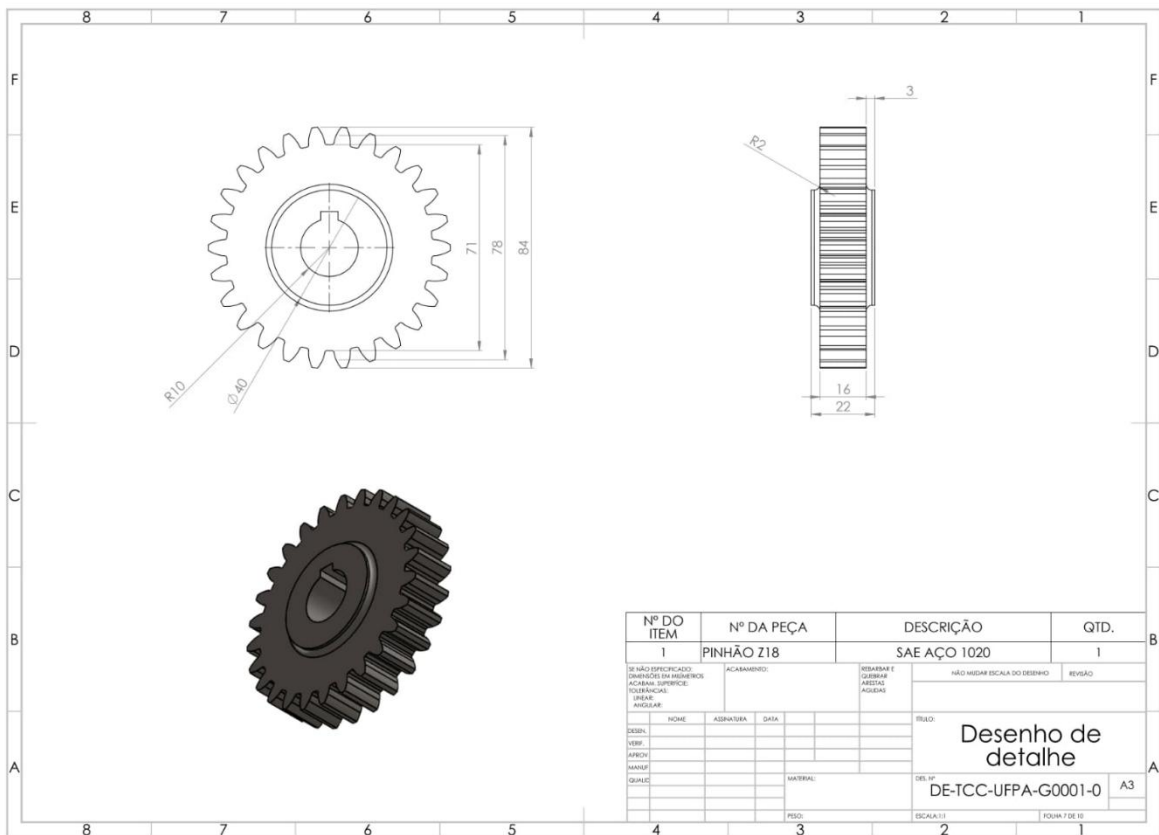
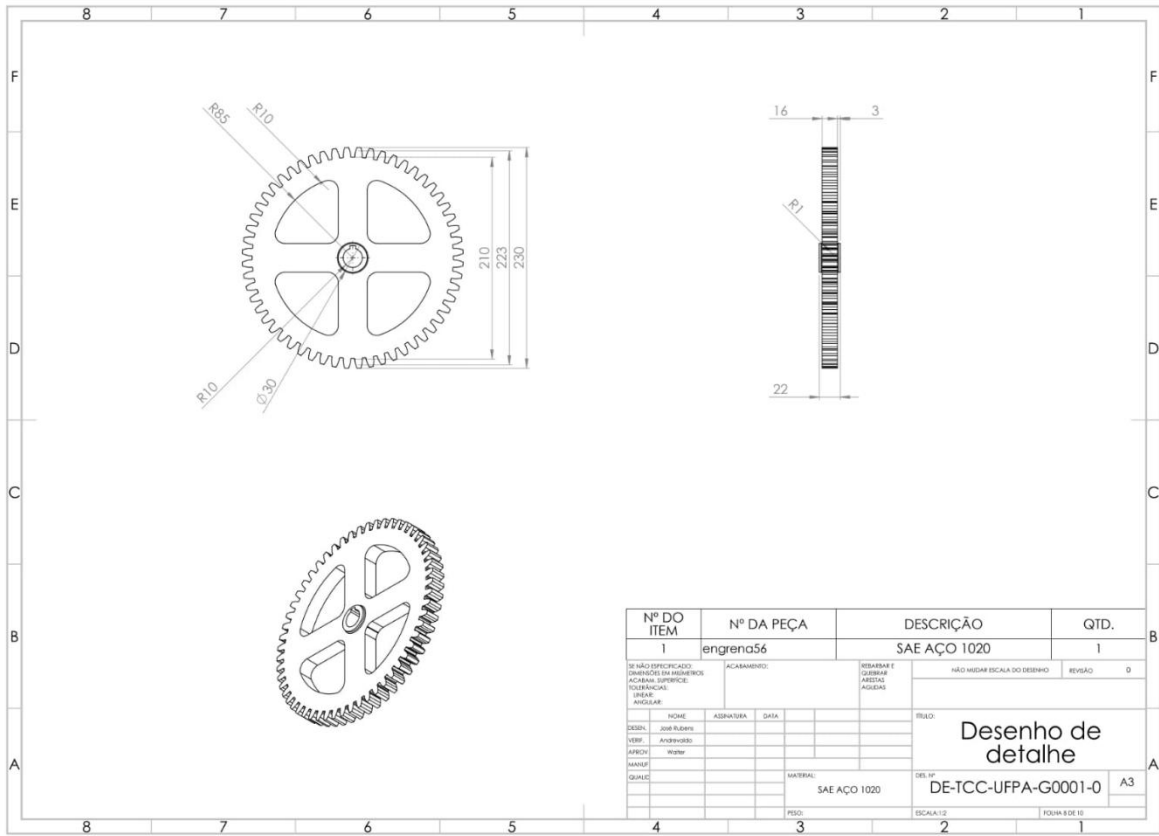
$$R_{c6} = -0,0562 \text{ kN}$$

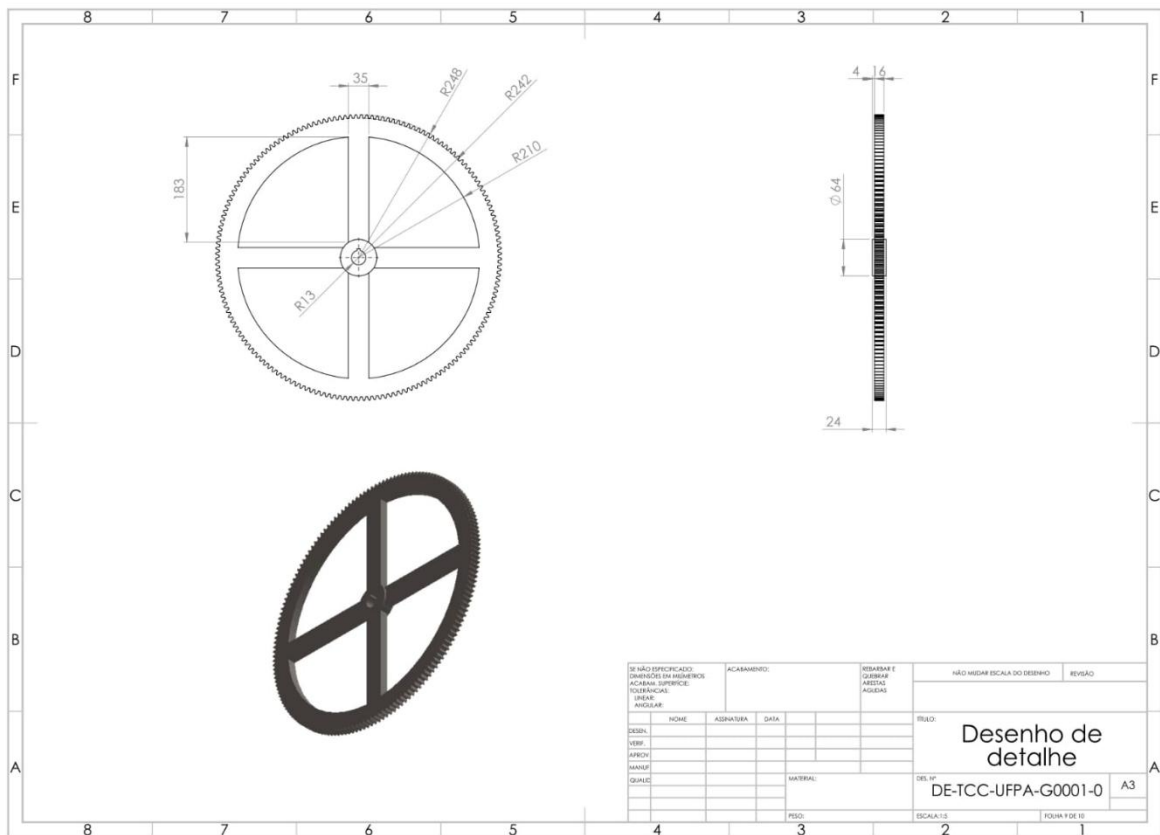
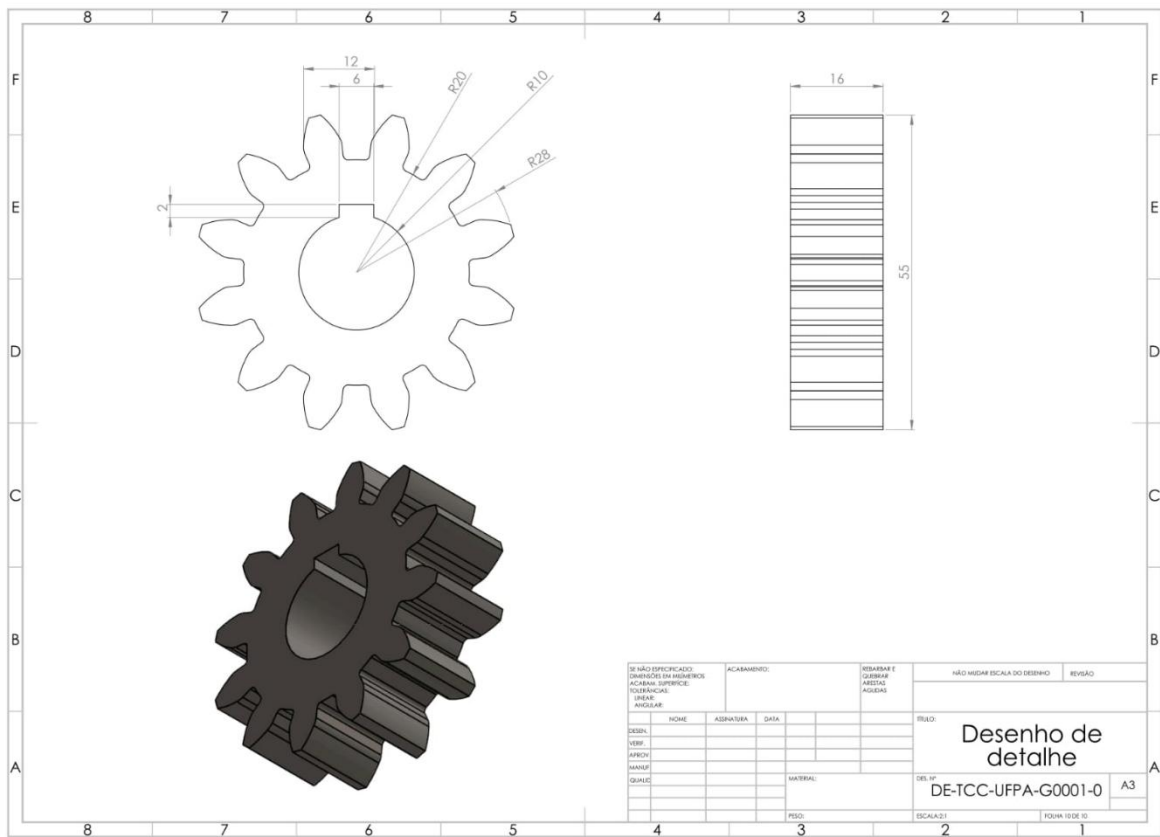
APÊNDICE D – Desenhos técnicos da estrutura e peças

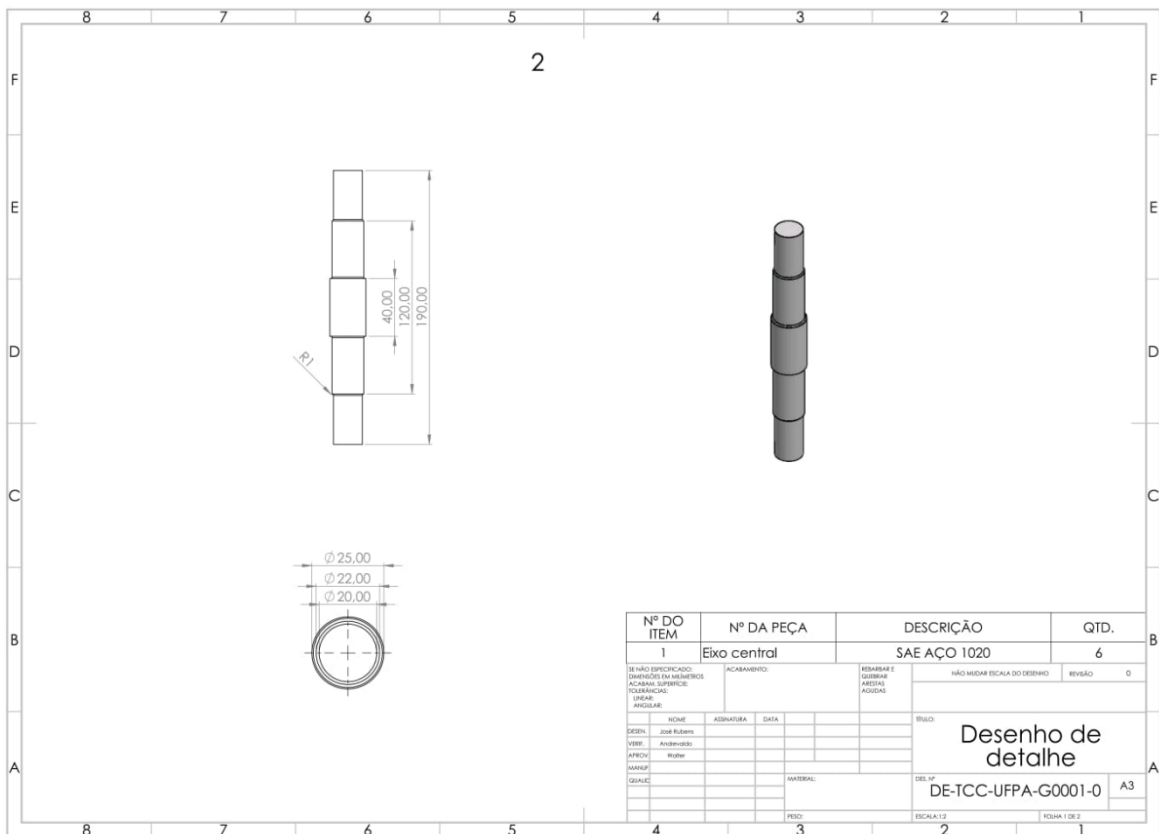
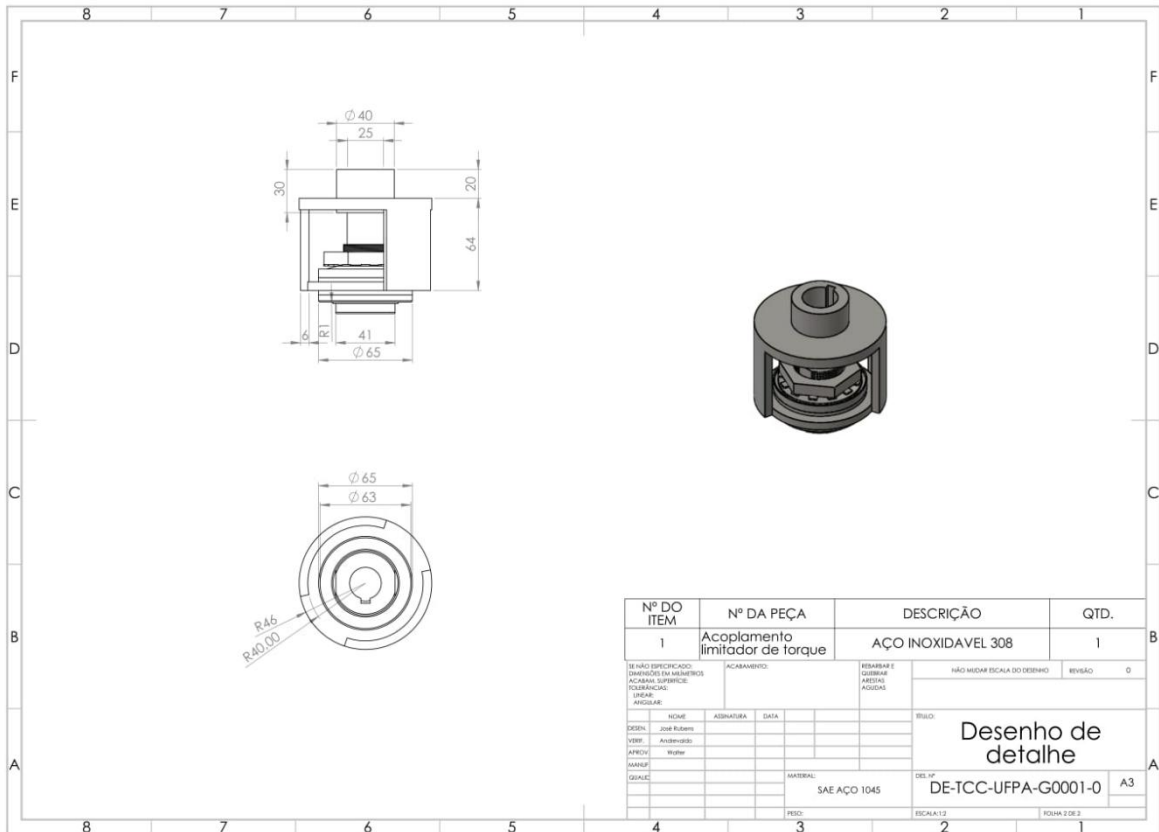












## APÊNDICE E – Orçamento dos materiais para a construção do protótipo

Tabela 3 – Orçamento dos materiais

<b>Materiais</b>	<b>Dimensões</b>	<b>Quant.</b>	<b>Valor Unit.</b>	<b>Valor total</b>	<b>Doação</b>
Fuso trapezoidal c/ porca	1500 mm	2	R\$ 1.040,00	R\$ 2.080,00	
Mancal c/rolamento radial	25 mm	4	R\$ 32,00	R\$ 128,00	
Mancal c/rolamento radial	20 mm	2	R\$ 29,00	R\$ 58,00	
Rolamento axial	25 mm	2	R\$ 125,00	R\$ 250,00	
Motor elétrico Weg 3 cv 4 polos 1800 rpm		1	R\$ 2.015,00	R\$ 2.015,00	R\$ 2.015,00
Barras de ferro perfil (cantoneira)	6000 mm	2	R\$ 228,00	R\$ 456,00	
Barras de ferro perfil U	6000 mm	1	R\$ 417,00	R\$ 417,00	
Limitador de torque		1	R\$ 310,00	R\$ 310,00	
engrenagem do motor changay		2	R\$ 200,00	R\$ 400,00	R\$ 400,00
Arruelas		36	R\$ 0,50	R\$ 18,00	
Parafuso		18	R\$ 2,80	R\$ 50,40	
Chave reversora 3 Posições Com 12 Ter 40a		1	R\$ 150,45	R\$ 150,45	
Mão de obra do torneiro h/trab.		7	R\$ 80,00	R\$ 560,00	R\$ 186,67
Mão de obra do soldador h/trab.		20	R\$ 55,00	R\$ 1.100,00	R\$ 1.100,00
<b>VALOR TOTAL DO ORÇAMENTO</b>				<b>R\$ 7.992,85</b>	<b>R\$ 3.701,67</b>
<b>VALOR TOTAL INCLUINDO DOAÇÃO</b>				<b>R\$ 4.291,18</b>	

Fonte: Autoria Própria