

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS DIVINÓPOLIS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

Artur Nunes Mello

PROJETO DE UM SISTEMA DE ELEVAÇÃO VERTICAL DE
BAIXO CUSTO PARA FACILITAÇÃO DE ACESSO A PESSOAS
COM MOBILIDADE REDUZIDA NA UNIDADE DIVINÓPOLIS DO
CEFET-MG.



Divinópolis
2022

Artur Nunes Mello

PROJETO DE UM SISTEMA DE ELEVAÇÃO VERTICAL DE
BAIXO CUSTO PARA FACILITAÇÃO DE ACESSO A PESSOAS
COM MOBILIDADE REDUZIDA NA UNIDADE DIVINÓPOLIS DO
CEFET-MG.

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada ao Colegiado de Graduação em En-
genharia Mecatrônica como parte dos requisitos
exigidos para a obtenção do título de Engenheiro
Mecatrônico.

Eixo de Formação: Mecânica e Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Lúcio Flávio Santos Patrício



Divinópolis

2022

Resumo

A existência de espaços públicos e privados que não garantem acessibilidade a deficientes e pessoas com mobilidade reduzida é um problema de nível mundial no século XXI (ORGANIZATION et al., 2011). Apesar de o ordenamento jurídico brasileiro estabelecer normas gerais e critérios básicos para a inclusão dessas pessoas, vários lugares não possuem a infraestrutura necessária para recebê-las, ou recepcioná-las de maneira adequada. O presente trabalho tem como intuito projetar uma plataforma de elevação, de baixo custo, que permita um trânsito confortável de deficientes físicos, idosos com mobilidade reduzida, e pessoas com limitações físicas, por qualquer motivo, entre o refeitório e o prédio 6 do CEFET-MG, campus V. Para o desenvolvimento do trabalho, foram realizadas revisão de literatura, escolha do sistema de elevação vertical, estudo do espaço físico, projeto mecânico, projeto eletrônico e simulações. Portanto, foram utilizadas, no presente trabalho, duas das quatro grandes áreas da Engenharia Mecatrônica, a saber, mecânica e eletrônica. Esse projeto vem suprir uma necessidade social, dada pelo fornecimento de acessibilidade a deficientes e pessoas com mobilidade reduzida, de maneira confortável, através de uma alternativa com um melhor custo-benefício que, ao mesmo tempo, contribuirá para o aumento da inclusão dessas pessoas e servirá de objeto de pesquisas futuras na Mecatrônica. Espera-se que esse trabalho seja usado como projeto para a implementação de várias plataformas elevatórias não só no CEFET-MG, campus V, mas em todos os lugares que possuem essa demanda, uma vez que o projeto, por ser público, servirá como metodologia de cálculo para outras instituições que desejarem, devendo ser adaptado para cada situação, em específico, de acordo com as necessidades de cada instalação.

Palavras-chave: plataforma de elevação; acessibilidade; deficientes físicos.

Sumário

1	Introdução e Contextualização	1
1.1	Definição do Problema	3
1.2	Motivação	4
1.3	Objetivos do Trabalho	4
1.3.1	Objetivo Geral	4
1.3.2	Objetivos Específicos	5
1.4	Organização do Documento	5
2	Considerações Preliminares e Definições	7
2.1	Estado da Arte	9
2.2	Fundamentação Teórica	11
2.2.1	Classificação das Máquinas de Elevação	11
2.2.2	Critérios de Escolha do Mecanismo de Elevação	12
2.2.3	Elevadores e seus Mecanismos de Elevação	13
2.2.3.1	Elevador Hidráulico	13
2.2.3.2	Elevador Tractionado por Cabo de Aço	14
2.2.3.2.1	Máquinas com Redutores	15
2.2.3.2.2	Máquinas sem Redutores	15
2.2.3.2.3	Máquinas de Tração Direta com Tambor	15
2.2.3.3	Elevador Acionado por Fuso	16
2.2.3.3.1	Fuso Quadrado	18
2.2.3.3.2	Fuso Trapezoidal	19

2.2.3.3.3	Fuso Misto	19
2.2.3.4	Elevador Acionado por Pinhão e Cremalheira	19
2.2.4	Forças Atuantes em Parafusos	22
2.2.5	Tipos de Solda	24
2.2.6	Controle de Motores Elétricos	26
2.2.7	Inversor de Frequência	28
2.2.8	Comandos Elétricos	30
2.2.8.0.1	Botoeiras	30
2.2.8.0.2	Relés	32
2.2.8.0.3	Relés Temporizadores	32
2.2.8.0.4	Contatores	33
2.2.8.0.5	Fusíveis	33
2.2.8.0.6	Disjuntores	33
2.2.8.0.7	Relés Térmicos	34
2.2.8.0.8	Chave de Fim de Curso	34
2.2.8.1	Diagramas Elétricos	35
3	Metodologia	39
3.1	Escolha do Mecanismo de Elevação	42
3.2	Escolha do Perfil da Rosca do Fuso	43
3.3	Materiais	44
3.4	Concepção Geral do Projeto	44
3.5	Parâmetros do Projeto	46
3.6	Métodos de Dimensionamento da Plataforma Elevatória	48
3.6.1	Método de Dimensionamento do Fuso	48
3.6.2	Método de Dimensionamento do Atuador	49
3.6.3	Método de Análise de Esforços na Plataforma Elevatória	50
3.6.3.1	Forças Atuantes na plataforma	51
3.6.3.2	Forças Atuantes nos Parafusos	54
3.6.4	Método de Especificação do Atuador	55
3.6.5	Método de Especificação do Inversor	56
3.6.6	Método de Especificação do Disjuntor	56
3.6.7	Método de Parada da Plataforma	56

4	Resultados	61
4.1	Parâmetros do Projeto	61
4.2	Especificações da Base da Plataforma	66
4.3	Especificações da Luva	70
4.4	Especificações da Junta Soldada entre a Luva e a Base	74
4.5	Especificações do Atuador	79
4.6	Especificações do Inversor de Frequência	83
4.7	Especificações do Disjuntor	84
4.8	Lógica de Comando	85
4.9	Especificação do Sensor de Fim de Curso	91
4.10	Concepção Geral Final	92
4.11	Orçamentos	94
5	Considerações Finais	95
5.1	Conclusões	95
5.2	Proposta de Trabalhos Futuros	96
A	Cronograma Referente ao TCC 1 e TCC 2	97
B	Catálogos de Fuso Trapezoidal e Porca	101
C	Desenhos Técnicos	105
D	Diagramas Trifilares	111
	Referências	115

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Relação entre comprimento e inclinação da rampa. Fonte: (DEJTIAR, 2019).	3
Figura 1.2 – Representação esquemática de uma rampa e dimensões.	4
Figura 2.1 – Elisha Graves Otis. Fonte: A Origem (2011).	8
Figura 2.2 – Plataforma para piscinas. Fonte: Santo Rodrigues (2018).	9
Figura 2.3 – Plataforma para automóveis. Fonte: GOMES (2015).	10
Figura 2.4 – Plataforma para escadas. Fonte: Gonsalves et al. (2018).	10
Figura 2.5 – Plataforma para escadas. Fonte: Oliveira (2017).	11
Figura 2.6 – Elevador hidráulico. Fonte: META (2020).	14
Figura 2.7 – Máquina com redutor. Fonte: Knowhow (2012).	15
Figura 2.8 – Máquina sem redutor. Fonte: Knowhow (2012).	16
Figura 2.9 – Mecanismo fuso e porca. Fonte: Santo Rodrigues (2018).	17
Figura 2.10–Elementos da rosca. Fonte: Generoso (2009).	17
Figura 2.11–Tipos de fuso. Fonte: Gordo (1998).	18
Figura 2.12–Conjunto Pinhão-Cremalheira. Fonte: Gordo (1998).	20
Figura 2.13–Tipos de cremalheira. Fonte: (GORDO, 1998).	21
Figura 2.14–Junta aparafusada carregada em cisalhamento. Fonte: Bickford (2007).	22
Figura 2.15–Resposta de uma junta cisalhante a esforços cada vez maiores. Fonte: Bickford (2007).	23
Figura 2.16–Curva da relação entre a tensão de cisalhamento e a tensão normal em um parafuso. Fonte: Bickford (2007).	24

Figura 2.17–Inversor de Frequência CFW300. Fonte: (WEG, 2008).	30
Figura 2.18–Botoeira de Emergência. Fonte: (ELÉTRICA, 2022a)	31
Figura 2.19–Componentes de um relé, (ELÉTRICA, 2022b)	32
Figura 2.20–Acionamento e Proteção de um Diagrama Trifilar de um Acionamento de um Motor Trifásico.	36
Figura 2.21–Comando de um Diagrama Trifilar de um Acionamento de um Motor Trifásico.	37
Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia do projeto.	41
Figura 3.2 – Fuso com rosca com perfil trapezoidal.	43
Figura 3.3 – Esboço Geral Inicial do Projeto.	45
Figura 3.4 – Esboço Geral Inicial do Projeto.	46
Figura 3.5 – Momento de Inércia Polar e Módulo da Seção das Soldas. Fonte: Khurmi e Gupta (2005).	52
Figura 3.6 – Luva Prisioneira.	55
Figura 3.7 – Chave de fim de curso. Fonte: Schmersal (2021).	57
Figura 3.8 – Sensor óptico. Fonte: WEG (2021).	57
Figura 3.9 – Sensor embolo magnético. Fonte: WEG (2021).	58
Figura 3.10–Sensor infravermelho. Fonte: Eletrodex (2021)	58
Figura 3.11–Chave de fim de curso. Fonte: Schmersal (2021).	59
Figura 4.1 – Catálogo de modelos de fusos com perfil trapezoidal. Fonte: (A.T.I., 2017).	63
Figura 4.2 – Catálogo de modelos de fusos com perfil trapezoidal. Fonte: (A.T.I., 2017).	64
Figura 4.3 – Tabela de Fusos Trapezoidais Comerciais. Fonte: (A.T.I., 2017).	65
Figura 4.4 – Tabela de Porcas Comerciais. Fonte: (A.T.I., 2017).	65
Figura 4.5 – Quadro de Tubos de Aço Carbono com perfil retangular.	66
Figura 4.6 – Dimensões do Tubo de Aço Carbono.	67
Figura 4.7 – Chapa de Alumínio Xadrez Sobre o Quadro de Metalon.	67
Figura 4.8 – Simulação 1 do Comportamento da Chapa de Alumínio em Relação à Deformação.	68
Figura 4.9 – Quadro Reforçado de Tubos de Aço Carbono com perfil retangular.	68

Figura 4.10–Simulação 2 do Comportamento da Chapa de Alumínio em Relação à Deformação.	69
Figura 4.11–Quadro de Tubos de Aço Carbono com perfil retangular com estrutura triangulada.	69
Figura 4.12–Simulação 3 do Comportamento da Chapa de Alumínio em Relação à Deformação.	70
Figura 4.13–Porca Acionadora.	71
Figura 4.14–Luva Prisioneira.	71
Figura 4.15–Acoplamento da Luva à Porca Acionadora.	73
Figura 4.16–Acoplamento da Luva à Base da Plataforma.	73
Figura 4.17–Dimensões da Luva.	74
Figura 4.18–Seção da Solda entre a Luva e o Metalon da Base da Plataforma. . . .	75
Figura 4.19–Seção da Solda entre a Luva e o Metalon da Base da Plataforma. Fonte: Khurmi e Gupta (2005)	76
Figura 4.20–Simulação da espessura do cordão de solda necessária para suportar o carregamento.	78
Figura 4.21–Simulação da espessura do cordão de solda necessária para suportar o carregamento.	78
Figura 4.22–W22 Super Premium. Fonte: (COMERCIAL, 2022a).	81
Figura 4.23–W22 Super Premium. Fonte: (COMERCIAL, 2022a).	81
Figura 4.24–Motoredutor de Alumínio 1/7,5.	82
Figura 4.25–Inversor de Frequência ATV320. Fonte: (COMERCIAL, 2022b).	83
Figura 4.26–Disjuntor Schneider	85
Figura 4.27–Circuito de Potência da Partida Direta com Reversão.	86
Figura 4.28–Circuito de Comando da Partida Direta com Reversão.	87
Figura 4.29–Circuito de Potência da Partida com Inversor.	88
Figura 4.30–Circuito de Comando da Partida com Inversor.	89
Figura 4.31–Sistema Fuso-Motor CA De SIMU.	90
Figura 4.32–Configuração do Inversor de Frequência como Regulador da Velocidade.	90
Figura 4.33–Sensor de Fim de Curso OsiSense XC. Fonte: (COMERCIAL, 2022b)	91
Figura 4.34–Concepção Geral do Projeto.	93

Figura B.1 – Catálogo de Dimensionamento de Fuso Trapezoidal. Fonte: (A.T.I., 2017).	102
Figura B.2 – Catálogo Comercial de Fusos Trapezoidais. Fonte: (A.T.I., 2017).	103
Figura B.3 – Catálogo Comercial de Porca. Fonte: (A.T.I., 2017).	103

Obs.: as figuras que não possuem referência foram desenvolvidas pelo próprio autor.

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Valores de Ruptura e Escoamento da Tensão de Cisalhamento de certos materiais.	24
Tabela 3.1 – Orçamentos das plataformas elevatórias.	42
Tabela 3.2 – Dimensões Mínimas da Plataforma. Fonte: Normas Técnicas (2013).	47
Tabela 3.3 – Tensões Máximas nas Juntas Soldadas.	54
Tabela 4.1 – Resultados das Espessuras do Cordão de Solda Obtidos.	79
Tabela A.1 – Cronograma de atividades para TCC1 e TCC2.	99

Lista de Acrônimos e Notações

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;
- ATI - Artigos Técnicos Industriais;
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
- OMS - Organização Mundial da Saúde;
- TCC - Trabalho de Conclusão de Curso;
- AWS - American Welding Society;
- SMAW - Shielded Metal Arc Welding;
- MIG - Metal Inert Gas;
- MAG - Metal Active Gas;
- GMAW - Gas Metal Arc Welding;
- TIG - Tungsten Inert Gas;
- PAW - Plasma Arc Welding.

Lista de Variáveis

- i_{rampa} = Inclinação em %;
- h_{rampa} = Altura da rampa (m);
- c_{rampa} = Comprimento da rampa (m);
- p_{rosca} = passo (mm);
- i_{rosca} = Ângulo da hélice;
- $d1_{rosca}$ = Diâmetro externo (mm);
- c = Crista (mm);
- d_{int} = Diâmetro interno (mm);
- D_{porca} = Diâmetro do fundo da porca (mm);
- d_{flanco} = Diâmetro do flanco (mm);
- $D1_{porca}$ = Diâmetro do furo da porca (mm);
- α_{filete} = Ângulo do filete;
- $h1_{porca}$ = Altura do filete da porca (mm);
- f_{filete} = Fundo do filete (mm);
- $h_{parafuso}$ = Altura do filete do parafuso (mm);
- n_{fuso} = Rendimento;

- P_{sada} = Potência de saída (W);
- $P_{entrada}$ = Potência de entrada (W);
- S_t = Razão entre a tensão de cisalhamento no(s) plano(s) de cisalhamento do parafuso e a resistência à tração final do parafuso;
- T_t = Razão entre a tensão de tração no parafuso e a resistência à tração final do parafuso;
- G = Razão entre a resistência ao cisalhamento e a resistência à tração do parafuso;
- τ_{med} = Tensão cortante média (N/m);
- $P_{cortante}$ = Força cortante total (N);
- A = Área projetada da superfície cortante (m);
- W = Trabalho (J);
- f_{peso} = Força peso (N);
- d_{fuso} = Comprimento do fuso (m);
- t = Intervalo de tempo (s);
- v = Velocidade (m/s);
- d = Distância (m);
- P_{mec} = Potência mecânica (W);
- t = Intervalo de tempo (s);
- P_{motor} = Potência do motor (W);
- n_{fuso} = Rendimento do fuso;
- J = Momento de inércia polar (m^4);
- Z = Módulo da seção (m^3);
- b_{solda} = Altura interna (m);

- l_{solda} = Largura externa (m);
- $t_{garganta}$ = Espessura da garganta (m);
- τ_{direta} = Tensão de cisalhamento direta (N/m^2);
- P = Peso (N);
- A = Área (m^2);
- M = Momento (N/m);
- e_{solda} = Distância entre a solda e a concentração do peso (m);
- σ_b = Tensão de flexão (N/m^2);
- τ_{max} = Tensão de cisalhamento máxima (N/m^2);
- σ_b = Tensão de flexão (N/m^2);
- P_{cr} = Carregamento crítico de flambagem (N);
- E = Tensão admissível (N/m^2);
- L_{barra} = Comprimento da barra (m);
- FS = Fator de Segurança;
- I = Momento de inércia da área da seção transversal (m^4).

Introdução e Contextualização

Define-se acessibilidade como a capacidade de se incluir pessoas com algum tipo de deficiência na participação de atividades através do uso de produtos, serviços e informações. Um exemplo de acessibilidade é a adaptação de calçadas com rampas ao invés de degraus para facilitar a passagem de pessoas que façam uso de muletas, pessoas idosas com dificuldade de locomoção, ou ainda, cadeirantes.

Um grupo que necessita de adaptações visando à acessibilidade é representado pelos deficientes físicos (IBGE, 2015). Um estudo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2015, apontou que 6,2% da população brasileira apresenta algum tipo de deficiência, sendo que a parcela de deficientes físicos pela mesma pesquisa mostrou-se 1,3% da população, e quase metade desse total (46,8%) apresenta um grau intenso ou muito intenso de limitações, o que são aproximadamente 1.216.800 pessoas (IBGE, 2015).

Considerando esses números, é importante retratar que não são todos os espaços urbanos que oferecem acessibilidade plena a essa parcela da população. A norma responsável por regulamentar a adaptação desses espaços é a NBR9050 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (NORMAS TÉCNICAS, 2020). Revisada pela última vez em agosto de 2020, ela estabelece critérios e parâmetros técnicos que devem ser observados durante o projeto, como construção, instalação, reforma ou adaptação de edifícios, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos às condições de acessibilidade.

Pelo fato de ainda ser recente, a norma está sendo aplicada gradativamente aos novos espaços urbanos, e por não abranger ambientes privados, ainda há muitos locais que não seguem as regras de acessibilidade e acabam não fornecendo esse direito. Existem

lugares que fornecem o acesso através de rampas, mas quando se trata de aclives que necessitam vencer uma altura que representa mais que 8% do comprimento horizontal da rampa, o esforço para vencer o desnível se torna muito elevado. Para uma mesma altura, a inclinação é sempre inversamente proporcional ao comprimento horizontal da rampa, como pode ser visto na Figura 1.1.

Uma alternativa que solucionaria o problema seria a adaptação do espaço físico instalando uma plataforma de elevação vertical, a qual permite não só o acesso de cadeirantes como também de pessoas que utilizam muletas ou tenham alguma deficiência motora, ou ainda, estejam com a mobilidade temporariamente reduzida, como no caso dos acidentados.

A norma que trata sobre plataformas de elevação para pessoas com mobilidade reduzida é a NBR 9386-1, (NORMAS TÉCNICAS, 2013), e define requisitos de segurança, como o de parada ou acionamento mecânico, para o caso de desabastecimento de energia de acionamento assistida (energia elétrica, hidráulica, mecânica), assim como dimensões e operação funcional para plataformas de elevação vertical. Nessa norma são definidos como requisitos gerais para plataformas de elevação:

- Levar em consideração durante o projeto a frequência de utilização da plataforma;
- Incorporar proteção contra: cortes, esmagamento, aprisionamento, escorificação, queda ou tropeço, choque físico ou impacto, choque elétrico, e fogo;
- Assegurar acesso à manutenção, reparo ou inspeção.
- A velocidade da plataforma não pode ser superior a 0,15 m/s;
- Deve resistir às forças de operação;
- O dimensionamento deve ser efetuado utilizando de coeficiente de segurança igual ou superior a 1,6;
- Proteger equipamentos e elementos mecânicos como engrenagens ou unidade de acionamento, para impedir riscos físicos a pessoas;
- Devem ser fornecidas guias para todo o percurso da plataforma, podendo estas serem enclausuradas ou não.

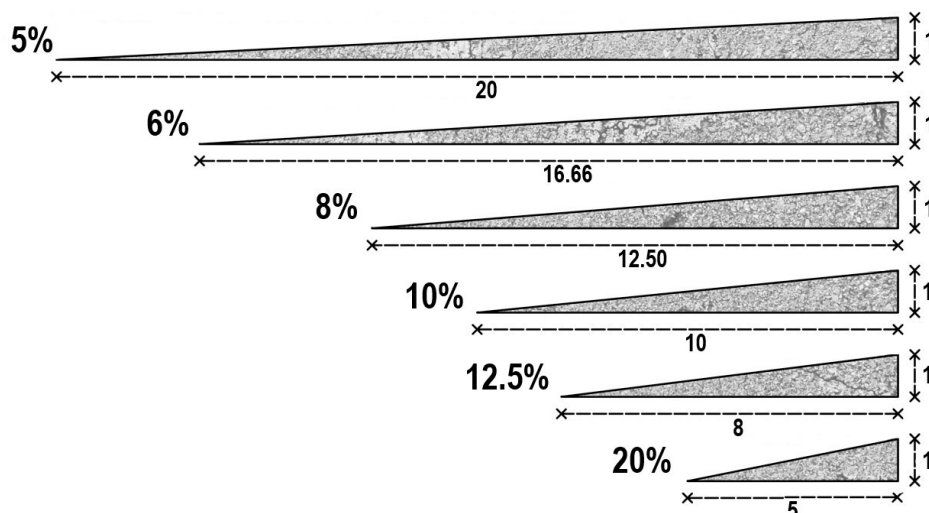


Figura 1.1 – Relação entre comprimento e inclinação da rampa. Fonte: (DEJTAR, 2019).

1.1 Definição do Problema

A unidade de Divinópolis do CEFET-MG possui trechos os quais possuem um terreno muito acidentado e, por mais que forneça acesso a todos os prédios, existem alguns casos, como a rampa entre o refeitório e o prédio 6, que não são confortáveis para quem se enquadra como deficientes que possuem um grau de dificuldade maior quando se trata, por exemplo, de subir rampas com inclinações maiores que o usual, dadas entre 6,25% e 8%, como estabelecidas pela NBR 9050, e definidas pela Equação 1.1, (DEJTAR, 2019):

$$\mathbf{i} = \frac{\mathbf{h} \times 100\%}{\mathbf{c}}, \quad (1.1)$$

em que:

- i_{rampa} = Inclinação em %;
- h_{rampa} = Altura da rampa (m);
- c_{rampa} = Projeção horizontal da rampa (m);

como pode ser visto na Figura 1.2.

A rampa em questão é responsável por fazer a conexão entre o prédio 6 e o refeitório e possui uma altura igual a 1,31m e um comprimento igual a 4,9m, o que implica uma inclinação igual a 26,7%, relação a qual não se enquadra nos limites dados pela NBR 9050, citados anteriormente. Nesse contexto, a instalação de uma plataforma de elevação

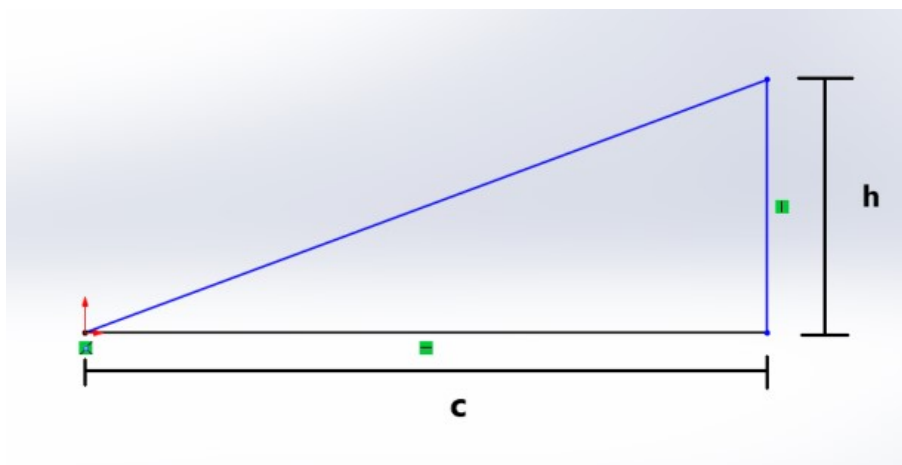


Figura 1.2 – Representação esquemática de uma rampa e dimensões.

vertical seria uma alternativa muito pertinente, uma vez que solucionaria o problema da situação citada anteriormente.

1.2 Motivação

Diante do exposto, a principal motivação para este projeto parte da oportunidade de incentivar o desenvolvimento de trabalhos que solucionam problemas da área de acessibilidade, assim como estimular investimentos nessa área com o propósito de melhorar não só o acesso de pessoas com mobilidade reduzida no CEFET-MG, campus V, mas também, resolver esse problema local, de cunho social, e âmbito mundial.

1.3 Objetivos do Trabalho

Nesses termos, os objetivos deste trabalho são apresentados a seguir.

1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho, de cunho extensionista, teve como intuito projetar uma plataforma de elevação, mecânica e eletronicamente, de baixo custo quando comparada com soluções comercialmente disponíveis, que permita um trânsito confortável de deficientes físicos, idosos com mobilidade reduzida, e pessoas com limitações físicas, por qualquer motivo, entre o prédio do espaço de convivência, atual refeitório, e o prédio seis do

CEFET-MG, campus V, assim como a aquisição de *know-how* durante a aplicação de conhecimentos de engenharia apresentados no curso.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um projeto mecânico que cumpra os requisitos normativos e possibilite uma fácil manutenção;
- Analisar os esforços mecânicos e realizar a simulação do projeto mecânico, inclusive no que tange o cinematismo do sistema;
- Realizar orçamentos do projeto mecânico e analisá-los em relação à viabilidade;
- Desenvolver um projeto civil, composto pela fundação, escoramento/contenção e alvenaria, o qual cumpra os requisitos normativos e proteja o sistema contra intempéries;
- Realizar orçamentos do projeto civil e analisá-los em relação à viabilidade;
- Desenvolver os projetos eletrônico e de comando, dados pelo circuito de acionamento, potência, proteção e lógica de fim de curso;
- Realizar simulações do projeto eletrônico;
- Realizar orçamentos dos componentes eletrônicos, de instrumentação e comando, e analisá-los em relação à viabilidade;
- Desenvolver uma metodologia a ser reproduzida por qualquer entidade, sem custos, que queira implementá-lo de acordo com suas necessidades.

1.4 Organização do Documento

Este trabalho está dividido em cinco capítulos:

- Introdução;
- Considerações Preliminares e Definições;
- Metodologia;

- Resultados;
- Considerações Finais.

No capítulo Considerações Preliminares e Definições são realizados a revisão de literatura e o estado da arte, assim como são abordados os principais conceitos necessários para o entendimento desse trabalho.

No terceiro capítulo estão presentes os métodos necessários para alcançar os objetivos determinados.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos e, no quinto, as conclusões e expectativas para estudos futuros.

Considerações Preliminares e Definições

Os elevadores conhecidos atualmente começaram de forma simples, inicialmente nada mais sendo que uma plataforma puxada pela força do homem e dos animais. Os egípcios, em 1500 a.C., utilizavam métodos elevatórios para tirar água do Nilo, através da força de animais (ORIGEM, A., 2011).

O arquiteto romano Vitruvius, que viveu no século I a.C., descrevia um princípio de utilização de uma plataforma suspensa para transportar pessoas e materiais pesados dentro de uma cabine vertical. A forma de funcionamento era também descrita e residia no uso de um contrapeso, que subia e descia passando por uma roldana. O movimento de subida e descida era controlado por homens que manobravam uma manivela situada do lado de fora da plataforma (ORIGEM, A., 2011).

Segundo Orino Lift , o primeiro elevador conhecido foi o que o rei Luís XV mandou instalar, em 1743, no Palácio de Versalhes, que foi construído com a finalidade de ligar os seus aposentos aos da sua amante, Madame de Châteauroux, que se situavam no andar inferior (ELEVADORES, 2011).

Com o advento da revolução industrial, tentou-se utilizar um motor a vapor para mover o elevador, que era montado no teto e basicamente enrolava e desenrolava um cabo à volta de um cilindro (ORIGEM, A., 2011).

No ano de 1854, um americano, Elisha Graves Otis, mostrado na Figura 2.1 inventou o primeiro sistema de segurança. Criou um trilho para a passagem do cabo, resolvendo assim o problema de oscilação e nesse mesmo trilho aplicou um sistema de “garras” que servia para travar o elevador na eventualidade do cabo se partir. No seguimento da sua invenção, Elisha Otis foi convidado, em 1857, para inaugurar o primeiro elevador de

passageiros num edifício de cinco andares de lojas (ELEVADORES, 2011).

Elisha Graves Otis é hoje reconhecido como o homem que inventou o elevador, pois foi graças às suas extraordinárias inovações, para o adequar ao uso humano, que todos podem ser transportados dentro de arranha-céus com mais de cem andares, de uma forma segura. A evolução dos elevadores não parou desde então. Em 1846 Sir William Armstrong inventou o guindaste hidráulico alimentado, abrindo, assim, o caminho aos elevadores hidráulicos substituindo a alimentação a vapor (ELEVADORES, 2011).

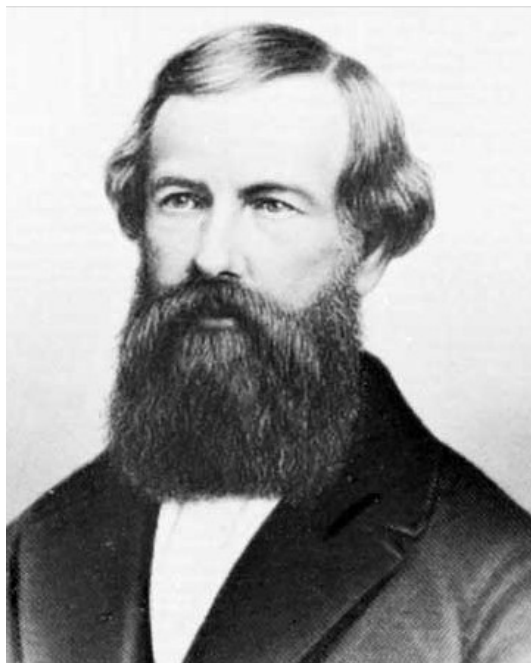


Figura 2.1 – Elisha Graves Otis. Fonte: A Origem (2011).

Em 1880 Werner Von Siemens da Alemanha inventou o elevador elétrico, sendo atualmente o sistema mais usado.

Apenas como comparação da sua evolução, os primeiros elevadores movidos a vapor eram muito lentos, em média demoravam cerca de 120 segundos para chegarem ao oitavo andar de um prédio. Atualmente os elevadores mais rápidos, normalmente instalados nos maiores arranha-céus, conseguem atingir a velocidade de 550 m/min, o que significa que são cerca de 45 vezes mais rápidos que os seus antecessores a vapor.

2.1 Estado da Arte

Nos últimos cinco anos, alguns artigos publicados estão relacionados ao desenvolvimento de tecnologias voltadas para a acessibilidade, como é o caso de Santo Rodrigues (2018).

Esse trabalho propôs o desenvolvimento de uma plataforma de elevação motorizada, capaz de realizar movimento vertical transportando um usuário de muletas ou cadeira de rodas do nível do terreno ao fundo de uma piscina, assim como transportá-lo novamente para a superfície, como mostrado na Figura 2.2. Este se tornou um recurso viável e seguro para acessibilidade a piscinas em quaisquer ambientes, de modo que possa ser instalado e removido sem necessidade de obras civis, atendendo a requisitos de ergonomia, segurança e facilidade de montagem, transporte e manutenção.

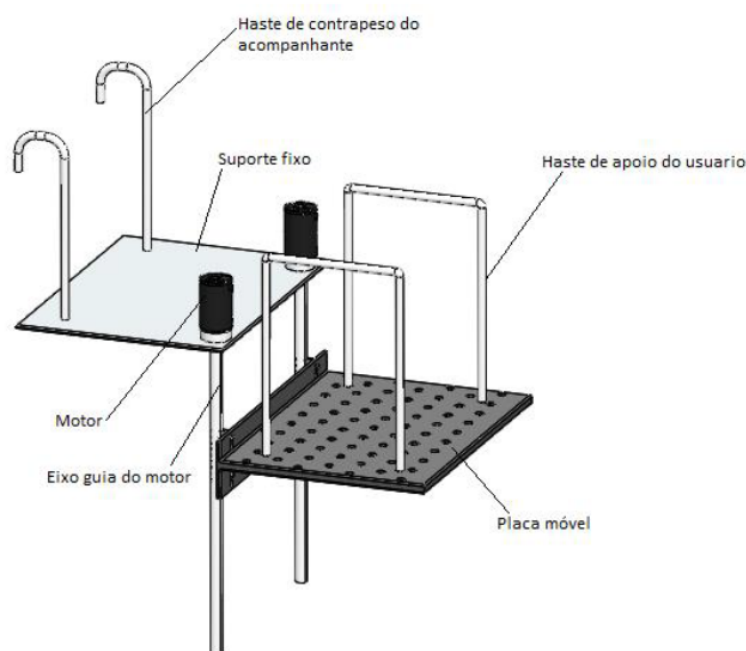


Figura 2.2 – Plataforma para piscinas. Fonte: Santo Rodrigues (2018).

Outro exemplo é o GOMES (2015), o qual realizou o projeto de uma adaptação de uma plataforma elevatória por acionamento hidráulico-mecânico, Figura 2.3, para acesso de cadeira de rodas a um automóvel, efetuando a menor descaracterização possível do veículo. Com tal adaptação, houve a automatização da operação para que a pessoa deficiente cadeirante possa acessar e dirigir o automóvel sem ter que sair da cadeira de rodas e sem a necessidade do auxílio de uma outra pessoa. Foram apresentados dados de

construção da plataforma, dimensionamento do mecanismo de acionamento e do impacto causado na estrutura do automóvel.

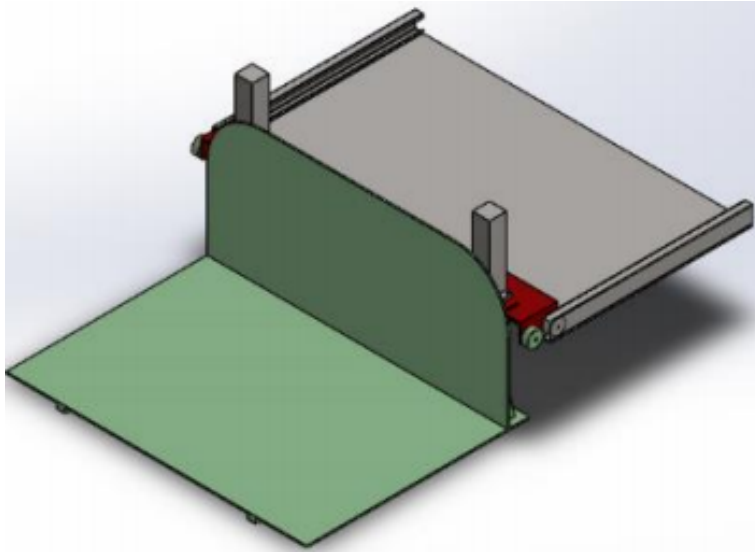


Figura 2.3 – Plataforma para automóveis. Fonte: GOMES (2015).

Gonsalves et al. (2018) propuseram melhorar a acessibilidade e dar mais liberdade às pessoas com deficiências, permanente ou temporariamente, em locais onde não há e não é viável a instalação de elevador vertical devido à disposição que o edifício está construído, criando assim, a possibilidade de se locomoverem através de uma plataforma de elevação para escadas, como mostrado na Figura 2.5.

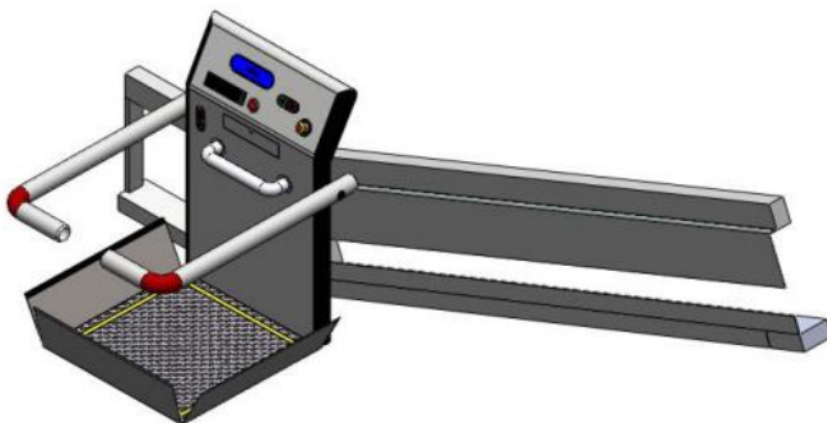
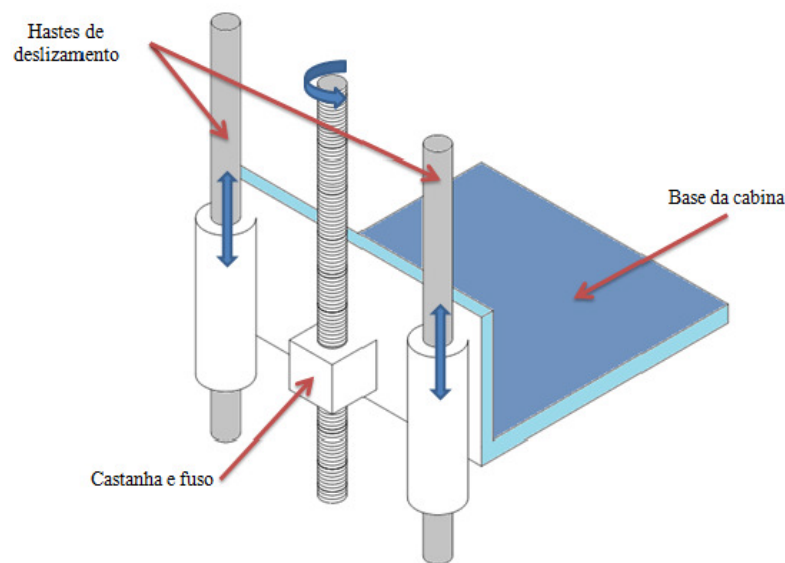


Figura 2.4 – Plataforma para escadas. Fonte: Gonsalves et al. (2018).

Por fim, Oliveira (2017) propôs o dimensionamento de um elevador assistivo de uso pessoal, seguindo as normas atualizadas de acessibilidade da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR ISO 9386-1 e ABNT NBR 9050, com custo acessível no

mercado para pessoas usuárias de cadeira de rodas. A ideia das duas hastes guias utilizadas para evitar a rotação da plataforma assim como a metodologia de dimensionamento do fuso foram aproveitadas para o desenvolvimento do presente trabalho.

Dos trabalhos citados, esse é que mais se aproxima das intenções desse projeto, com o porém de que cada espaço geográfico é passível de um novo projeto assim como o objetivo de cada projeto demanda alterações significativas tanto na parte mecânica (estrutural e acionamento) como na parte eletrônica.



Fonte: Autor, 2017.

Figura 2.5 – Plataforma para escadas. Fonte: Oliveira (2017).

2.2 Fundamentação Teórica

Este capítulo apresenta uma descrição das principais teorias e ferramentas empregadas no desenvolvimento deste TCC, além de servir como referencial para os elementos técnicos e conceituais.

2.2.1 Classificação das Máquinas de Elevação

Segundo Rudenko (1976), há uma grande variedade de modelos de máquinas de elevação e transporte, o que possibilita uma grande diversificação quando se trata das possibi-

lidades de projetos e construções. Os grupos de máquinas têm características distintas relacionadas a seguir:

- Máquinas de elevação: constituem o grupo de aparelhos de ação periódica, projetados como mecanismos próprios de elevação ou para elevação e movimentação de cargas ou, ainda, como mecanismos independentes de guindastes ou elevadores;
- Guindastes: combinam mecanismos de elevação, separados por uma estrutura para, apenas, levantar ou elevar e mover cargas, que podem estar livremente suspensas ou presas por eles;
- Elevadores: são o grupo de máquinas de ação periódica, destinadas a levantar cargas, com guias.

2.2.2 Critérios de Escolha do Mecanismo de Elevação

Para realizar a escolha adequada do aparelho, é necessário não apenas o conhecimento do projeto e das características operacionais do mecanismo, é preciso a completa compreensão da atividade a ser desempenhada.

Assim, os seguintes fatores técnicos podem ser assinalados como os principais para a orientação da escolha dos tipos de aparelhos a serem convenientes para o processo, são eles:

- Espécie e propriedades de cargas a serem manuseadas;
- Capacidade horária requerida por unidade;
- Direção e distância do percurso;
- Características dos processos de produção relacionadas com a movimentação de cargas;
- Condições específicas do local.

Essa escolha também é influenciada pela consideração de uma possível expansão da empresa, levando em conta o período de sua existência, a espécie de energia disponível, problemas sanitários, segurança e comodidade operacional. Em seguida, ainda são avaliados do ponto de vista da engenharia e economia. Do ponto de vista financeiro, leva-se em

conta o capital total dispendido que inclui o custo do equipamento, custo de montagem e transporte e custos de construção relacionados a instalação e operação, assim como custos operacionais, que abrangem:

- Salários e ordenados do pessoal, mais adicionais por serviços sociais;
- Custo da energia elétrica;
- Custo de lubrificação, limpeza, equipamentos e outros materiais;
- Custo de reparos e manutenção.

Dessa forma, os principais tipos de mecanismos utilizados em elevadores que podem também ser considerados em projetos de plataformas de elevação, pela segurança e continuidade da transferência de movimento, são elevação por: porca e fuso, pinhão e cremalheira, e mecanismo hidráulico, (SANTO RODRIGUES, 2018). Esses mecanismos mencionados serão detalhados nas subseções a seguir.

2.2.3 Elevadores e seus Mecanismos de Elevação

As seguintes subseções citam os principais tipos de elevadores e explicam seus mecanismos de elevação.

2.2.3.1 Elevador Hidráulico

Segundo Boxtop (2020), equipamentos hidráulicos são movidos por um pistão hidráulico normalmente, mas não obrigatoriamente, localizado embaixo do equipamento. Esse sistema utiliza uma bomba hidráulica, um pistão dirigido por fluidos montados dentro de um cilindro. O cilindro é conectado a um sistema de bombeamento utilizando óleo ou algum outro fluido incompressível.

Esse sistema de elevação possui três partes: um tanque (reservatório do fluido), uma bomba (acionada por motor elétrico), e uma válvula entre o cilindro e o tanque. A bomba força o fluido do tanque movendo o cilindro. Quando a válvula é aberta, o fluido de pressurização escoar para o tanque de fluido. Quando a válvula está fechada, o fluido de pressurização não tem lugar para ir, exceto o cilindro.

Conforme o fluido entra no cilindro, ele empurra o pistão para cima, erguendo a carga. Quando essa carga se aproxima do andar correto, o sistema de comando envia um sinal

para o motor elétrico para, gradualmente, fechar a bomba. Com a bomba fechada, não há mais o fluido passando para o cilindro, mas o fluido que já está no cilindro não pode escapar, uma vez que a válvula ainda está fechada. O pistão descansa no fluido fazendo o carro permanecer onde está.

Para descer a carga, o sistema de comando de elevador envia um sinal para a válvula, que é acionada. Quando a válvula abre, o fluido que estava no cilindro pode fluir para o tanque de fluido. O peso do transportado e a carga empurram o pistão, que conduz o fluido ao tanque, fazendo com que a plataforma desça gradativamente. Para parar a plataforma em um andar mais baixo, o sistema de controle fecha a válvula de novo e assim sucessivamente. Uma ilustração de um elevador hidráulico pode ser vista na Figura 2.6

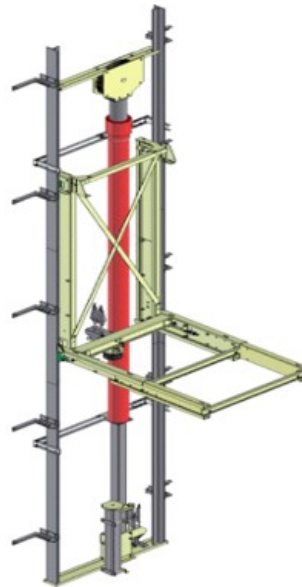


Figura 2.6 – Elevador hidráulico. Fonte: META (2020).

2.2.3.2 Elevador Tracionado por Cabo de Aço

Nesse tipo de sistema, o mecanismo é executado através do funcionamento síncrono de um sistema de roldanas, conectadas ao motor elétrico acima do eixo, pelas quais passa um cabo de aço.

Eles são usados para aplicações de altura média e alta e têm velocidades de deslocamento muito mais altas do que os elevadores hidráulicos. Um contrapeso torna os elevadores mais eficientes. Existem três principais modelos, os com redutor, sem redutor e tracionados diretamente com tambor, como classificados a seguir.

2.2.3.2.1 Máquinas com Redutores

Máquinas com redutor, conforme a Figura 2.7, são usadas em aplicações de baixa e média elevação. Esta concepção utiliza um conjunto de engrenagens para reduzir as rotações do motor de acionamento, para reduzir a velocidade de entrada e/ou aumentar o torque de maneira a se adequar à velocidade requerida da roldana de acionamento e do elevador, (velocidade de saída). Geralmente, este sistema utiliza engrenagens para obter velocidades entre 0,1 m/s e 2,5 m/s e são adequadas para cargas de até 50.000 kg (KNOWHOW, 2012).

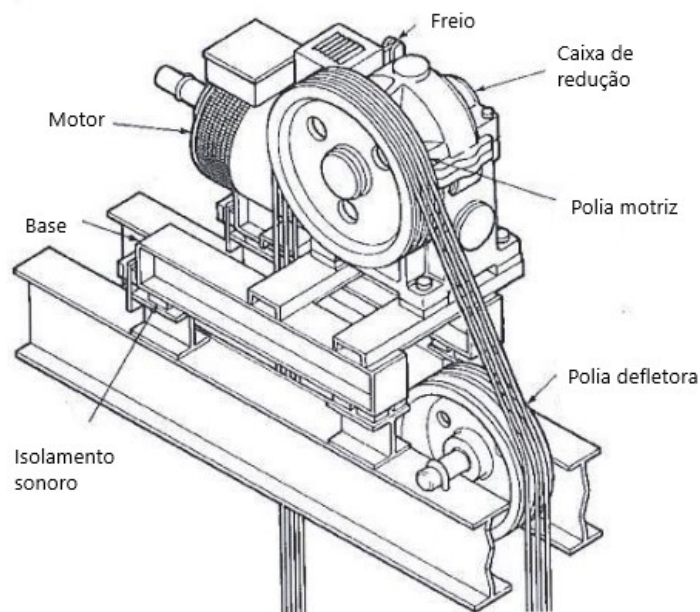


Figura 2.7 – Máquina com redutor. Fonte: Knowhow (2012).

2.2.3.2.2 Máquinas sem Redutores

Máquinas sem redutores são geralmente usadas em elevadores que trabalham em altas velocidades, variantes entre 2,5 m/s e 10 m/s. Também são usados em aplicações de grande elevação, em que o motor de acionamento e a roldana de transmissão são conectados em linha em um eixo comum, sem nenhuma unidade mecânica de redução.

2.2.3.2.3 Máquinas de Tração Direta com Tambor

As máquinas que utilizam sistema de tração com tambor possuem uma extremidade do cabo de aço fixada nele. O sistema permite o cabo enrolar ou desenrolar sobre a

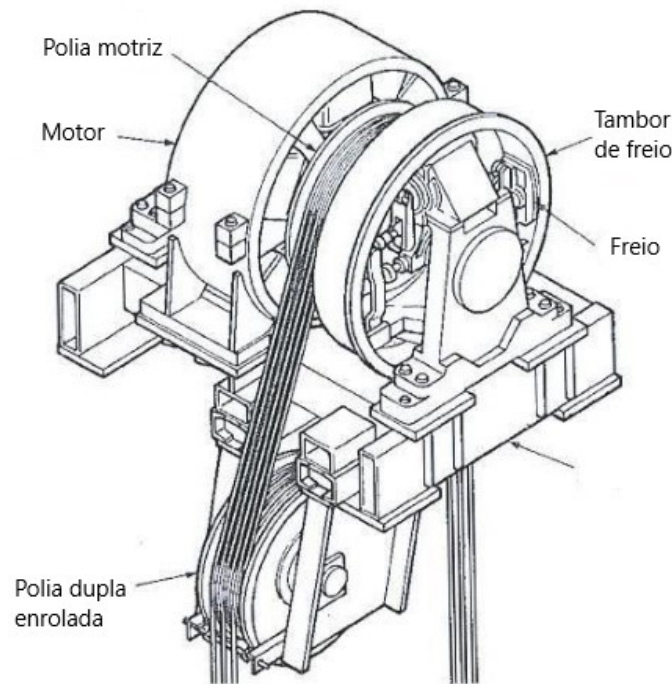


Figura 2.8 – Máquina sem redutor. Fonte: Knowhow (2012).

superfície externa de sua roldana, dependendo da direção de movimento da cabine. Neste modelo de elevação, a cabine é movida sem auxílio de contrapeso, e isso significa que é necessário um sistema mais robusto para elevar seu peso total em cada ciclo de operação.

2.2.3.3 Elevador Acionado por Fuso

Esse tipo de mecanismo de elevação, também chamado de parafuso de potência, consiste numa barra rosqueada externamente de passo contínuo chamado fuso ou parafuso de potência, que é usado em conjunto com uma porca acionadora, ou mancais rosqueados, buchas, ou porcas especiais, que também podem ser chamados de castanha (SANTO RODRIGUES, 2018). Ele pode ser representado pela Figura 2.9.

A porca é responsável pela transmissão do movimento de rotação do fuso a cada giro ou fração de giro para seu eixo transversal de forma linear vertical ou horizontalmente.

Segundo Generoso (2009), os elementos constituintes da rosca são especificados na Figura 2.10 e listados a seguir:

- p_{rosca} = passo (mm);
- i_{rosca} = Ângulo da hélice;

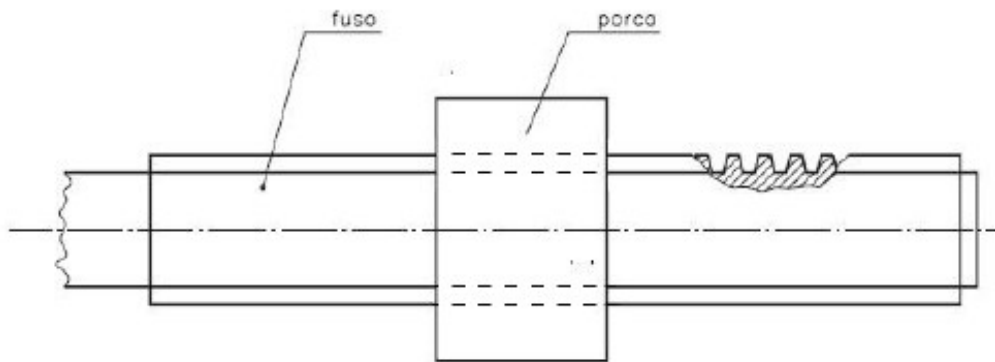


Figura 2.9 – Mecanismo fuso e porca. Fonte: Santo Rodrigues (2018).

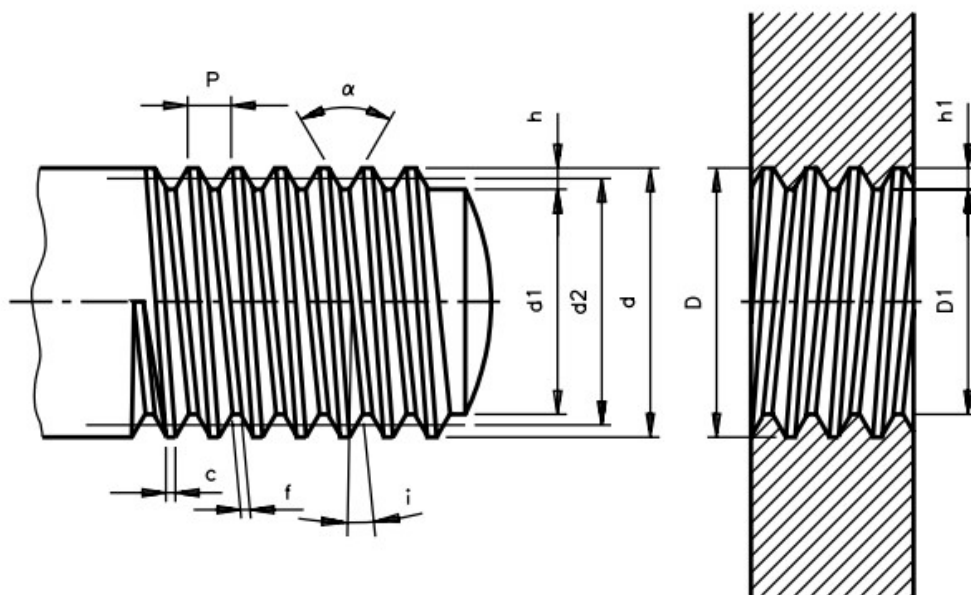


Figura 2.10 – Elementos da rosca. Fonte: Generoso (2009).

- $d1_{rosca}$ = Diâmetro externo (mm);
- c = Crista (mm);
- d_{int} = Diâmetro interno (mm);
- D_{porca} = Diâmetro do fundo da porca (mm);
- $d_{flanço}$ = Diâmetro do flanco (mm);
- $D1_{porca}$ = Diâmetro do furo da porca (mm);

- α_{filete} = Ângulo do filete;
- h_{1porca} = Altura do filete da porca (mm);
- f_{filete} = Fundo do filete (mm);
- $h_{parafuso}$ = Altura do filete do parafuso (mm);

A rosca de transmissão do fuso pode apresentar os seguintes tipos de perfil: o quadrado, trapezoidal e misto, mostrados na Figura 2.11, e possuem características as quais qualificam cada tipo de perfil para determinadas funções.

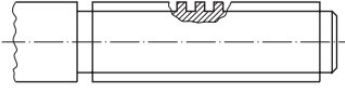
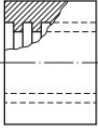
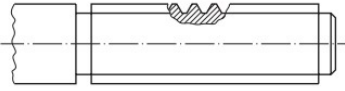


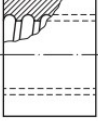
PERFIL	ROSCA EXTERNA	ROSCA INTERNA
Quadrado		
Trapezoidal		
Misto		

Figura 2.11 – Tipos de fuso. Fonte: Gordo (1998).

2.2.3.3.1 Fuso Quadrado

É utilizado na construção de roscas múltiplas, as quais possuem duas ou mais entradas desenvolvendo um avanço axial maior a cada volta completa do fuso. Os conjuntos fuso e porca com esse perfil de rosca são utilizados sempre que há necessidade de se obter maior impacto ou grande esforço em mecanismos como balancim e prensa (GORDO, 1998).

2.2.3.3.2 Fuso Trapezoidal

Resiste a grandes esforços durante a transmissão de movimento. Esse tipo de perfil é utilizado no conjunto fuso e porca de máquinas - ferramenta como tornos, plainas e fresadoras, preferido ao perfil de rosca quadrado por ser mais fácil de usinar e por permitir o uso de uma porca partida, que pode ser ajustada para compensar o desgaste (GORDO, 1998).

2.2.3.3.3 Fuso Misto

Muito usada na construção de conjuntos fuso e porca com esferas recirculantes, que são elementos de transmissão de alta eficiência, pois transformam o movimento de rotação em movimento linear e vice-versa. Um exemplo de aplicação é no mecanismo de acionamento de avanço do carro da fresadora ferramenteira CNC, que faz a transferência de força com o mínimo atrito (GORDO, 1998).

2.2.3.4 Elevador Acionado por Pinhão e Cremalheira

O elemento do conjunto apresentado na Figura 2.12 denominado coroa é responsável por realizar movimento angular. O outro elemento do conjunto, a cremalheira, um trilho dentado que também pode ser considerada uma roda de raio infinito, irá converter o movimento de rotação da engrenagem (coroa) em movimento longitudinal.

Esse sistema é acionado por um conjunto composto de no mínimo dois motofreios de velocidade para elevação da cabine, implicando, assim, a maior velocidade do mercado (33,5 m/min) e é equipado com um freio de emergência do tipo paraquedas. Há ainda a possibilidade de alteração na altura da torre e quantidade de cabines a qualquer momento, o que se torna uma grande vantagem quando se trata do uso temporário do elevador em certas localidades (MONTARTE, 2016).

Além disso, apresenta vantagens como o alto nível de segurança em sua operação e manutenção, simplicidade e facilidade na montagem, desmontagem, operação e manutenção, possibilidade de alteração na sua altura e quantidade de cabines a qualquer momento, estrutura modular e autoportante, poder ser utilizado em qualquer altura pela possibilidade de acréscimo de cremalheiras.

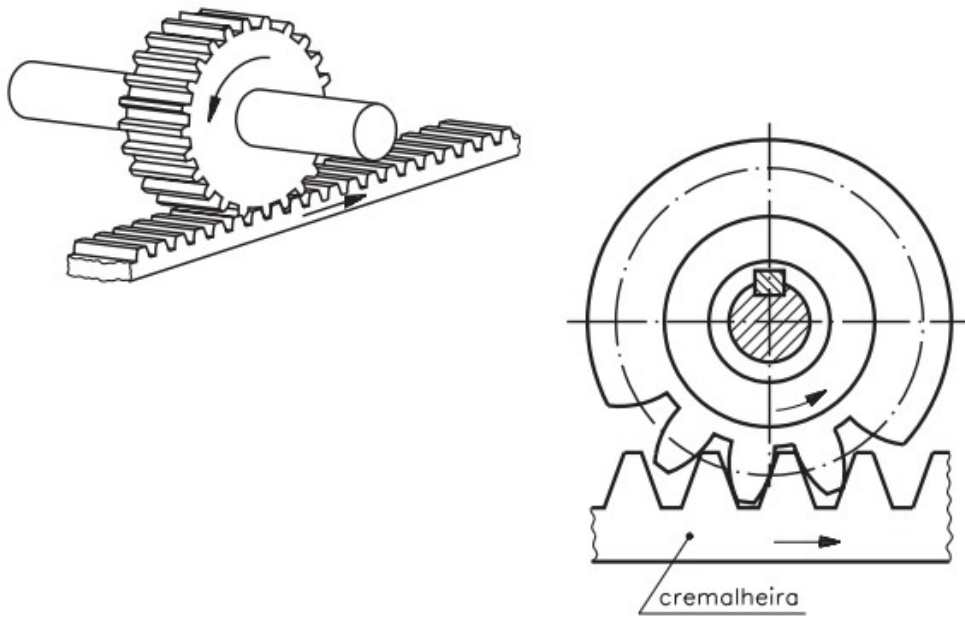


Figura 2.12 – Conjunto Pinhão-Cremalheira. Fonte: Gordo (1998).

Há ainda dois tipos de cremalheira, como pode ser visto na Figura 2.13, a cremalheira de dentes perpendiculares e cremalheira de dentes inclinados. As cremalheiras de dentes inclinados acoplam-se a rodas helicoidais e as de dentes perpendiculares engrenam-se com as rodas de dentes retos.

Segundo Norton (2010),

”Engrenagens de dentes helicoidais possuem um custo mais elevado do que as engrenagens de dentes retos, porém oferecem um número maior de vantagens. Elas emitem menos ruídos do que engrenagens de dentes retos, pois o contato entre seus dentes retos ocorre de uma vez só. O impacto repentino entre os dentes causa vibrações que geram um ruído característico de engrenagens de dentes retos, ausente em engrenagens de dentes helicoidais. Além disso, para engrenagens de mesmo diâmetro e módulo, uma engrenagem de dentes helicoidais é mais resistente do que uma engrenagem com dentes levemente mais espessos em um plano perpendicular ao eixo de rotação da engrenagem.”

Analisando o rendimento desses dois tipos de engrenagem, o qual é definido pela Equação 2.1, tem-se que a eficiência das engrenagens de dentes retos pode variar de 98% a 99%. As engrenagens com dentes helicoidais possuem um rendimento menor, diferença essa gerada pelo atrito de deslizamento ao longo do ângulo do dente. Elas também apresentam uma força de reação ao longo do eixo da engrenagem, que também não existe nas

engrenagens de dentes retos. Assim, um par de engrenagem de dentes helicoidais possui rendimento entre 96% e 98% e, quando há montagem cruzada deste tipo de engrenagem, o rendimento varia de 50% a 90%. O par de engrenagens de dentes helicoidais que possui contato linear entre os dentes pode suportar cargas a altas velocidades, o que não acontece com as engrenagens com montagem cruzada, a qual possui contatos pontuais e alto deslizamento que limita sua aplicação a situações de baixas cargas (NORTON, 2010).

$$n = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}} \quad (2.1)$$

- n_{fuso} = rendimento;
- $P_{saída}$ = Potência de saída (W);
- $P_{entrada}$ = Potência de entrada (W).

As engrenagens com dentes perpendiculares possuem certas vantagens como manufaturabilidade, eficiência, já que uma engrenagem reta é mais eficiente se comparada com engrenagens helicoidais do mesmo tamanho, eficiência das engrenagens, (potência do eixo de saída em relação à potência do eixo de entrada) e fácil montagem. Já as engrenagens helicoidais possuem vantagens como operação silenciosa, eixo não paralelo e força, quando comparadas com engrenagens retas do mesmo tamanho (INDUSTRIAL, 2021).

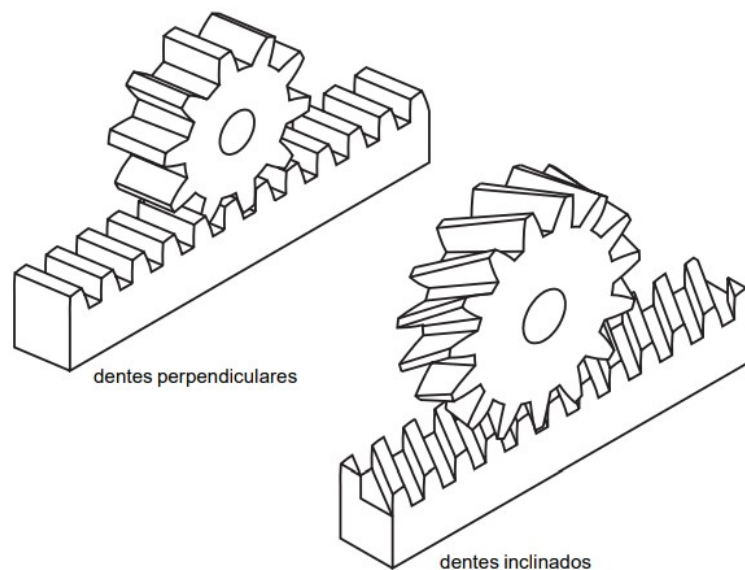


Figura 2.13 – Tipos de cremalheira. Fonte: (GORDO, 1998).

Por conseguinte, para um bom funcionamento do mecanismo pinhão e cremalheira, é necessário que as peças possuam dimensões de modo que haja um encaixe que forneça

a menor folga possível. Logo, os cálculos de projeto da cremalheira são desenvolvidos a partir das fórmulas de engrenagem da qual faz parte do seu conjunto.

2.2.4 Forças Atuantes em Parafusos

Segundo Bickford (2007), uma junta é chamada de cisalhante quando os membros dessa junta tentam deslizar entre si, e para isso é necessário cisalhar o parafuso. Se a linha de ação da força externa passa pelo centroide do grupo de parafusos, ela é chamada de carga de cisalhamento axial, como mostrado na Figura 2.14.

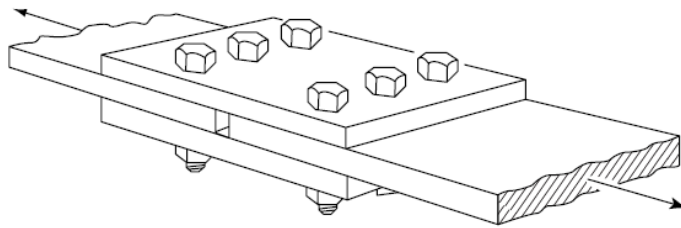


Figura 2.14 – Junta aparafusada carregada em cisalhamento. Fonte: Bickford (2007).

A Figura 2.15 mostra o diagrama que revela o comportamento de uma junta cisalhante frente a cargas cada vez maiores. Inicialmente, representado pela fase 1 do gráfico, há deformação elástica linear de membros articulados sob cargas relativamente leves, ou seja, qualquer deformação ocorrida nessa etapa, retorna à posição inicial caso sejam removidas as cargas.

À medida que a força aplicada aumenta, o atrito entre os membros da junta e a junta deslizam em rolamento, como mostrado na parte 2.

Cargas mais altas criam mais deformação elástica, desta vez tanto nos parafusos quanto nos membros da junta, demonstrada na parte 3.

Quando essas cargas aumentam ainda mais, as peças começam a se deformar plasticamente, ou seja, removidas as cargas, o material não retorna ao ponto original, o que é apresentado graficamente pela parte 4.

Por fim, na parte 5 da Figura 2.15, ocorre a falha. Tanto os parafusos cisalhados quanto os membros da junta estão livres para transladarem entre si.

Há ainda as juntas que suportam cargas trativas e cisalhantes ao mesmo tempo. A Equação 2.2 pode ser usada para determinar quanta tensão de cisalhamento uma junta

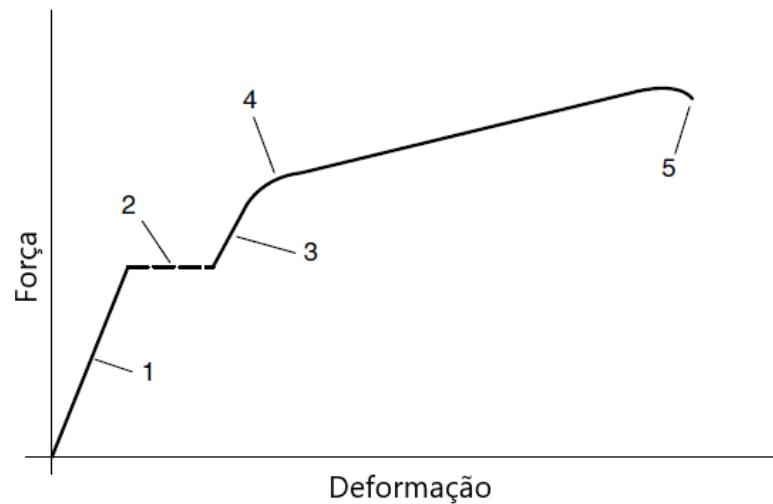


Figura 2.15 – Resposta de uma junta cisalhante a esforços cada vez maiores. Fonte: Bickford (2007).

pode suportar a partir da tensão normal obtida, ou vice-versa, e é dada por:

$$\frac{S_t^2}{G^2} + T_t^2, \quad (2.2)$$

em que:

- S_t = a razão entre a tensão de cisalhamento no(s) plano(s) de cisalhamento do parafuso e a resistência à tração final do parafuso;
- T_t = a razão entre a tensão de tração no parafuso e a resistência à tração final do parafuso;
- G = a razão entre a resistência ao cisalhamento e a resistência à tração do parafuso.

A Curva elíptica usada para relacionar a capacidade de tração de um parafuso com a tensão de cisalhamento imposta a um parafuso e vice-versa é dada pela Figura 2.16.

Segundo Beer et al. (2011), a tensão de cisalhamento é dada pela Equação 2.3, dada por:

$$\tau = \frac{P}{A}, \quad (2.3)$$

em que:

- τ = tensão cortante média (N/m^2);
- P = força cortante total (N);

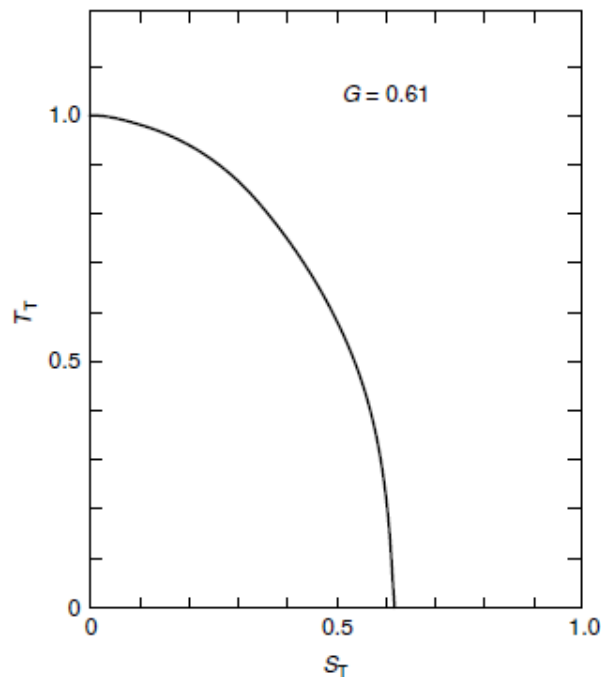


Figura 2.16 – Curva da relação entre a tensão de cisalhamento e a tensão normal em um parafuso. Fonte: Bickford (2007).

- A = área projetada da superfície cortante (m^2).

Os valores de ruptura e escoamento das tensões de cisalhamento podem ser obtidos a partir da Tabela 2.1, dada por:

Tabela 2.1 – Valores de Ruptura e Escoamento da Tensão de Cisalhamento de certos materiais.

	Ruptura	Escoamento
Aço até 0,3% C e Alumínio	$\tau_r = 0,6\sigma_r$	$\tau_e = 0,6\sigma_e$
Aço 0,3% - 0,7%C	$\tau_r = 0,75\sigma_r$	$\tau_e = 0,75\sigma_e$
Aço >0,7%	$\tau_r = \sigma_r$	$\tau_e = \sigma_e$
FoFo Cinzento	$\tau_r = (1 - 1,6)r$	-
FoFo Maleável	$\tau_r = (0,75 - 1,75)r$	-

2.2.5 Tipos de Solda

Segundo Editora (2018), existem diversas definições de diferentes autores, porém, a mais abrangente é dada pela Associação Americana de Soldagem (American Welding Society - AWS), que diz:

”Soldagem é a operação que visa obter a coalescência localizada produzida pelo aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a aplicação de pressão e de metal de adição.”

Existem vários tipos de soldagem para diferentes tipos de aplicação, dentre elas, tem-se:

- SMAW: esse tipo de solda gira em torno do eletrodo revestido. É realizado todo o cordão de solda de forma manual, utilizando-se do porta eletrodo para fixação do eletrodo em si.

O eletrodo, em conjunto com a garra negativa, e intermediados pela fonte de soldagem (máquina de solda inversora para eletrodo), formam o arco elétrico ao encostarem nos metais a serem unidos.

Esse tipo de solda é muito encontrado e utilizado em construções, tubulações, estruturas de aço carbono e na fabricação industrial para soldar ferro e aço em geral.

- MIG/MAG ou GMAW: esses processos se diferenciam pela forma de atuação do gás, que pode agir ou proteger e/ou agir junto à poça de fusão.

Esse processo consiste na utilização de uma fonte de solda, de um consumível em forma de arame e de um gás protegendo o ar atmosférico da poça de fusão para a realização do cordão de solda. A forma pela qual existe a transferência do metal arame pode ser de 04 formas: globular, curto-circuito, spray e spray pulsado.

- TIG: regularmente utilizada em inox ou metais não ferrosos, consiste na abertura de arco elétrico entre um eletrodo de tungstênio e a peça a ser soldada.

Normalmente encontrado de forma manual, pode ser também semi-automatizado e robotizado. É um processo mais demorado que o eletrodo revestido, o MIG/MAG e o arame tubular.

No processo de soldagem TIG também há a presença do gás de proteção, que evita a contaminação da poça de fusão com o ar atmosférico.

- Arco Submerso: utilizado principalmente para superfícies planas, o material granular é depositado na frente da solda e cobre a região a ser soldada. O eletrodo consumível é protegido pelo filme que é criado pelo material granular aquecido. Assim, é possível obter uma solda com qualidade superior quando comparada aos processos já citados.

- PAW: a soldagem a arco de plasma consiste na utilização de corrente elétrica, junto a gases de proteção, a fim de permitir extrema precisão quando trata de soldar pequenas áreas. A fusão dos metais ocorre por um arco constricto formado pelo eletrodo de tungstênio e a peça de trabalho, protegidos por gás normalmente argônio.

Diz-se arco constricto em razão do diâmetro do mesmo ser limitado por um bocal, aumentando o calor. Por essa razão, este método é adequado para aquecer temperaturas muito extremas do metal, o que resulta em soldas mais profundas e fortes.

- Soldagem por Resistência: utiliza-se uma corrente que passa pela superfície causando a soldagem. O efeito é maior com o aumento da pressão externa entre as superfícies.

A soldagem da superfície depende também da compatibilidade dos materiais utilizados. Materiais que não se misturam ao serem fundidos não podem ser utilizados. O material de adição (solda) deve ter características semelhantes aos dos materiais que estará unindo, já que não se deseja uma solda nem mais forte e nem mais fraca que os materiais originais.

2.2.6 Controle de Motores Elétricos

Segundo DO NORTE (2009), quando se trata do controle de motores elétricos, existem algumas funções principais desse controle que necessitam de atenção, como, por exemplo:

- Partida: O início do giro do motor inicia-se quando o momento de carga a ser vencido, quando parado, for menor do que seu conjugado de partida.
- Parada: O desligamento do motor da rede é efetuada através de um relé impedindo-o de partir na direção contrária. No caso de motores síncronos emprega-se frenagem dinâmica.
- Sentido de Rotação: Grande parte dos motores, com a exceção de alguns, com monofásicos, os de pólo sombreado e o de repulsão, podem ser empregados nos dois sentidos de rotação dependendo apenas de um controle adequado;
- Regulação da Velocidade: Normalmente, os motores C.A são máquinas de velocidade constante. Entretanto, há a possibilidade de ligar as bobinas do estator de um motor de indução, de modo que seja duplicado o numero de pólos e, desta forma, reduzir a velocidade à metade, onde os estatores podem ser construídos com

dois enrolamentos independentes, calculados para o número de pólos que se deseja, conseguindo-o por meio de pólos reversíveis (variação de pólos) e com reduzido número de conexões variar a velocidade síncrona do motor.

Outra maneira de regulação da velocidade dos motores de C.A., que permite obter no eixo uma velocidade que pode ir de zero até o dobro da velocidade síncrona, é pelo conhecido sistema do rotor com comutador.

Há também o controle da velocidade nos motores de indução é através do inversor de frequência, que permite o controle do motor CA variando a frequência, mas também realiza a variação da tensão de saída para que seja respeitada a característica V/F do motor.

- Limitação da Corrente de Partida: Normalmente, procura-se arrancar um motor a plena tensão a fim de se aproveitar ao máximo o binário de partida. Quando o arranque a plena tensão de um motor elétrico provoca uma queda de tensão superior à máxima admissível, deve-se recorrer a um artifício de partida com tensão reduzida, tendo porém o cuidado de verificar se o torque é suficiente para acionar a carga.

Há dois métodos para limitar a tensão:

- Fornecer corrente à tensão normal, fazendo-se com que o motor, temporariamente, seja conectado à rede, com o enrolamento para uma tensão superior, empregando-se o sistema de partida em estrela-triângulo.
- Fornecer corrente à tensão normal, fazendo-se com que o motor, temporariamente, seja conectado à rede, com o enrolamento para uma tensão superior, empregando-se o sistema de partida em estrela-triângulo.
- Proteção Mecânica: Os motores devem ser protegidos tanto para a proteção dos usuários como contra influências prejudiciais externas para o próprio motor, devendo obedecer aos requisitos de segurança, prevenção de acidentes e incêndios.
- Proteção Elétrica. Os motores, quando alimentados, estão sempre sujeitos a variações elétricas. É importante, logo, realizar a proteção do mesmo. Os riscos aos quais os motores estão sujeitos são dados por:

- curto-circuito;

- sobrecargas;
- baixa tensão;
- fase aberta;
- reversão de fase;
- defeitos internos.

Uma última característica importante do motor de indução a ser citada é a sua placa de identificação , que traz algumas informações importantes, como:

- → CV: Potência mecânica do motor em cv. É a potência que o motor pode fornecer, dentro de suas características nominais;
- → Ip/In: Relação entre as correntes de partida e nominal;
- → Hz: Frequência da tensão de operação do motor;
- → RPM: Velocidade do motor na frequência nominal de operação;
- → V: Tensão de alimentação;
- → A: Corrente que o motor absorve da rede quando funciona à potência nominal, sob tensão e frequência nominais;
- → F.S: Fator de serviço: Fator que aplicado à potência nominal, indica a carga permissível que pode ser aplicada continuamente ao motor, sob condições especificadas.

2.2.7 Inversor de Frequência

O inversor de frequência variável é um dispositivo que tem a função de acionar um motor elétrico e ao mesmo tempo variar a frequência e a tensão que é fornecida ao motor com o objetivo de controlar a sua velocidade e potência consumida, (BERTULUCCI, 2022).

Há outros nomes para esse controlador no mercado, como: drive de velocidade variável, drive ajustável da velocidade, drive de frequência ajustável, drive CA (corrente alternada), microdrive ou simplesmente inversor.

Quando se trata de motores elétricos de indução ou corrente alternada, a frequência, medida em Hertz está diretamente relacionada com a rotação de um motor, já que:

$$n_{rpm} = \frac{120 \times f}{p}, \quad (2.4)$$

em que:

- n_{rpm} = rotação do motor (rpm);
- f = frequência (Hz);
- p = número de polos.

Assim, quanto maior a frequência, maior a velocidade de rotação do motor. No Brasil, normalmente o fornecimento de energia alternada é feito com uma frequência de 60Hz e os motores normalmente possuem rotação nominal de 3600 RPM para essa frequência.

No entanto, se uma aplicação qualquer não requerer um motor elétrico funcionando na velocidade cheia de 3600 RPM, o que é muito comum, há três alternativas:

- utilizar um redutor mecânico;
- utilizar um inversor de frequência;
- utilizar ambos.

No caso de utilizar o inversor de frequência, ele poderá ser configurado para gerar uma rampa de aceleração, reduzindo ou aumentando a frequência e a tensão máxima para que o motor opere conforme os requisitos.

Uma característica importante do inversor é que à medida que os requisitos de velocidade do motor em uma determinada aplicação mudam, o inversor de frequência pode simplesmente aumentar ou diminuir a velocidade do motor, a fim de atender as novas exigências de operação, o que não seria possível utilizando apenas um redutor mecânico.

Dentre as vantagens de utilizar esse dispositivo, tem-se:

- redução do consumo de energia e dos custos de energia;
- aumento da produção com um controle de processo adequado;
- aumento do conforto dos usuários em determinadas aplicações;
- aumento vida útil do equipamento e redução da manutenção.



Figura 2.17 – Inversor de Frequência CFW300. Fonte: (WEG, 2008).

2.2.8 Comandos Elétricos

Quando se trata de comando elétricos, existem diversos tipos de dispositivos, e conhecê-los é de grande importância dependendo do processo em que serão utilizados. Dentre os principais componentes, pode-se citar as botoeiras, relés, relés temporizadores, contadores, fusíveis, disjuntores e relés térmicos.

2.2.8.0.1 Botoeiras

Segundo Elétrica (2022a), os botões, botoeiras e chaves seletoras fazem parte da interface do usuário com os acionamentos e funções de uma máquina ou equipamento elétrico. Em comandos elétricos, as botoeiras têm como função estabelecer ou interromper a passagem de corrente elétrica em linhas de um circuito de comando, a partir de um acionamento manual, local ou à distância.

Dentre os principais modelos, existem as botoeiras com retenção, botoeira sem retenção ou botão pulsante, botoeira liga e desliga conjugado, botão de emergência e botoeira com chave.

As cores dos botões têm uma função importante para a segurança dos profissionais que manipulam máquinas e equipamentos elétricos. As normas NR26 e NR12 especificaram cores para que houvesse um padrão de trabalho, onde qualquer profissional pudesse identificar o fluxo de funcionamento de uma máquina ou sistema apenas observando as cores dos botões que estivessem ligados, (ELÉTRICA, 2022a).

Segundo as normas NR26 e NR12 as cores para botões são:

- Verde: Arranque, liga e partida.

- Preto: Arranque, liga e partida.
- Vermelho: Parar, desligar, botão de emergência.
- Amarelo: Inverter o sentido, cancelar operação, cancelar condição perigosa.
- Azul: Qualquer função diferente das anteriores.
- Branco: Qualquer função diferente das anteriores.

Em relação aos contatos, tem-se:

- Contatos NA: (sigla de normalmente aberto em português) ou NO (sigla de normally open em inglês). Em estado de repouso, estes contatos ficam na posição aberta, o que impede a passagem de corrente elétrica. Porém, quando são acionados eles se fecham, permitindo a passagem de corrente elétrica.
- Contatos NF: (sigla de normalmente fechado em português) ou NC (sigla de normally close em inglês). No estado de repouso, estes contatos ficam na posição fechada, o que permite a passagem de corrente elétrica. Porém, quando são acionados eles se abrem, impedindo a passagem de corrente elétrica.
- Contatos Comutadores: Possuem um contato comum em um lado e no lado oposto dois contatos de saída, um NA e outro NF. Isto permite uma comutação entre as duas saídas, selecionando linhas de comandos distintas em um circuito elétrico.



Figura 2.18 – Botão de Emergência. Fonte: (ELÉTRICA, 2022a)

2.2.8.0.2 Relés

Os relés são os elementos que permitem a combinação de lógicas no comando, bem como a separação dos circuitos de potência e comando. Assim como o contator, o relé é um componente eletromecânico, ou seja, ele conta com uma parte mecânica de contato e o acionamento ocorre através da corrente elétrica em uma bobina. Os componentes de um relé eletromecânico, que são:

- bobina;
- induzido;
- núcleo;
- contatos da bobina;
- contatos do relé.

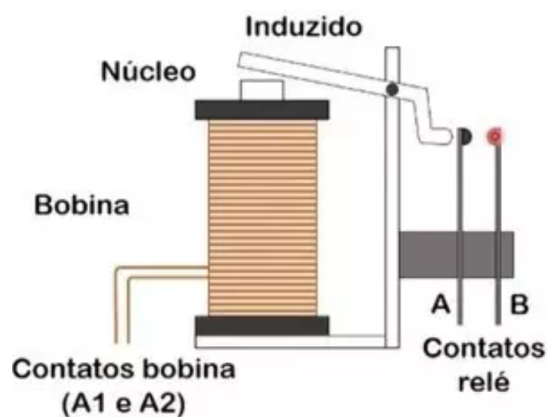


Figura 2.19 – Componentes de um relé, (ELÉTRICA, 2022b)

2.2.8.0.3 Relés Temporizadores

Os Relés temporizadores são dispositivos eletrônicos que permitem, em função de tempos ajustados, comutar um sinal de saída de acordo com a sua função, (DO NORTE, 2009).

Com faixas de temporização, os relés podem ser ajustados de 0,3 segundos a 30 minutos, com elevada confiabilidade e precisão. Quanto ao tipo de atuação os relés podem ser com:

- Retardado na energização – Esse tipo atua suas chaves um tempo após a ligação, ou energização do relé e as retorna ao repouso imediatamente após seu desligamento ou desenergização.
- Retardado na desenergização – Este atua as chaves imediatamente na ativação, porém estas chaves só retornam ao repouso um tempo após a desativação.

2.2.8.0.4 Contatores

Os contatores responsáveis por realizar manobras mecânicas, são acionados eletromagneticamente, e construídos para uma elevada frequência de operação, cujo arco elétrico é extinto no ar, sem afetar o seu funcionamento, (DO NORTE, 2009).

Ele consiste basicamente de um núcleo magnético (bipartido, uma parte móvel e a outra fixa) e uma bobina que, quando alimentada por um circuito elétrico, forma um campo magnético que, concentrando-se na parte fixa do núcleo, atrai a parte móvel.

De modo geral, os contatores podem ser classificados como: Contatores de Potência ou Contatores Auxiliares.

2.2.8.0.5 Fusíveis

Os fusíveis são dispositivos de proteção usados com o objetivo de limitar a corrente de um circuito, proporcionando sua interrupção em casos de curtos-circuitos ou sobrecargas de longa duração. O curto-circuito é uma ligação, praticamente sem resistência, entre condutores sob tensão ou, pode ser também, uma ligação intencional ou acidental entre dois pontos de um sistema ou equipamento elétrico, ou de um componente, através de uma impedância desprezível, (DO NORTE, 2009).

Nessas condições, através de uma resistência transitória desprezível, a corrente assume um valor muitas vezes maior do que a corrente de operação. Assim sendo, o equipamento e parte da instalação poderão sofrer um esforço térmico (corrente suportável de curta duração) ou eletrodinâmico (corrente nominal de impulso) excessivos.

2.2.8.0.6 Disjuntores

Os disjuntores são dispositivos magneto-térmicos para proteção de instalações e equipamentos elétricos contra sobrecarga e curto-circuito. Eles são equipados com um dis-

parador térmico (bimetal) que atua nas situações de sobrecarga, e com um disparador eletromagnético que atua nos casos de curto-circuito, (DO NORTE, 2009).

Os dois sistemas são individualmente ajustados para valores adequados à proteção de cargas específicas, tais como circuitos de comando e pequenos motores. Alguns disjuntores possuem disparo livre, ou seja, se, por exemplo, o acionador for travado na posição “ligado”, internamente o disjuntor dispara.

Por causa de um dispositivo de corte ultra-rápido, a separação dos contatos efetua-se em menos de 1 ms. O arco elétrico é fortemente reduzido por câmaras de extinção de construção especial onde se interrompe a corrente de curto-circuito alternada antes de sua passagem pelo zero.

2.2.8.0.7 Relés Térmicos

Os relés térmicos são dispositivos construídos para proteger, controlar ou comandar um circuito elétrico, atuando sempre pelo efeito térmico provocado pela corrente elétrica.

Eles possuem como elemento básico o bimetal. Esse elemento, é constituído por lâminas finas, sobrepostas e soldadas. Os dois materiais apresentam coeficientes de dilatação diferentes, dessa forma, um dos metais se alonga mais do que o outro quando aquecidos. Por estarem rigidamente unidos e fixados, numa das extremidades, o metal de menor coeficiente de dilatação provoca um encurvamento do conjunto para o seu lado, afastando o conjunto de um ponto determinado. Esse movimento é usado para diversos fins, como disparar um gatilho e abrir um contato elétrico, (DO NORTE, 2009).

2.2.8.0.8 Chave de Fim de Curso

A chave fim de curso, que também pode ser chamada como sensor fim de curso, interruptor fim de curso ou *microswitch*, é um dispositivo eletromecânico o qual consegue determinar quando um motor, ou outra estrutura ligada ao seu eixo, chegou ao fim do seu campo de acionamento, ou seja, chegou ao fim do seu curso.

Ela consegue ser atuada por uma mínima força externa, possui baixo custo de aquisição e consegue desempenhar a sua função em um circuito várias vezes. Em média, o número de atuações de uma chave fim de curso ultrapassa o valor de 1 milhão de ciclos, podendo chegar em até 10 milhões de ciclos (MATTEDE, 2012)

Existem diversos modelos de chave fim de curso que podem ser instalados em diferentes posições de acionamento (vertical, horizontal ou diagonal). A chave fim de curso tem grande aplicação na indústria, em situações que exigem indicar o posicionamento, monitorar ou detectar partes e peças de uma máquina ou processo.

Na robótica, a chave fim de curso tem como aplicação identificar degraus, paredes ou até mesmo como medida de segurança, impedindo que o motor seja forçado.

Dentre as aplicações mais comuns das chaves fim de curso estão:

- Inversão de polaridade: o fim de curso, quando acionado, inverte a polaridade do atuador. Um exemplo disso é o sistema do portão eletrônico, que ao chegar ao fim do percurso, aciona o fim de curso o qual participa da inversão de sentido de giro do motor.
- Circuito de tempo: ao ser acionado, o fim de curso inicia a contagem de tempo para uma futura ação. Um exemplo disso são os portões eletrônicos com temporizador. Quando o portão chega ao fim do percurso, o fim de curso é acionado de modo que o portão fique um tempo determinado aberto e depois se fecha.
- Mudança de estado ou função: quando acionado, a chave de fim de curso muda o estado do sistema, de ligado para desligado, ou de desligado para ligado. Um exemplo desse mecanismo ocorre quando a porta do micro-ondas é aberta durante o seu funcionamento, que é interrompido por questões de segurança.

2.2.8.1 Diagramas Elétricos

Existem basicamente quatro tipos de diagramas elétricos, sendo eles o multifilar, funcional, unifilar e trifilar.

Com o intuito de realizar um projeto, é preciso recolher o máximo de informações possíveis, como o tipo de carga e atuadores a serem utilizados, finalidade do circuito elétrico, tensão de rede fornecida e materiais. Nesse sentido, para obter um diagrama referente a comandos elétricos, são necessários dois tipos de diagramas, o de cargas e o de comando, como citados nas seções a seguir.

Diagrama de Carga

O diagrama de cargas é responsável por conter todas as ligações e informações referentes às cargas, as quais são usualmente representadas pelos motores.

As informações que deverão ser contidas nesse diagrama são indicações dos barramentos de alimentação (L1, L2, L3, N, PE), nível de tensão, capacidade de corrente dos barramentos, informações sobre os tipos de componentes de proteção, contadores e informações sobre características das cargas.

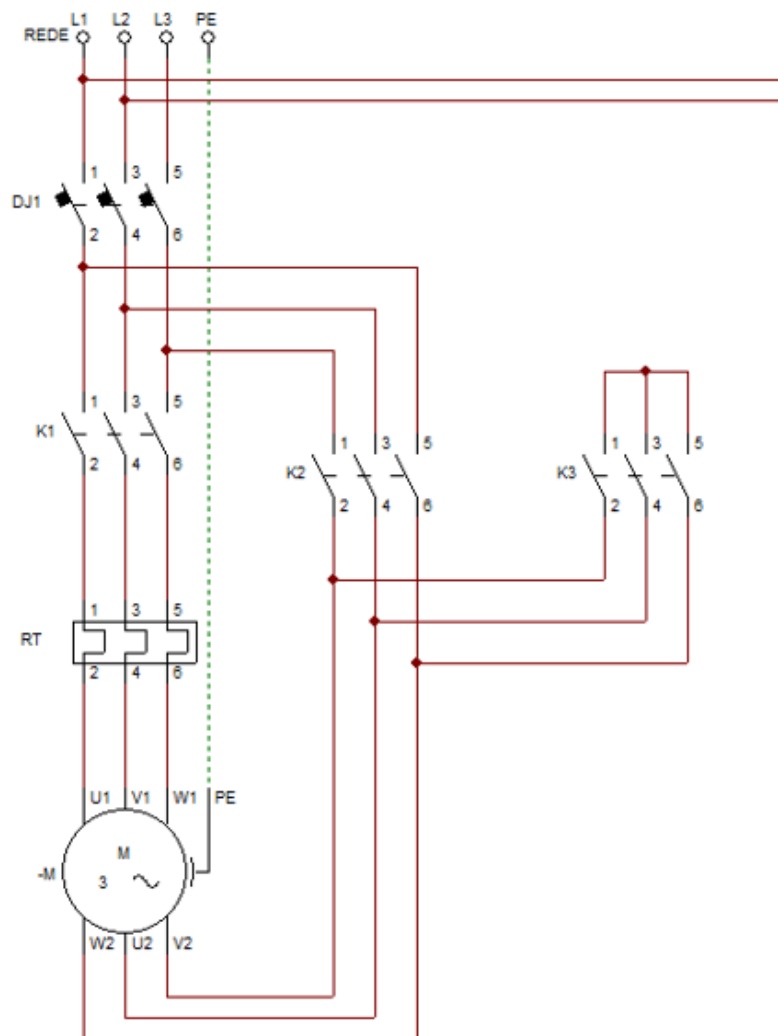


Figura 2.20 – Acionamento e Proteção de um Diagrama Trifilar de um Acionamento de um Motor Trifásico.

Diagrama de Comando

Os diagramas de comando, são responsáveis por conter informações dos equipamentos de acionamento das cargas e/ou motores, tais como: se serão temporizados, se serão

acionados por contatores, além de conter informações como proteção, botoeiras, sinalizadores, fonte de energia (L1 L2 L3), contatos, se serão normalmente fechados ou aberto, temporizadores, CLP, soft starter, inversores de frequência se for o caso, relés de proteção e bornes de entrada e saída.

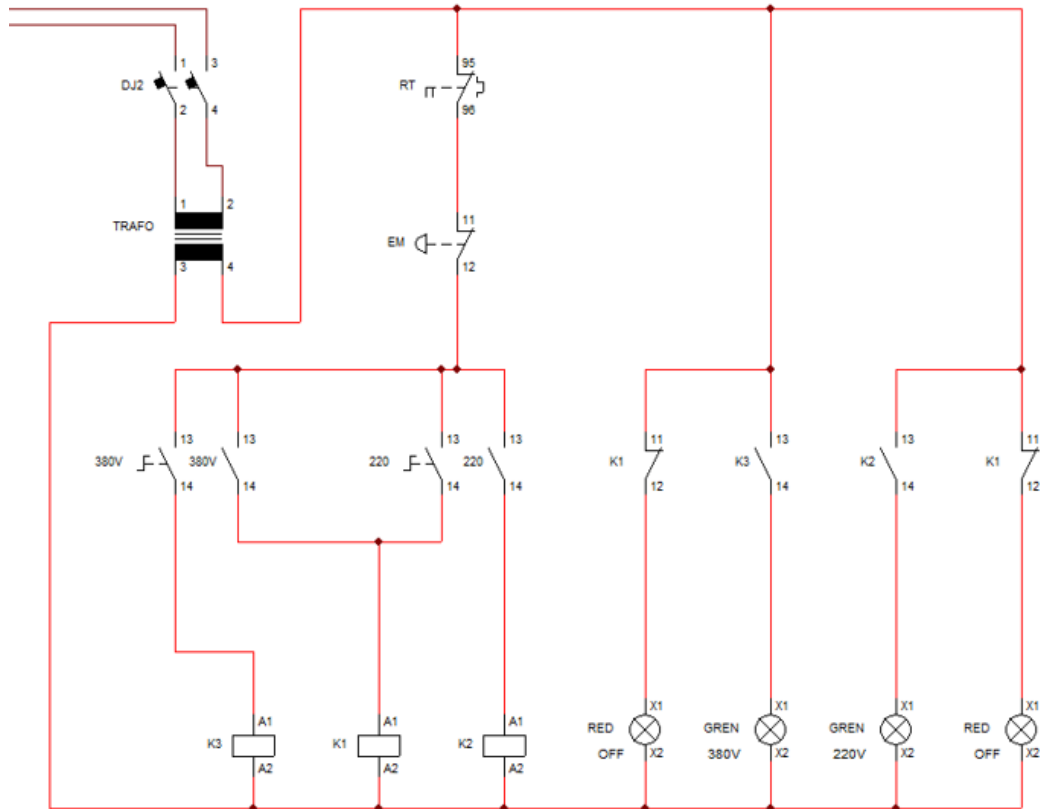


Figura 2.21 – Comando de um Diagrama Trifilar de um Acionamento de um Motor Trifásico.

Metodologia

Neste capítulo, são apresentados os materiais e métodos utilizados para conclusão dos objetivos propostos no presente trabalho. Inicialmente foi realizado um estudo acerca dos sistemas de elevação vertical concomitantemente ao estudo do espaço físico para o qual será projetado. Com isso, foi escolhido um sistema que atendesse à demanda analisando parâmetros como a segurança, manutenção e preço. Posteriormente, foi feito o dimensionamento da plataforma de elevação, definindo componentes, dimensões e materiais, de modo que fosse possível realizar orçamentos.

Em seguida, a estrutura mecânica foi simulada utilizando o *software* SOLIDWORKS para validar a montagem e permitir realizar orçamentos da construção mecânica. Foram analisados, também, os esforços, com usuários, na plataforma de elevação e em seus componentes, através de modelos encontrados na literatura, para garantir o conforto ergonômico e segurança que as normas técnicas exigem.

No que tange à eletrônica do trabalho, foram projetados o circuito de acionamento, de potência, de proteção e o de lógica de fim de curso, utilizando o *software* CAdE SIMU, de modo que fosse possível simular o acionamento do motor de acordo com a demanda do projeto. Foram feitas especificações dos componentes necessário e, por fim, foram feitos orçamentos dos componentes utilizados. Em relação ao projeto civil proposto, o mesmo foi delegado ao engenheiro civil do campus, uma vez que não coube na execução do cronograma proposto referente ao TCC 2.

Ressalta-se que, na metodologia utilizada, há retroalimentações em diversos pontos, uma vez que será verificada a necessidade de alteração de qualquer parâmetro ou variável de projeto de modo a torná-lo mais adequado ao que foi proposto, o que foi motivo

da eliminação das partes referentes ao projeto civil do trabalho em questão, citadas em objetivos específicos, fluxograma e cronograma referente ao TCC 2. Essas realimentações, juntamente com toda a metodologia do projeto, podem ser observadas na Figura 3.1.

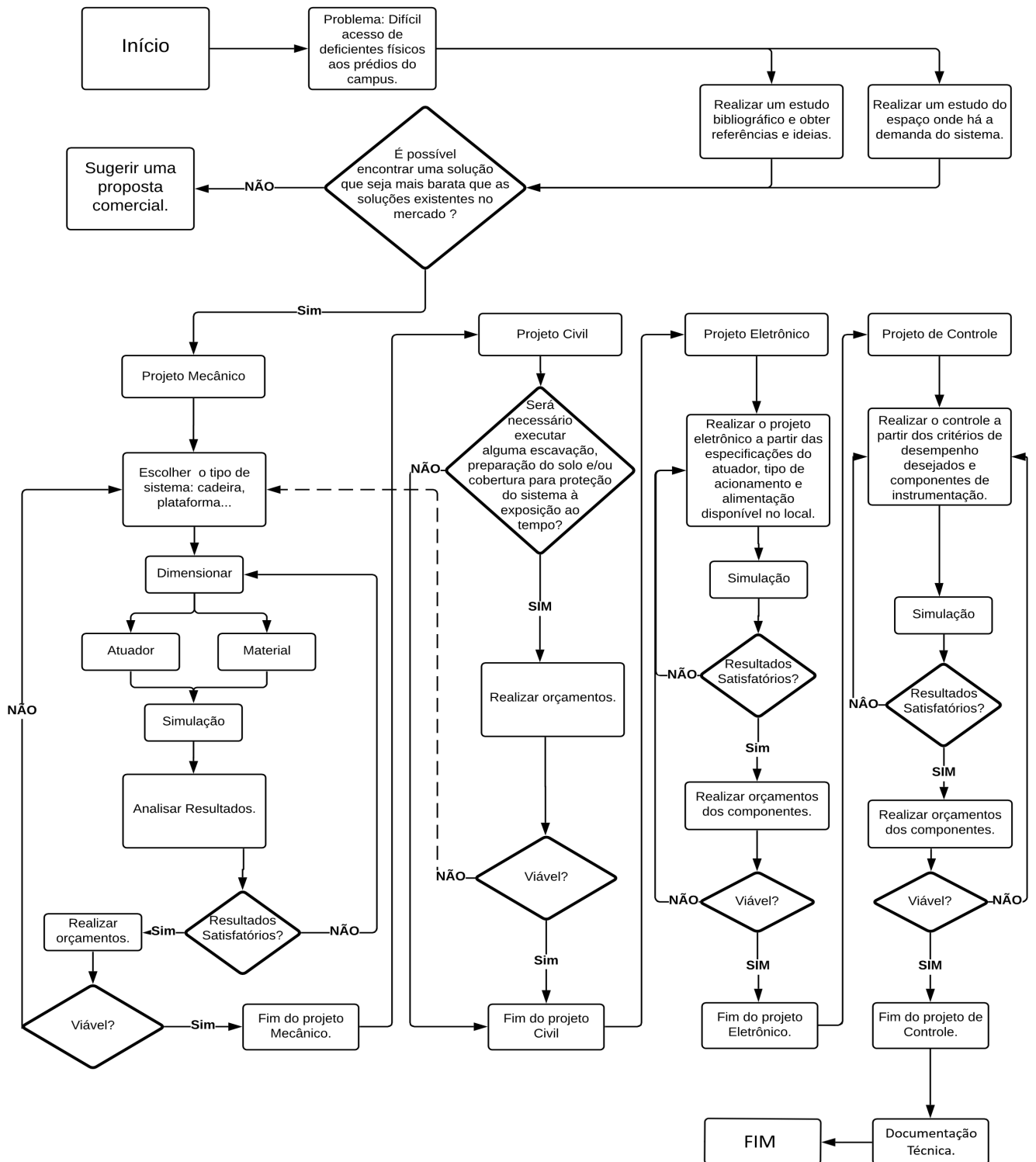


Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia do projeto.

3.1 Escolha do Mecanismo de Elevação

Para realizar a escolha adequada do mecanismo de elevação, considerou-se vários parâmetros como cargas manuseadas, capacidade horária requerida por unidade, direção, sentido e distância do percurso, espécie e propriedades de cargas, condições específicas do local e uma pesquisa dos principais tipos de mecanismos de elevação disponíveis no mercado.

A pesquisa foi feita realizando o pedido de orçamento de várias empresas o qual inclui a descrição do produto, preço de acordo com as especificidades do sistema, opções tecnológicas extras, material e sistemas de segurança. A Tabela 3.1 resume os orçamentos feitos.

Tabela 3.1 – Orçamentos das plataformas elevatórias.

Empresa	Sistema de Elevação	Preço do Produto	Portas automatizadas	Enclausuramento
Marchi Elevadores	Fuso e porca	R\$16.500,00	Não	Não
Elevador para Cadeirantes	Fuso e porca	R\$19.500,00	Sim	Não
Mobilità Elevador	Fuso e porca	R\$22.600,00	Sim	Não
Elevador para Casa	Fuso e porca	R\$21.750,00	Sim	Não
Teclev	Fuso e porca	R\$31.000,00	Sim	Sim
Ottis	Fuso e porca	R\$60.200,00	Sim	Sim
Montele	Fuso e porca	R\$65.000,00	Sim	Sim

Analisando a tabela, observa-se que todos utilizam o sistema de fuso e porca como mecanismo de elevação, o que se torna uma observação pertinente quando se trata da probabilidade de disponibilidade de peças para aquisição ou substituição quando houver demanda da manutenção.

Os mecanismos que utilizam cabo de aço possuem uma desvantagem quando se trata de sistema de segurança, uma vez que possuem um custo elevado devido à sua complexidade, já que demandam freio e o sensor que detecta a falta de tração nos cabos. Esses sistemas também necessitam de manutenção e troca periódica dos cabos de aço devido à oxidação ou desgaste por ausência, total ou parcial, de lubrificação periódica nas manutenções preventivas, assim como outros subsistemas que também necessitam de manutenção, como o de redução, quando há, ou até mesmo o de frenagem.

Já os sistemas de fuso possuem vantagens quando se trata, por exemplo, do sistema

de segurança. Em caso de desabastecimento de energia, não há movimentação vertical devido ao travamento automático pelo equilíbrio de forças gerado pela gravidade e atrito fornecido pelo tipo de sistema fuso, quadrado ou trapezoidal, e porca, ou seja, os usuários não correrão risco de queda. Outra vantagem é revelada quando é analisado o número de componentes constituintes do sistema de transmissão, o qual é menor quando comparado com os números dos outros sistemas.

Analisando então a carga que precisa ser levantada pela plataforma, considera-se o peso da própria plataforma acrescido de uma faixa que abrange os diferentes pesos dos usuários, o uso de um mecanismo hidráulico seria desnecessário por suportar uma carga muito maior do que a requerida.

Assim, analisando o contexto no qual a plataforma será inserida, concluiu-se que o sistema de elevação mais adequado ao projeto seja o de fuso e porca.

3.2 Escolha do Perfil da Rosca do Fuso

Para dimensionar o fuso, foi necessário realizar a escolha do perfil da rosca a ser utilizada. Como visto na Figura 2.11, os principais tipos são classificados em perfil quadrado, triangular e misto, cujas funções são especificadas no Capítulo 2, na Subsubseção 2.2.3.3.

Analisando as vantagens e desvantagens de acordo com o objetivo do projeto, concluiu-se que o perfil mais apropriado é o trapezoidal, uma vez que resiste a grandes esforços durante a transmissão do movimento.

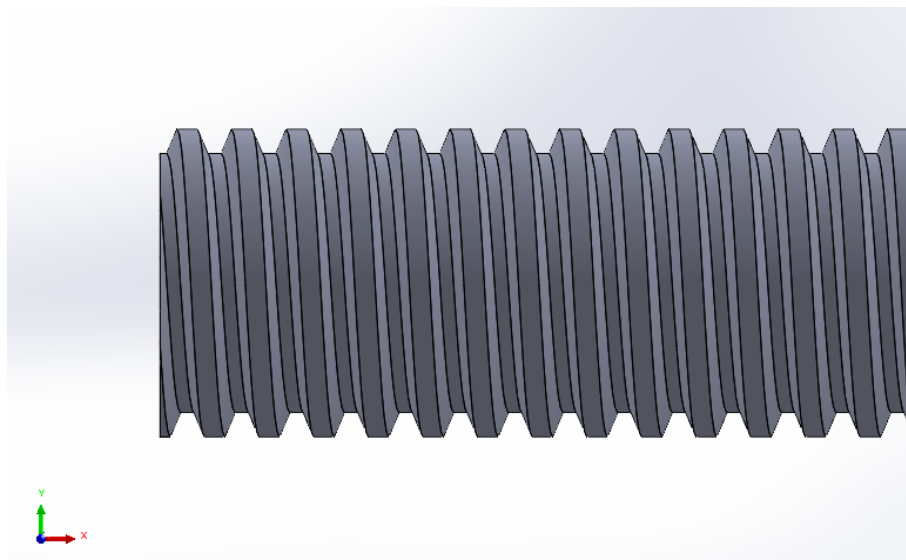


Figura 3.2 – Fuso com rosca com perfil trapezoidal.

3.3 Materiais

Para o desenvolvimento do projeto após a escolha do mecanismo de elevação, foram necessários, alguns materiais como:

- Uma plataforma para sustentar os usuários;
- Um fuso com rosca para transformar o movimento rotacional em translacional;
- Uma porca acionadora para acoplar a plataforma aos fusos;
- Uma luva que sustentará a porca acionadora para aumentar a área de solda.
- Um atuador para rotacionar o fuso;
- Duas hastes guias com perfil U para evitar a rotação da plataforma;
- Dois mancais;
- Duas roldanas de nylon;
- Parafusos para fixação;
- Uma estrutura para enclausuramento do sistema feita de tubos de aço carbono com perfil retangular e vidro temperado;
- Componentes para circuitos de acionamento e proteção;
- Componentes de instrumentação para execução da lógica dos projetos eletrônicos;
- *Software* de simulação para a concepção geral do projeto, análise de esforços e simulação dos projetos eletrônicos.

3.4 Concepção Geral do Projeto

A presente seção tem como objetivo apresentar um esboço do projeto. Percebe-se que a Figura 3.3 ilustra o sistema desenvolvido com a presença dos componentes citados na seção anterior.

Como melhor apresentado na Figura 3.4, o sistema de elevação é composto por um fuso com perfil trapezoidal - localizado paralelamente entre as duas hastes guias, as quais

possuem perfil U - uma porca acionadora, acoplada a uma luva que será fixada na base da plataforma, quatro mancais, sendo dois fixados na base da plataforma e dois na proteção entre o usuário e o sistema de elevação, e quatro roldanas de nylon presas aos mancais individualmente. As duas hastes guias são responsáveis por reforçar o mesmo e evitar que a plataforma rotacione ao acionar o atuador. A translucidez da proteção perpendicular à base da plataforma é ilustrativo para separar os usuários do sistema de elevação de modo a proteger o usuário e foi utilizado outro material.

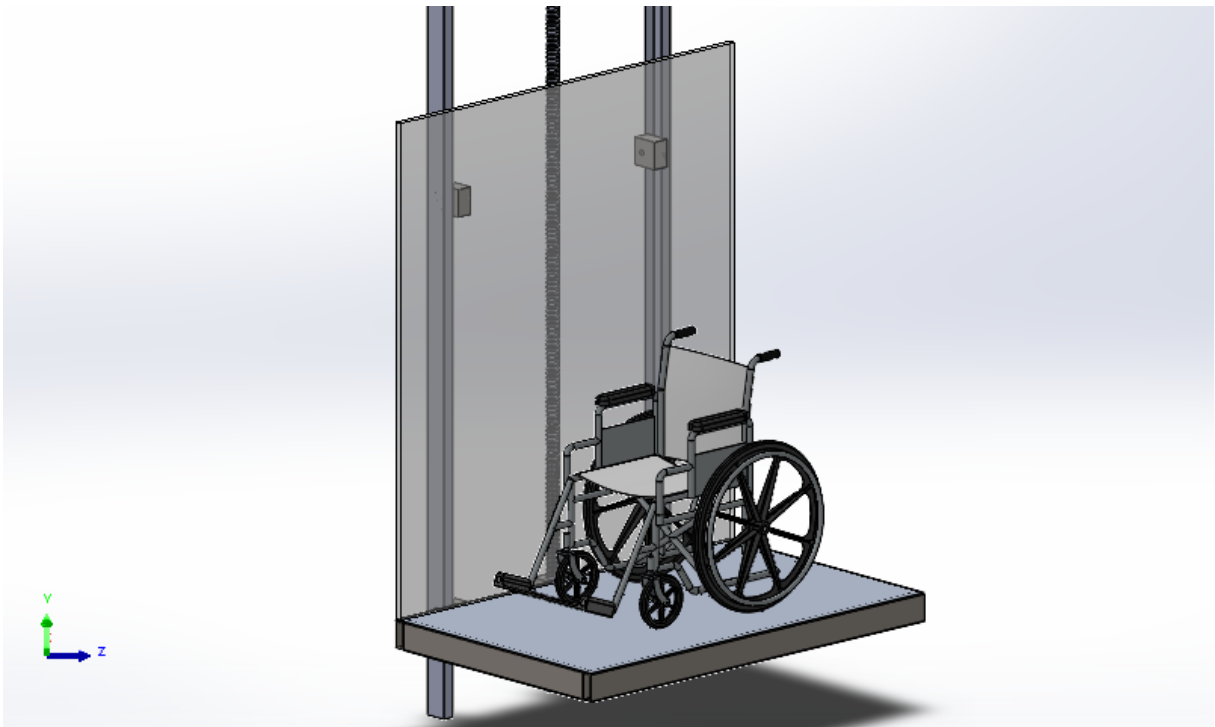


Figura 3.3 – Esboço Geral Inicial do Projeto.

A direção de fluxo dos usuários é paralelo ao plano representado pelo plano composto pelas duas guias e ao plano da base da plataforma, ou seja, as portas ficarão perpendiculares ao plano da placa de proteção. Já o sentido do fluxo dos usuários na plataforma será de acordo com a demanda do usuário.

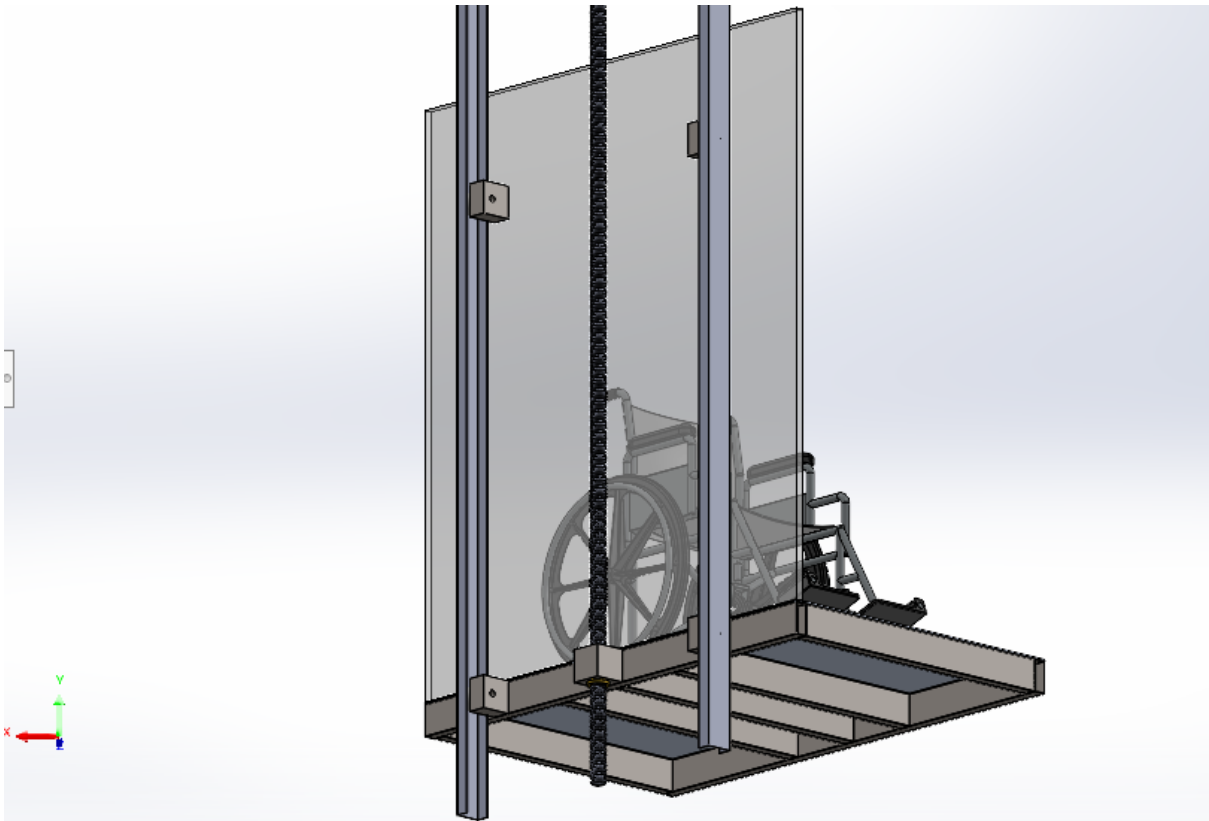


Figura 3.4 – Esboço Geral Inicial do Projeto.

3.5 Parâmetros do Projeto

O item 9.2.1.1 da norma NBR ISO 9386 - 1 diz que a área livre para carregamento da plataforma não pode exceder 2 m^2 (NORMAS TÉCNICAS, 2013). Já a norma 9050 considera a área da projeção de uma pessoa utilizando cadeira de rodas no piso igual a 0.96 m^2 , (0.8 m x 1.20 m). A Tabela 3.2 especifica algumas dimensões de acordo com a quantidade de usuários e posicionamento desses na plataforma.

Além disso, os itens 4.7 e 4.8 dessa mesma norma dizem que a velocidade nominal da plataforma deve ser menor ou igual a 0.15 m/s e a carga nominal do elevador não poderá ser inferior a 250 Kg, estabelecendo, assim, critérios para a escolha dos parâmetros citados.

Tabela 3.2 – Dimensões Mínimas da Plataforma. Fonte: Normas Técnicas (2013).

Uso Principal	Dimensões Planas Mínimas (Largura x Comprimento) mm
Quando as portas estão localizadas 90° entre si (acompanhante ao lado da cadeira de rodas).	1100 x 1400
Acompanhante em pé atrás do usuário em cadeira de rodas.	800 x 1600
Usuário só, tanto em pé como em cadeira de rodas.	800 x 1250
Usuário só e em pé (não adequado para uso com cadeira de rodas).	650 x 650
Usuário só e em pé (com percurso de até 500mm).	325 x 350

3.6 Métodos de Dimensionamento da Plataforma Elevatória

As subseções a seguir descrevem os métodos utilizados para se alcançar os objetivos específicos.

3.6.1 Método de Dimensionamento do Fuso

Com o intuito de dimensionar e especificar o fuso, utilizou-se a metodologia abordada no trabalho de Oliveira (2017), fornecida pelo fabricante de fusos e porcas, o qual faz uso do manual técnico encontrado no compêndio denominado Artigos Técnicos Industriais (A.T.I., 2017).

Para uma máquina alcançar os melhores desempenhos é necessário escolher o tipo certo de fuso trapezoidal para executar a tarefa. Para isso, é aconselhável quantificar alguns dados técnicos fundamentais e, com os resultados calculados, consultar algumas tabelas de medidas para realizar a escolha comercial.

Inicialmente, fpo preciso determinar alguns valores para iniciar os cálculos, dados por:

- **Velocidade de deslocamento** (mm/min);
- **Comprimento máximo do fuso** (m);
- **Peso da carga a ser movimentada verticalmente** (Kg).

A velocidade de deslocamento vertical máxima assim como o comprimento máximo são estabelecidos pela norma NBR ISO 9386 - 1, que diz que a velocidade máxima da plataforma elevatória deve ser igual a 150mm/min assim como a altura máxima deve ser igual a 4m.

Essa mesma norma também estabelece que a carga não pode ser inferior a 250Kg. Logo, o peso total contabilizado para dimensionar o fuso é dado pela soma do peso da plataforma ao peso da carga a ser considerada como, por exemplo, o peso médio de três pessoas mais o peso da cadeira de rodas.

Analisando o Anexo B.1, é possível então obter o modelo do fuso acme com rosca trapezoidal que atenda os três parâmetros contemplados acima. Com isso, é obtido também, através dessa mesma tabela, outros parâmetros como o seu diâmetro, rendimento,

carga máxima, torque necessário para levantamento e o comprimento para, em seguida, encontrar o modelo comercial através do Anexo B.2, que especifica, também, o material e a resistência do fuso.

O próximo passo é dimensionar a porca, que realizará o movimento linear da plataforma. Para isto, utiliza-se o diâmetro e o passo do fuso especificado e analisa-se o tabela com modelos de porcas comerciais, apresentada no Anexo B.3. O material da porca deve respeitar a condição exigida pela norma.

Segundo a norma técnica NBR ISO 9386 - 1:

”A porca acionadora deve ser feita de metal compatível com o do fuso com respeito a desgaste e resistência ao impacto e deve possuir um coeficiente de segurança equivalente. Um revestimento plástico de baixo coeficiente de atrito ou material similar é permissível.”

3.6.2 Método de Dimensionamento do Atuador

Para o dimensionamento do atuador, são utilizados o catálogo de motores da WEG (2008), disponibilizado no site encontrado nas referências, e os dados que caracterizam o fuso já especificados na subseção anterior, assim como os seguintes parâmetros calculados (WEG, 2008).

Para realizar a escolha o atuador é preciso, primeiramente, calcular o trabalho realizado durante a movimentação da carga, dado pela Equação 3.1 e representada por:

$$W = f \times d, \tag{3.1}$$

em que:

- W = Trabalho (J);
- f = Força peso que (N);
- d = Comprimento do fuso (m).

Em seguida, é preciso determinar o tempo gasto para a carga percorrer todo o comprimento do fuso com a velocidade especificada, dada pela equação 3.2:

$$t = \frac{d}{v}, \tag{3.2}$$

em que:

- t = Intervalo de tempo (s);
- v = Velocidade (m/s);
- d = Distância (m).

Assim, após determinar o tempo, utiliza-se a Equação 3.3 para determinar a potência mecânica (trabalho realizado em uma quantidade de tempo), dada por:

$$P_{mec} = \frac{fd}{t}, \quad (3.3)$$

em que:

- P_{mec} = Potência mecânica (W);
- f = Força peso (N);
- d = Comprimento do fuso (m);
- t = intervalo de tempo (s).

Obtida a potência, utiliza-se o rendimento de transmissão fornecido pela tabela com os modelos de fuso para obter a potência do motor através da Equação 3.4 e realizar a escolha no catálogo de motores comerciais disponibilizado no site da WEG, disponibilizado nas referências (WEG, 2008).

$$P_{motor} = \frac{P_{mec}}{n}, \quad (3.4)$$

em que:

- P_{motor} = Potência do motor (W);
- P_{mec} = Potência mecânica (W);
- n = rendimento do fuso.

A partir da potência encontrada, a alimentação fornecida e a rotação necessária para a translação da carga, será possível então especificar um motor comercial através de catálogos de motores com diferentes especificações.

3.6.3 Método de Análise de Esforços na Plataforma Elevatória

Esta seção tem como objetivo apresentar a metodologia utilizada para analisar os esforços nas partes críticas da plataforma.

3.6.3.1 Forças Atuantes na plataforma

As forças consideradas atuantes na plataforma são dadas pelo peso próprio da plataforma, o peso de uma possível cadeira de rodas e o peso de um ou dois usuários. As demais forças serão desconsideradas.

Dessa maneira, assume-se que o peso estará atuando na junção entre a luva, responsável por sustentar todo o peso, e a plataforma elevatória, exercendo uma força de cisalhamento na solda a ser realizada.

Segundo Khurmi e Gupta (2005), como a solda será realizada nas quatro arestas da luva que estão em contato com o metalon da plataforma, pode-se dizer que o caso em questão é representado pelo quinto item da Figura 3.5, o qual revela também o momento estático polar, dado por:

$$J = \frac{t(b+l)^3}{6}, \quad (3.5)$$

e o módulo da seção, dado por:

$$Z = t\left(bl + \frac{b^2}{3}\right), \quad (3.6)$$

em que:

- J = momento de inércia polar (m^4);
- Z = módulo da seção (m^3);
- b = altura interna (m);
- l = largura externa (m);
- t = espessura da garganta (m).

Assim, inicialmente, calcula-se a área, dada por:

$$A = t(2b + 2l) = 0.707s(2b + 2l), \quad (3.7)$$

em que:

- A = Área (m^2);
- s = espessura do cordão de solda (m);

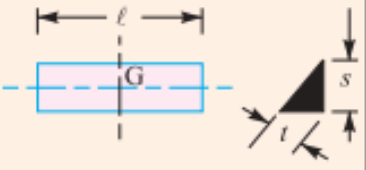
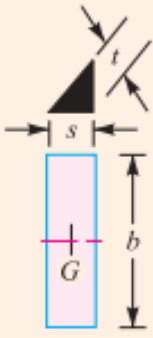
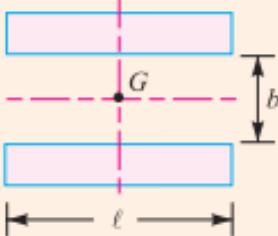
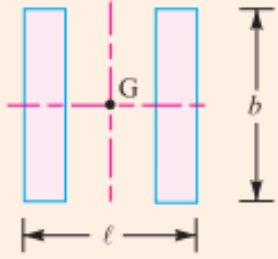
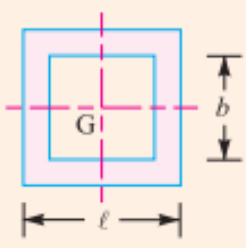
Número	Tipo de Solda	Momento de Inércia Polar	Módulo da Seção
1.		$\frac{t.l^3}{12}$	—
2.		$\frac{t.b^3}{12}$	$\frac{t.b^2}{6}$
3.		$\frac{t.l(3b^2 + l^2)}{6}$	$t.b.l$
4.		$\frac{t.b(b^2 + 3l^2)}{6}$	$\frac{t.b^2}{3}$
5.		$\frac{t(b+l)^3}{6}$	$t\left(b.l + \frac{b^2}{3}\right)$

Figura 3.5 – Momento de Inércia Polar e Módulo da Seção das Soldas. Fonte: Khurmi e Gupta (2005).

- t = espessura da garganta (m);
- b = altura interna (m);

- l = largura externa (m).

Obtida a área, é possível obter a tensão de cisalhamento direta em função de s , dada por:

$$\tau = \frac{P}{A}, \quad (3.8)$$

em que:

- τ = tensão de cisalhamento direta (N/m^2);
- P = peso (N);
- A = Área (m^2).

Com o a distância do peso em relação ao cordão de solda (e) e o peso (P), é possível encontrar o momento, dado por:

$$M = Pe, \quad (3.9)$$

em que:

- M = Momento (Nm);
- P = peso (N);
- e = distância entre a solda e a concentração do peso (m).

Encontrados o momento e o módulo de seção (Z), é possível encontrar a tensão de flexão em função da espessura (s) do cordão de solda, dada por:

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}, \quad (3.10)$$

em que:

- σ_b = tensão de flexão (N/m^2);
- M = momento (Nm);
- Z = módulo da seção (m^3).

Em seguida, uma vez que as tensões foram encontradas em função da espessura do cordão de solda, é possível então encontrar a espessura do cordão de solda através da equação da tensão de cisalhamento máxima para cargas excêntricas em juntas soldadas, dada por:

$$\tau_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}, \quad (3.11)$$

em que:

- τ_{max} = tensão de cisalhamento máxima (N/m^2);
- σ_b = tensão de flexão (N/m^2);
- τ = tensão de cisalhamento direta (N/m^2),

A tensão de cisalhamento máxima do cordão de solda é dada pela Tabela 4.4, a qual é encontrada na bibliografia Khurmi e Gupta (2005).

Tabela 3.3 – Tensões Máximas nas Juntas Soldadas.

Tipo de Solda	Eletrodo Nu		Eletrodo Revestido	
	Carga Constante (MPa)	Carga de Fatiga (MPa)	Carga Constante (MPa)	Carga de Fatiga (MPa)
1. Solda de Filete (Todos os tipos)	80	21	98	35
2. Solda de Topo Tração Compressão Cisalhamento	90	35	110	55
	100	35	125	55
	55	21	70	35

3.6.3.2 Forças Atuantes nos Parafusos

Para o projeto da plataforma, considerou-se que, na luva que aprisionaria a porca acionadora, haveria uma tensão de cisalhamento nos parafusos que seriam responsáveis por evitar a rotação da porca em relação à luva. Nesse sentido, foi necessário dimensionar o diâmetro desses parafusos de modo que suportassem esse esforço cisalhante. O caso pode ser visto na Figura 3.6.

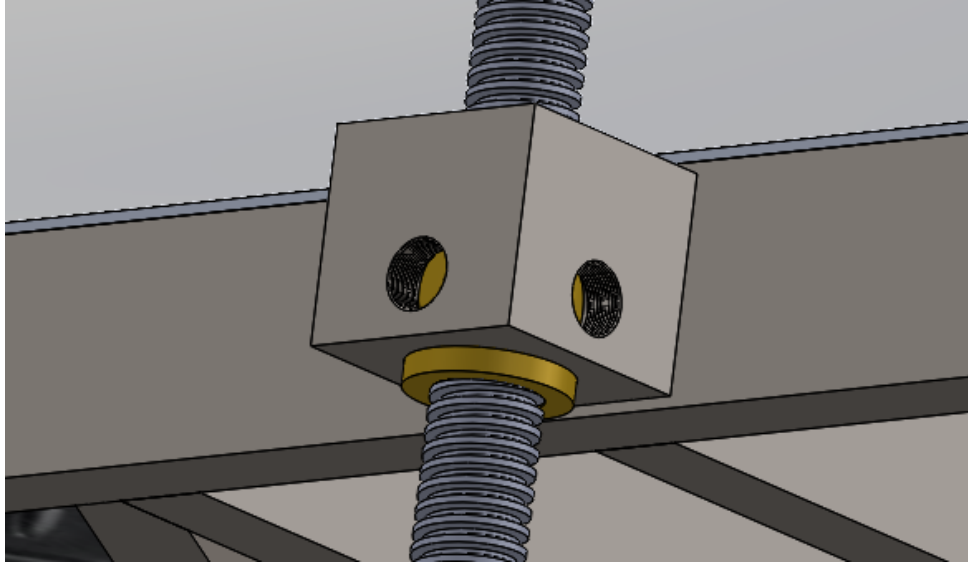


Figura 3.6 – Luva Prisioneira.

Segundo Beer et al. (2011), a tensão de cisalhamento é dada pela Equação 3.12, dada por:

$$\tau = \frac{P}{A}, \quad (3.12)$$

Foram usados três parafusos, ou seja, a área a ser utilizada será referente às três áreas de seção transversal dos parafusos. Já a força aplicada neles será dada pelo torque máximo suportado pelo fuso, obtido na tabela do fuso após o dimensionamento do mesmo, e a distância a qual a força está sendo analisada. Assim, será possível especificar o diâmetro dos parafusos a serem utilizados de acordo com a tensão de cisalhamento suportada por cada parafuso com diferentes diâmetros.

3.6.4 Método de Especificação do Atuador

Dimensionada a potência do motor, para especificar o modelo comercial do mesmo, foi necessário possuir as seguintes informações, como:

- potência do motor;
- alimentação;
- rotação requerida.

Em seguida, foi pesquisado no catálogo de motores elétricos da WEG (COMERCIAL, 2022a), um modelo comercial que atendesse as especificações.

3.6.5 Método de Especificação do Inversor

Encontrado um modelo comercial que cumprisse os requisitos do projeto, foi necessário especificar, então, um inversor de frequência que complementasse o projeto.

Para isso, foi necessário analisar os seguintes parâmetros:

- potência do motor em KW;
- alimentação;
- aplicação.

3.6.6 Método de Especificação do Disjuntor

Para especificar o disjuntor, que é realizado a partir da corrente do circuito, é preciso saber duas variáveis, a tensão elétrica em Volts e a Potência elétrica em Watts. Logo:

$$I = \frac{P}{V}; \quad (3.13)$$

em que:

- I = corrente elétrica (A);
- P = potência elétrica (W);
- V = tensão elétrica em (V).

Encontrada a corrente, aplica-se uma tolerância que varia de 15% a 30% para, então, encontrar um modelo comercial.

3.6.7 Método de Parada da Plataforma

Existem diversas maneiras de limitar o deslocamento da plataforma, ou de qualquer componente que esteja realizando movimento guiado por um eixo na vertical ou horizontal. Dentre esses modos, é recorrente o uso de sensores elétricos, podendo ser sensores eletromecânicos, ópticos, eletromagnéticos e infravermelhos.

Cada um desses sensores pode ser definido como:

- Sensores Eletromecânicos: são aqueles que monitoram movimentos, posições ou presença usando recursos mecânicos como, por exemplo, chaves (*switches*).



Figura 3.7 – Chave de fim de curso. Fonte: Schmersal (2021).

- Sensores Ópticos: são sensores que consistem num elemento fotossensível que tem a luz incidente interceptada quando a parte móvel de um dispositivo passa diante dele.



Figura 3.8 – Sensor óptico. Fonte: WEG (2021).

Chave de Fim de Curso

- Sensores Eletromagnéticos: são sensores que utilizam da alteração do campo magnético de uma bobina, pela aproximação de um ímã ou objeto imantado, para detectar a aproximação ou a passagem de um objeto.
- Sensores Infravermelhos: são sensores que possuem uma substância que se polariza na presença de radiação infravermelha, gerando assim uma tensão que pode ser amplificada e usada para efeitos de controle. Assim, o calor de um corpo próximo



Figura 3.9 – Sensor embolo magnético. Fonte: WEG (2021).

é suficiente para produzir uma emissão infravermelha detectável por esse tipo de sensor.



Figura 3.10 – Sensor infravermelho. Fonte: Eletrodex (2021)

A variação do sensor mecânico chamada de chave de fim de curso é utilizada para evitar que o motor de um sistema continue atuando mesmo depois que o objeto movimentado chegue ao seu ponto máximo. Isso poderia forçar o mecanismo ou ainda causar uma sobrecarga do motor ou do próprio circuito de acionamento.



Figura 3.11 – Chave de fim de curso. Fonte: Schmersal (2021).

Resultados

As seguintes seções compõem os resultados parciais obtidos através da metodologia explicitada no capítulo anterior.

4.1 Parâmetros do Projeto

Após realizar a escolha do sistema de elevação e especificar qual o perfil da rosca do fuso para determinar os métodos, materiais e componentes, foi preciso determinar os parâmetros principais da plataforma de elevação.

Como dito no Capítulo 3, os itens 4.7 e 4.8 da norma Normas Técnicas (2013) determinam que a velocidade nominal da plataforma deve ser menor ou igual a 0.15 m/s e a carga nominal do elevador não poderá ser inferior a 250 Kg . Essa mesma norma também estabelece uma altura máxima de deslocamento vertical da plataforma igual a 4 m. Analisando, por fim, a Tabela 3.2, determina-se as dimensões planas da plataforma.

Assim, os parâmetros são escolhidos de modo que:

- **Velocidade de deslocamento** = $0,15 \text{ m/s}$;
- **Comprimento máximo do fuso** = 4 m ;
- **Peso da Carga a ser movimentada sem o peso da plataforma** = 300 Kg ;
- **Área da base da plataforma** = $1\text{m} \times 1.6\text{m} = 1.6 \text{ m}^2$

Considerando a capacidade de carga igual a 300 Kg , (maior que 250 Kg como exigido pela norma), acrescida do peso da plataforma, estimada em aproximadamente 150 Kg , resulta-se em um total de 450 Kg , aproximadamente.

A partir dessa carga mínima determinada, escolheu-se o modelo TR45X8, cujas especificações são dadas por:

- Diâmetro: 45 mm;
- Rendimento: 0,37;
- Carga máxima: 564 Kg;
- Torque necessário para levantamento: 48.2 Nm;
- Comprimento: 4 m.

como pode ser visto destacado em azul na última linha da Figura 4.1 e Figura 4.2, apresentadas abaixo. No Apêndice A é apresentada a tabela completa.

Com essas especificações é possível, então, determinar o modelo comercial do fuso trapezoidal através da Figura 4.3.

O modelo que cumpre os requisitos é o fuso à direita BMTR45X40000, o qual possui um diâmetro de 40 mm, passo igual a 8 mm, comprimento igual a 4000 mm e um peso igual a 41,2 Kg, como destacado em azul.

A tabela também fornece o material do fuso, Aço 11SMnPb37, o qual possui resistência entre 460N/mm² e 650N/mm² e dureza HB 120/200.

Em seguida, especificou-se a porca para realizar o movimento linear da plataforma. Para isto, utilizou-se o diâmetro e o passo do fuso especificado.

Assim, escolheu-se uma porca cilíndrica de bronze (CuSn12) de modo a possuir um coeficiente de desgaste maior que o do fuso, já que possui uma dureza igual a HB 90/100, menor que o Aço 11SMnPb37 (material do fuso) o qual possui dureza HB 120/200.

De acordo com a Figura 4.4, o modelo comercial que satisfaz os parâmetros é o BMCH45B, como destacado em azul.

valores decrescentes proporcionais			valores crescentes proporcionais			
calculado sobre a superfície VELOCIDADE de contato linear de um filete MÁXIMA para o número de rotações/min com base em 25m/min		VELOCIDADE DE CONTATO	max carga a ser levantada a uma velocidade máxima (*L' parafuso max 100 vezes Ø)	pressão média distribuída nos filetes da rosca	pressão sobre a primeira rosca (1/3 de toda a carga)	torque necessário para o levantamento (fator de serviço FS 2,5)
RPM	mm (linear) por min.	metros por minuto	Kg	Kg/mm ²	Kg/mm ²	Nm
883	1.766	25	30	0,11	0,36	0,60
936	2.808	25	40	0,15	0,34	0,95
757	2.271	25	51	0,15	0,35	1,33
637	1.911	25	63	0,13	0,36	1,80
663	2.652	25	76	0,16	0,34	2,43
568	2.272	25	91	0,14	0,35	3,15
498	1.992	25	107	0,13	0,36	3,98
442	1.768	25	122	0,11	0,36	4,83
408	2.040	25	162	0,14	0,36	7,40
370	1.850	25	181	0,12	0,36	8,73
353	1.765	25	190	0,12	0,36	9,40
338	1.690	25	200	0,13	0,37	10,15
312	1.560	25	219	0,11	0,37	11,68
295	1.770	25	274	0,13	0,36	16,25
275	1.650	25	297	0,14	0,37	18,38
250	1.500	25	331	0,12	0,37	21,78
240	1.440	25	343	0,11	0,37	23,00
217	1.519	25	440	0,12	0,37	33,28
194	1.552	25	564	0,11	0,37	48,20

Figura 4.1 – Catálogo de modelos de fusos com perfil trapezoidal. Fonte: (A.T.I., 2017).

dimensões normalmente não variáveis						
rosca trapezoidal	comprimento padrão da porca	número de filetes presos à porca	superfície de contato de um filete	superfície de contato em todo o perfil da porca	superfície de contato linear de um filete em toda a porca	η eficiência ($f=0,10$) com boa lubrificação
TR x Ø x PITCH	mm	n.	mm ²	mm ²	mm	-
TR 10x2	20	10	28,3	283	28,3	0,40
TR 10x3	20	6,7	40	268	26,7	0,51
TR 12x3	22	7,3	49,5	361	33	0,46
TR 14x3	25	8,3	58,9	489	39,2	0,42
TR 14x4	25	6,3	75,4	475	37,7	0,50
TR 16x4	30	7,5	88	660	44	0,46
TR 18x4	35	8,7	100,4	873	50,2	0,43
TR 20x4	40	10	113	1.130	56,5	0,40
TR 22x5	40	8	153	1.224	61,2	0,44
TR 24x5	45	9	168	1.512	67,5	0,41
TR 25x5	45	9	177	1.593	70,7	0,40
TR 26x5	45	9	185	1.665	73,8	0,39
TR 28x5	50	10	200	2.000	80	0,37
TR 30x6	50	8,3	255	2.116	84,8	0,40
TR 32x6	50	8,3	273	2.266	91	0,39
TR 35x6	60	10	300	3.000	100	0,36
TR 36x6	60	10	312	3.120	104	0,36
TR 40x7	65	9,3	403	3.748	115	0,37
TR 45x8	80	10	516	5.160	129	0,37

Figura 4.2 – Catálogo de modelos de fusos com perfil trapezoidal. Fonte: (A.T.I., 2017).

CÓDIGO		TR (mm)	Passo (mm)	L (mm)	Peso (Kg)
DIREITA	ESQUERDA				
BMTR10X1500	BMTR10X1500SX	10	3	1500	0,67
BMTR12X1500	BMTR12X1500SX	12	3	1500	1,02
BMTR14X1500	BMTR14X1500SX	14	4	1500	1,33
BMTR16X1500	BMTR16X1500SX	16	4	1500	1,80
BMTR18X1500	BMTR18X1500SX	18	4	1500	2,37
BMTR18X2000	BMTR18X2000SX	18	4	2000	3,16
BMTR20X2000	BMTR20X2000SX	20	4	2000	3,90
BMTR25X2000	BMTR25X2000SX	25	5	2000	6,16
BMTR30X2000	BMTR30X2000SX	30	6	2000	8,80
BMTR30X4000	BMTR30X4000SX	30	6	4000	17,60
BMTR36X2000	BMTR36X2000SX	36	6	2000	12,54
BMTR36X4000	BMTR36X4000SX	36	6	4000	26,48
BMTR40X2000	BMTR40X2000SX	40	7	2000	16,14
BMTR40X4000	BMTR40X4000SX	40	7	4000	32,28
BMTR45X2000	BMTR45X2000SX	45	8	2000	20,60
BMTR45X4000	BMTR45X4000SX	45	8	4000	41,20
BMTR50X2000	BMTR50X2000SX	50	8	2000	25,84
BMTR50X4000	BMTR50X4000SX	50	8	4000	51,68
BMTR60X2000	BMTR60X2000SX	60	9	2000	37,70
BMTR60X4000	BMTR60X4000SX	60	9	4000	75,40

Figura 4.3 – Tabela de Fusos Trapezoidais Comerciais. Fonte: (A.T.I., 2017).

CÓDIGO		ROSCA	Passo (mm)	Dh (mm)	L (mm)	Peso (KG)
DIREITA	ESQUERDA					
BMCH10B	BMCH10BSX	10	3	20	20	0,05
BMCH12B	BMCH12BSX	12	3	24	25	0,08
BMCH14B	BMCH14BSX	14	4	24	25	0,08
BMCH16B	BMCH16BSX	16	4	28	30	0,12
BMCH18B	BMCH18BSX	18	4	34	3	0,22
BMCH20B	BMCH20BSX	20	4	38	40	0,31
BMCH25B	BMCH25BSX	25	5	44	45	0,44
BMCH30B	BMCH30BSX	30	6	48	50	0,54
BMCH36B	BMCH36BSX	36	6	58	60	0,93
BMCH40B	BMCH40BSX	40	7	64	65	1,22
BMCH45B	BMCH45BSX	45	8	68	80	1,62
BMCH50B	BMCH50BSX	50	8	74	80	1,79
BMCH60B	BMCH60BSX	60	9	84	95	2,54

Figura 4.4 – Tabela de Porcas Comerciais. Fonte: (A.T.I., 2017).

4.2 Especificações da Base da Plataforma

Com o intuito de desenvolver a base da plataforma, foi necessário pensar em alguns parâmetros para definir um material que seria responsável por compô-la, sendo eles:

- Resistência a flexão;
- Peso;
- Resistência a oxidação;
- Preço.

Nesse sentido, optou-se por selecionar um tipo de tubo de aço carbono, conhecido também como metalon, com perfil retangular, para realizar a montagem de um quadro, como pode ser visto na Figura 4.5:

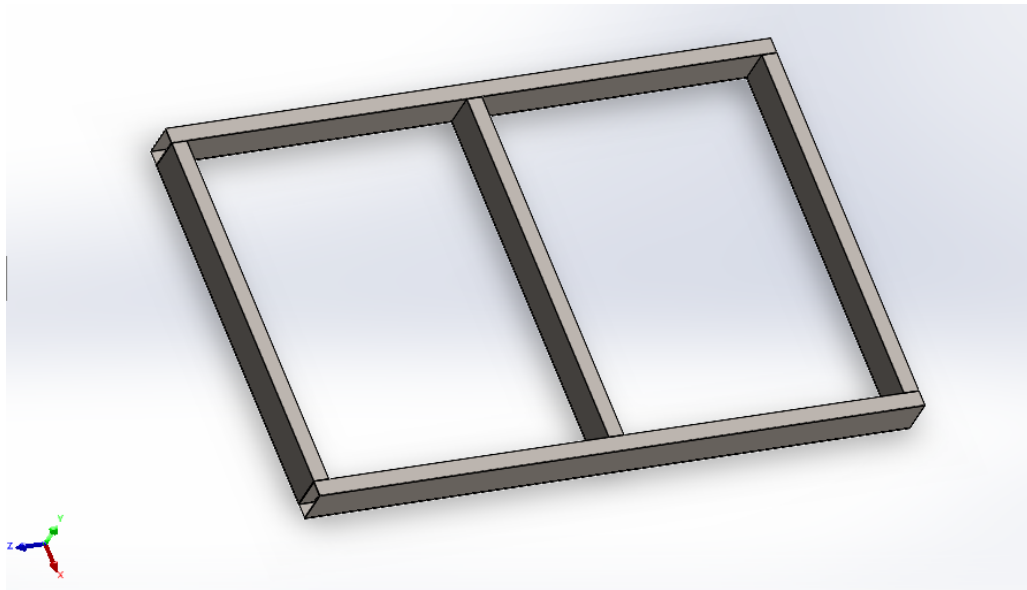


Figura 4.5 – Quadro de Tubos de Aço Carbono com perfil retangular.

O quadro que compõe a base da plataforma, como mencionado, possui $1,6m$ de comprimento, $1m$ de largura e $0,012m$ de espessura. Os tubos são feitos de Chapa 11 e são confeccionados com um comprimento igual a $6m$ nas seguintes dimensões:

- Altura = 120 mm;
- Largura = 40mm;
- Espessura = 3mm.

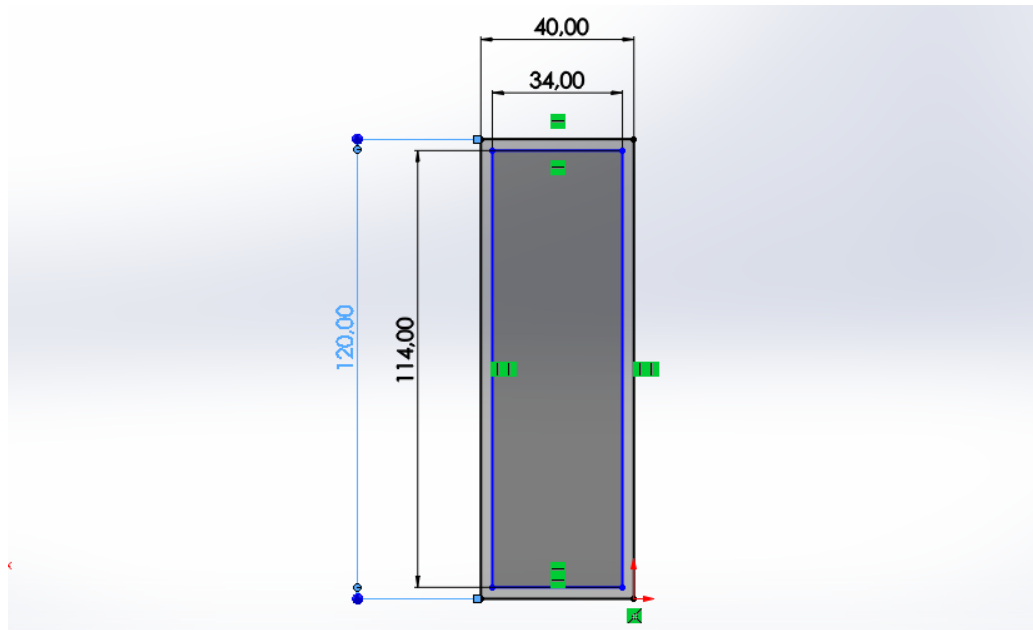


Figura 4.6 – Dimensões do Tubo de Aço Carbono.

O metalon 100 x 40 tem amplo uso na confecção de corrimãos, estruturas de apoio, pequenos galpões, peças em geral, fundações, portões, outdoors, equipamentos de musculação, obras arquitetônicas, tubulação elétrica e hidráulica para residências, sendo possível utilizá-lo tanto em estruturas leves quanto em pesadas na construção civil.

Em cima do quadro, foi colocada uma chapa de alumínio xadrez de 1/4 de polegada de espessura, a qual possui tanto a função de criar o plano da base da plataforma para o usuário quanto evitar escorregamento ou pequenos deslizamentos do mesmo na base, como pode ser visto na Figura 4.7:

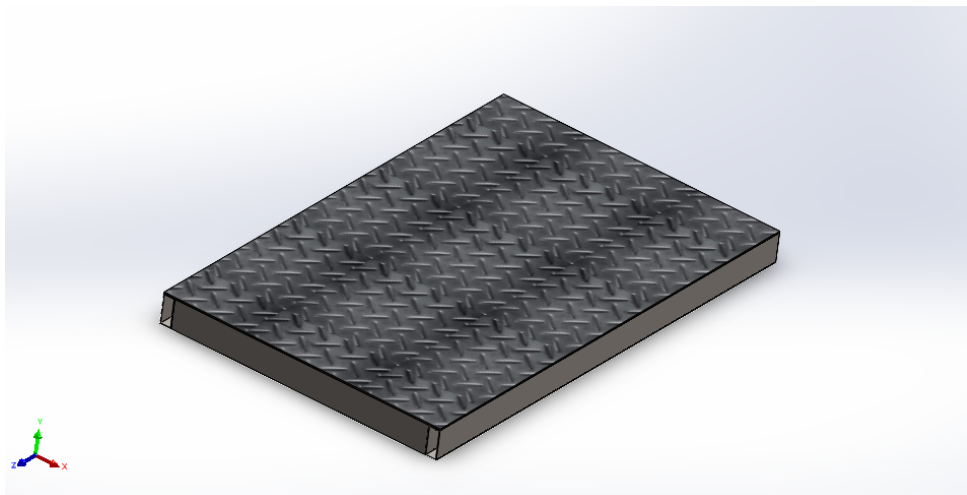


Figura 4.7 – Chapa de Alumínio Xadrez Sobre o Quadro de Metalon.

Com o intuito de analisar o comportamento da chapa de alumínio em relação à sua

flexão quando estiver suportando a capacidade total, 3270 N, foi realizada uma simulação no SOLIDWORKS fixando o quadro de metalon e aplicando a força em questão igualmente distribuída na chapa de alumínio xadrez, obtendo o resultado apontado na Figura 4.8.

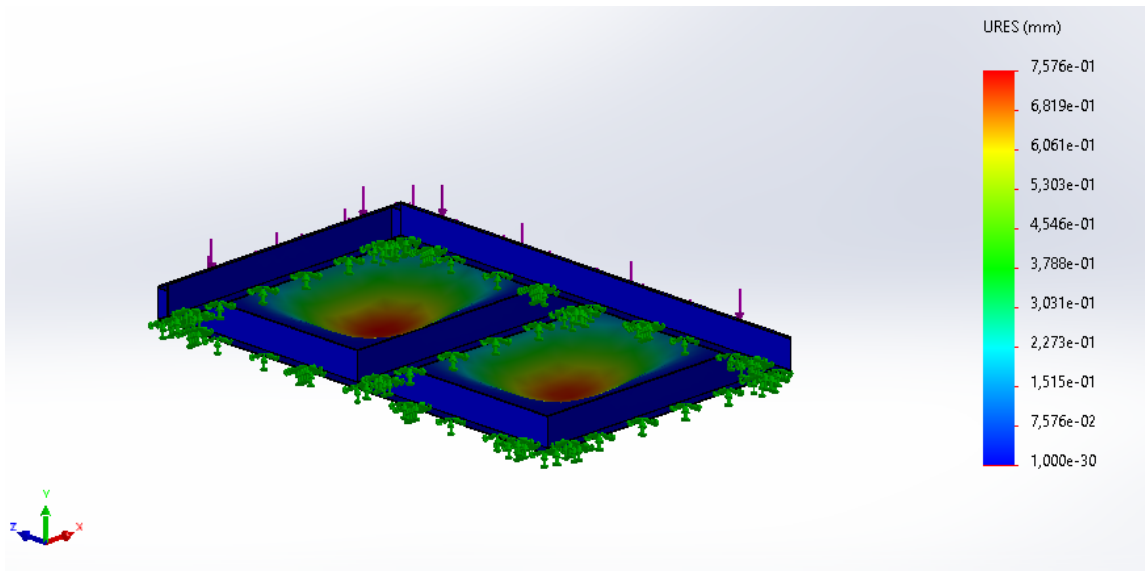


Figura 4.8 – Simulação 1 do Comportamento da Chapa de Alumínio em Relação à Deformação.

Analisando o resultado, verificou-se que em seu ponto de deformação máxima, o deslocamento foi dado por 0,757mm. Com o intuito de reforçar ainda mais essa estrutura, criou-se outro quadro como pode ser observado na Figura 4.9.

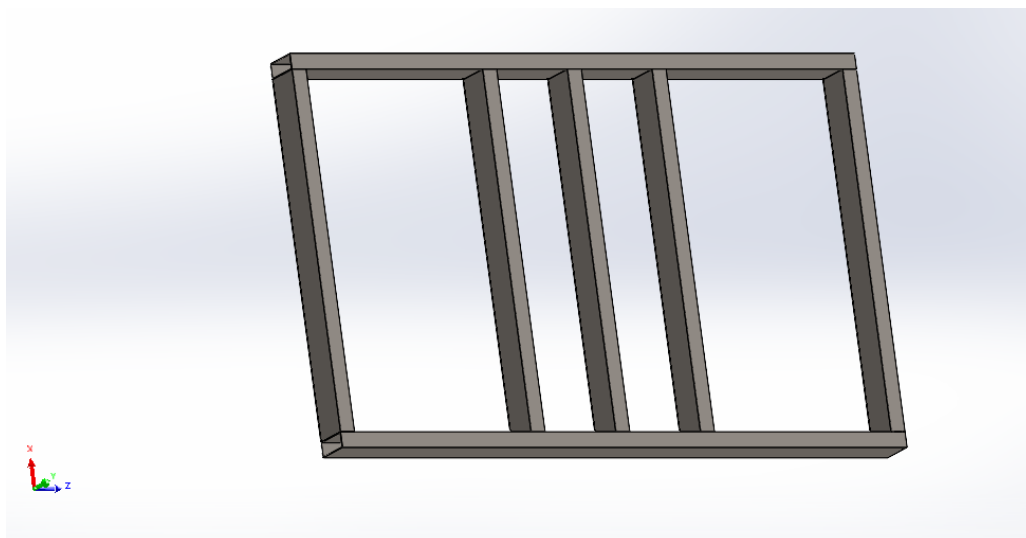


Figura 4.9 – Quadro Reforçado de Tubos de Aço Carbono com perfil retangular.

Ao simular novamente, obteve-se o seguinte resultado, dado pela Figura 4.10.

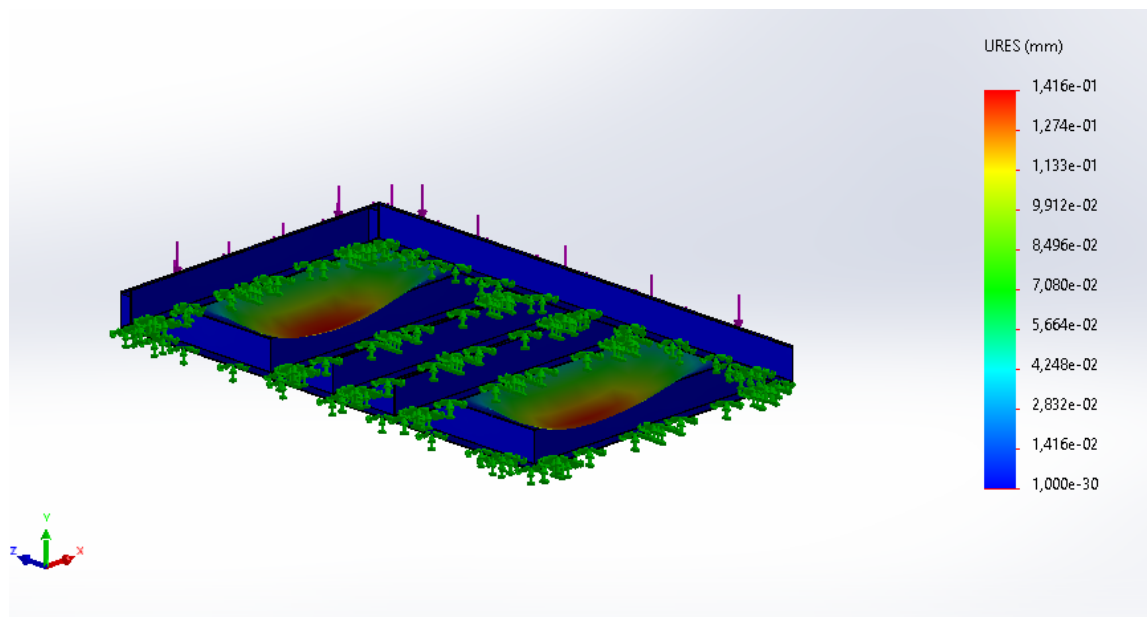


Figura 4.10 – Simulação 2 do Comportamento da Chapa de Alumínio em Relação à Deformação.

Analisando agora o resultado da segunda simulação, pode-se concluir que a deformação máxima diminuiu para 0,1416mm. Para corrigir essas duas áreas em que tiveram maior deformação em relação às outras, foram feitas triangulações na estrutura, como podem ser observado na Figura 4.11.

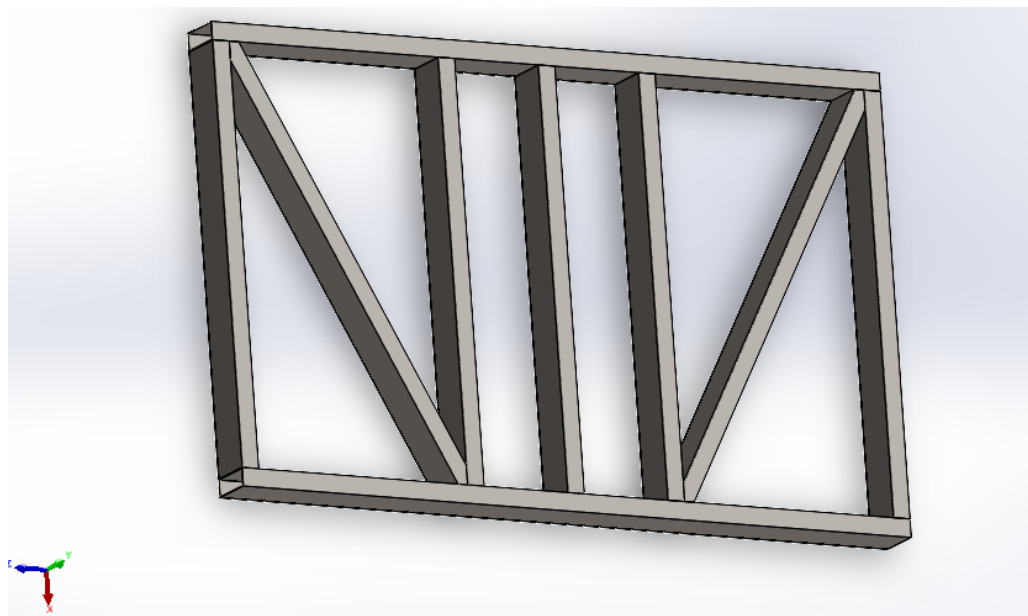


Figura 4.11 – Quadro de Tubos de Aço Carbono com perfil retangular com estrutura triangulada.

Assim, foi realizada uma nova simulação e os resultados podem ser analisados na Figura 4.12.

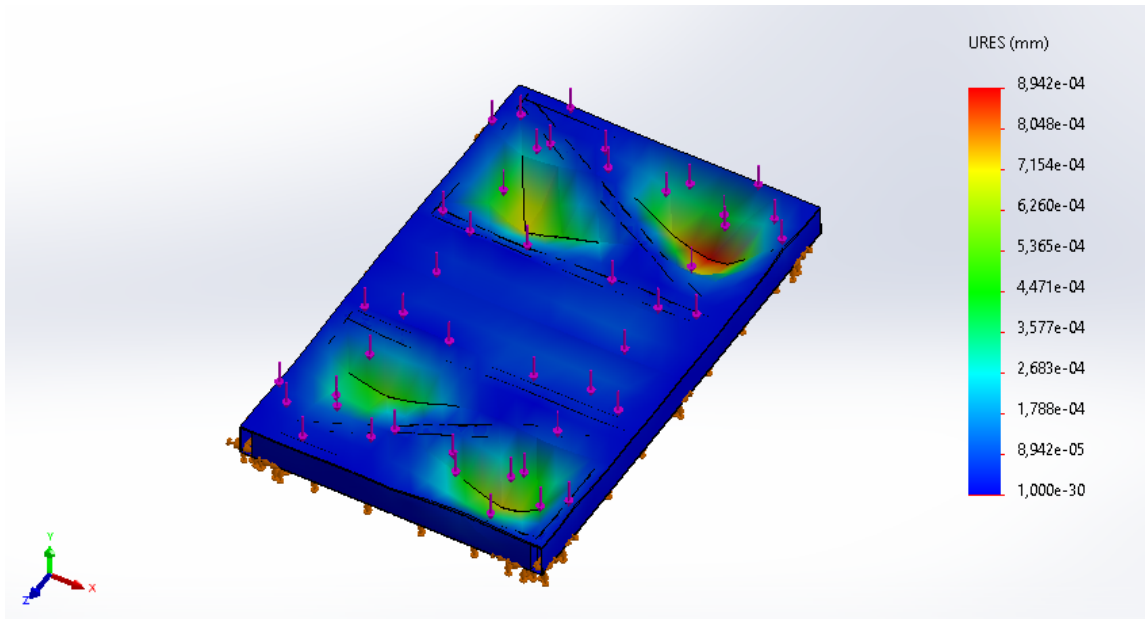


Figura 4.12 – Simulação 3 do Comportamento da Chapa de Alumínio em Relação à Deformação.

Como visto, percebe-se que a deformação máxima diminuiu para 0,000842mm após triangular a estrutura.

4.3 Especificações da Luva

Com a finalidade de aumentar a área de contato da solda entre a porca acionadora, o cilindro feito de bronze mostrado na Figura 4.13, e a base da plataforma, foi criada uma peça, mostrada na Figura 4.14. Ela possui a altura, largura e comprimento respectivamente iguais a 90mm×100mm×100mm e tem o objetivo de aumentar a resistência à tensão de cisalhamento da junção e, conseqüentemente, o coeficiente de segurança desse ponto onde será concentrada a maior parte dos esforços.

A luva, feita de aço 1030, possui 3 furos rosqueados de modo seja possível passar parafusos com o intuito de travar o fuso na porca, atuando, assim, como um prisioneiro, para poder ser sustentada pelo fuso, travada no mesmo e então transformar o movimento rotacional em translacional e evitar que a porca gire em falso.

O acoplamento da luva à porca acionadora pode ser visto na Figura 4.15 e o acoplamento da luva à base da plataforma pode ser visto na Figura 4.16.

Com o intuito de dimensionar o diâmetro dos três parafusos, utilizou-se a informação do torque necessário para o levantamento da carga, como mostrado na Figura 4.1, dado

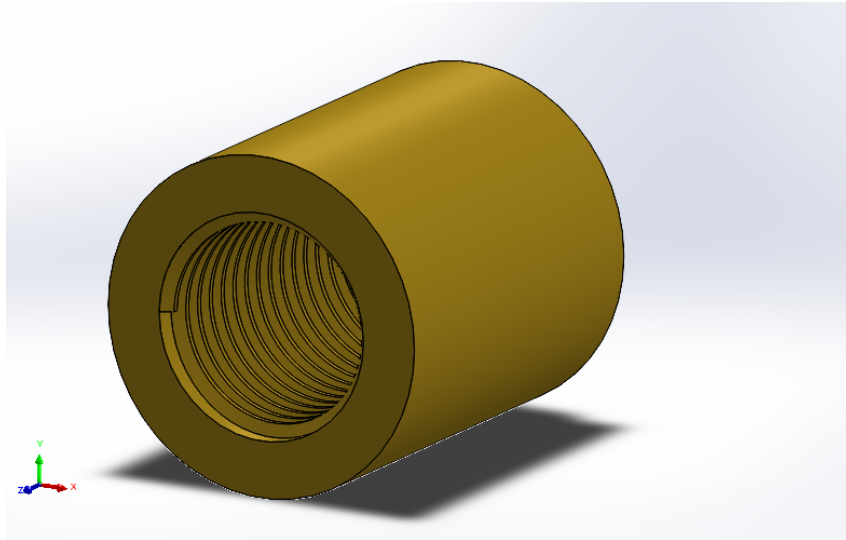


Figura 4.13 – Porca Acionadora.

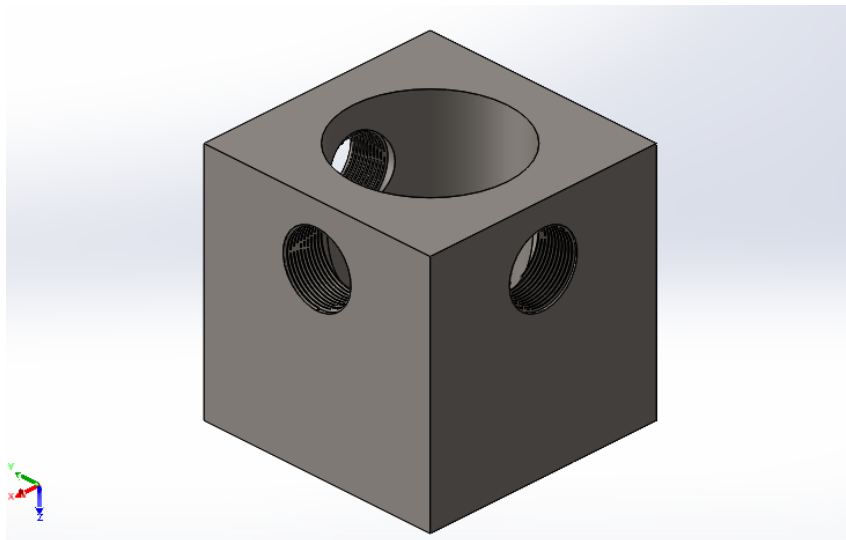


Figura 4.14 – Luva Prisioneira.

por:

$$M = 48,2Nm. \quad (4.1)$$

Como a fórmula de momento é dada por:

$$M = F \times d. \quad (4.2)$$

Considerando que a força nos parafusos máxima é dada pela menor distância entre a luva e o motor, ou seja, 50 mm, tem-se que:

$$F = \frac{M}{d}, \quad (4.3)$$

$$F = \frac{48,2}{0,05}, \quad (4.4)$$

$$F = 964N. \quad (4.5)$$

Encontrando a tensão de cisalhamento em cada parafuso em função do diâmetro, tem-se:

$$\tau = \frac{964}{3 \times \pi \frac{d^2}{4}}, \quad (4.6)$$

$$\tau = \frac{964}{3 \times \pi \frac{d^2}{4}}, \quad (4.7)$$

$$d^2 = \frac{409,13}{\tau}. \quad (4.8)$$

Como

$$\tau_{adm} = \frac{\tau_{rup}}{FS}, \quad (4.9)$$

e o fator de segurança escolhido foi igual a 6 e a tensão de ruptura do parafuso considerada foi de 350 Mpa, tem-se:

$$\tau_{adm} = 58,3MPa, \quad (4.10)$$

$$\tau = \frac{58,3}{0,6}, \quad (4.11)$$

$$\tau = 97,2MPa, \quad (4.12)$$

como mostrado na Tabela 2.1. Assim, encontrou-se um diâmetro referente à tensão de cisalhamento dado por:

$$d^2 = \sqrt{\frac{409,13}{\tau}} \quad (4.13)$$

$$d = \sqrt{\frac{409,13}{97,16}} \quad (4.14)$$

$$d = 2mm. \quad (4.15)$$

Com o intuito de reforçar ainda mais o sistema, serão usados 3 parafusos M20.

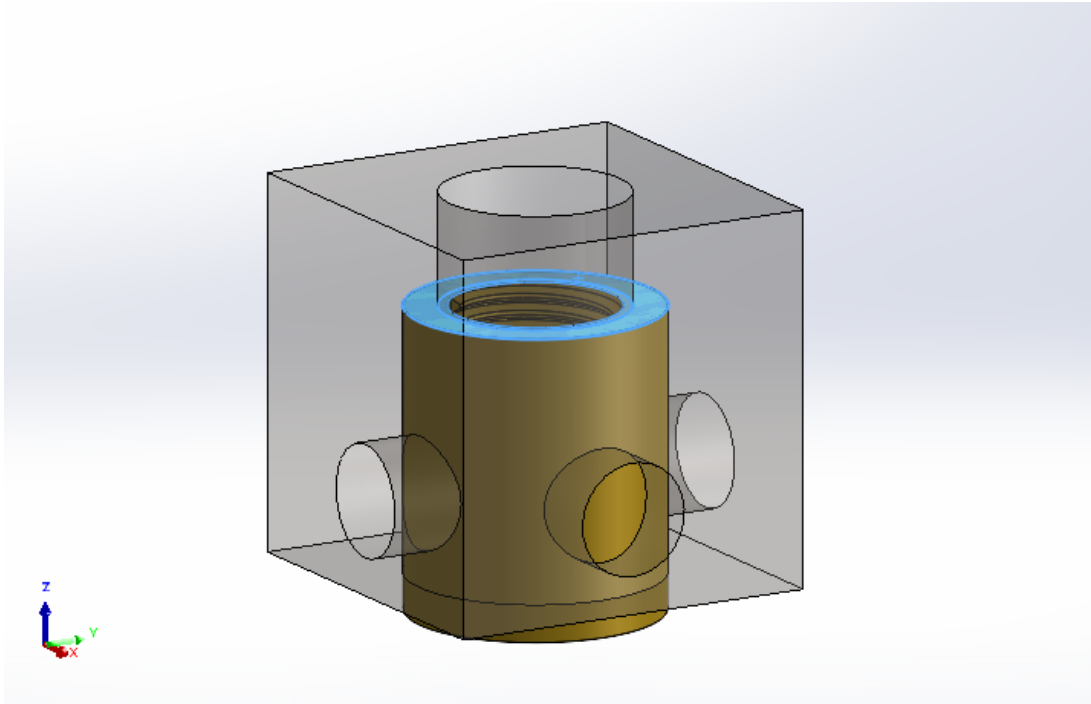


Figura 4.15 – Acoplamento da Luva à Porca Acionadora.

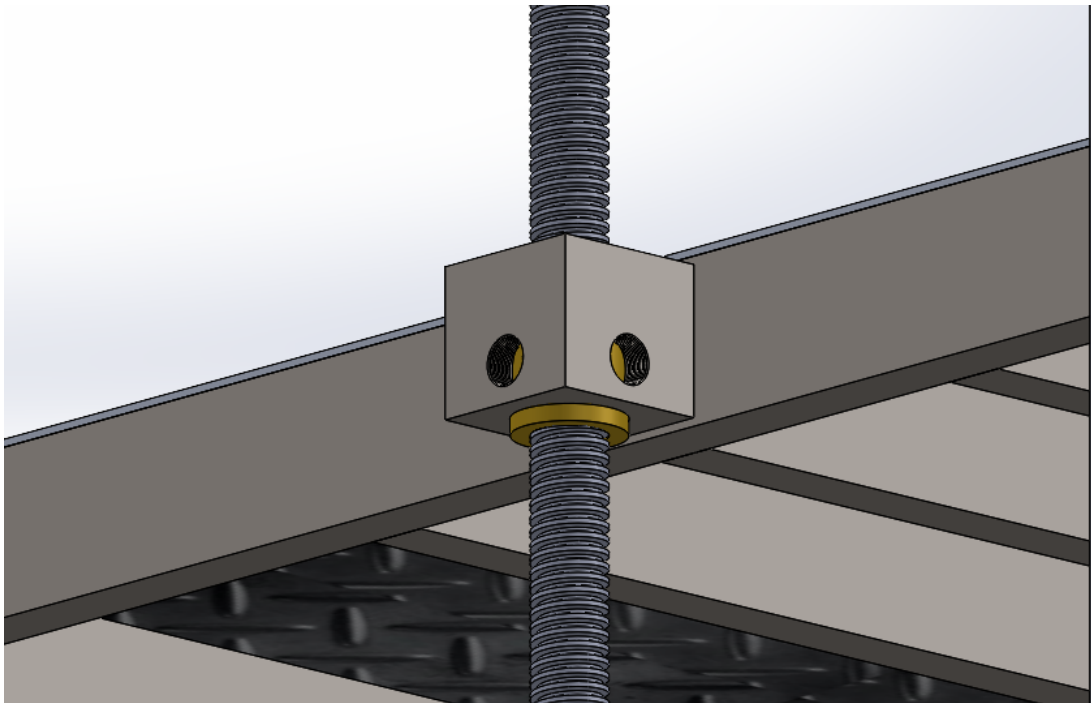


Figura 4.16 – Acoplamento da Luva à Base da Plataforma.

4.4 Especificações da Junta Soldada entre a Luva e a Base

Definida a peça que é responsável por aumentar a área de solda, uma vez que a porca acionadora possui apenas uma linha de contato com a base, foi possível aumentar a resistência ao cisalhamento da junta soldada localizada entre a base e a peça em questão (luva), assim como foi possível, também, aumentar a resistência à tração com a solda na parte superior da luva. Logo, para isso, foi preciso dimensionar a espessura do cordão de solda.

Considerou-se, então, que o cordão de solda da luva na base da plataforma seria nas quatro arestas da luva em contato com a base. Considerando que a luva possui as dimensões como visto na Figura 4.17, $100\text{mm} \times 90\text{mm} \times 100\text{mm}$, tem-se, em hachurado, a projeção do cordão de solda de espessura s no plano da base, como visto na Figura 4.18.

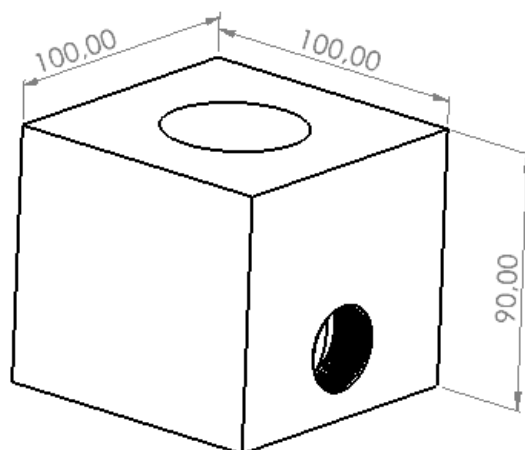


Figura 4.17 – Dimensões da Luva.

Com o intuito de dimensionar a espessura do cordão de solda, utilizou-se a metodologia citada no Capítulo 3. Inicialmente, foi preciso calcular a área em função da espessura do cordão de solda s , dada por:

$$A = t(2b + 2l), \quad (4.16)$$

$$A = 0.707s(2b + 2l), \quad (4.17)$$

$$A = 0.707s(2 \times 100 + 2 \times 90), \quad (4.18)$$

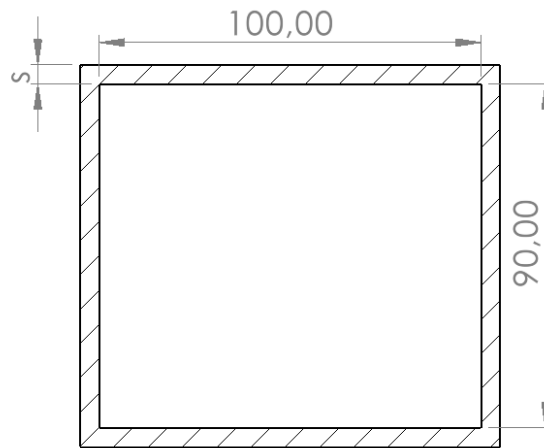


Figura 4.18 – Seção da Solda entre a Luva e o Metalon da Base da Plataforma.

$$A = 268,66s\text{mm}^2. \quad (4.19)$$

Obtida a área em função da espessura do cordão de solda, calculou-se a força peso que será suportada pela solda, dado pelo peso do quadro de metalon somado ao peso da chapa de alumínio e ao peso da carga nominal, que são representados, respectivamente por:

- Peso do quadro= 100 N;
- Peso da chapa= 270 N;
- Peso da carga nominal= 3000 N.

Tem-se, então, que o peso P é dado por:

$$P = 3370\text{N};. \quad (4.20)$$

Em seguida, foi calculado a tensão de cisalhamento direta, dada por:

$$\tau = \frac{P}{A}, \quad (4.21)$$

$$\tau = \frac{3370}{268,66s}, \quad (4.22)$$

$$\tau = \frac{12,17}{s}\text{N}/\text{mm}^2. \quad (4.23)$$

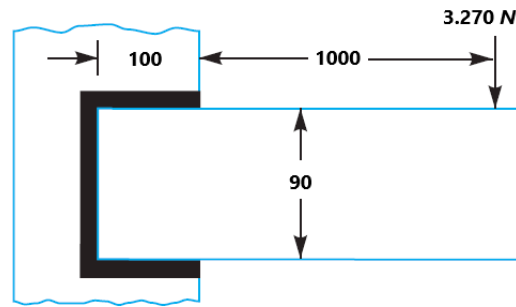


Figura 4.19 – Seção da Solda entre a Luva e o Metalon da Base da Plataforma. Fonte: Khurmi e Gupta (2005)

Encontrada a tensão de cisalhamento direta, foi possível definir o momento de flexão. O caso pode ser representado pelo esquemático da Figura 4.19.

O momento fletor é dado pelo produto entre o peso e a distância entre o vetor peso (P) e a solda. Considerando que o peso está a 1000mm da solda, tem-se que:

$$M_{Fletor} = Pe; \quad (4.24)$$

$$M_{Fletor} = 3370 \times 1000; \quad (4.25)$$

$$M_{Fletor} = 3.270.000N.mm. \quad (4.26)$$

Posteriormente, encontrou o momento estático, dado por:

$$Z = t(bl + \frac{b^2}{3}), \quad (4.27)$$

$$Z = 0,707s[100 \times 90 + \frac{90^2}{3}], \quad (4.28)$$

$$Z = 8.271,9smm^3. \quad (4.29)$$

O próximo passo foi encontrar a tensão de flexão, dada por:

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}, \quad (4.30)$$

$$\sigma_b = \frac{3.270.000}{8.271,9s}, \quad (4.31)$$

$$\sigma_b = \frac{395.3}{s} N/mm^2. \quad (4.32)$$

Analisando agora a espessura do cordão de solda de acordo com a tensão de cisalhamento máxima τ_{max} de acordo com a Tabela , tem-se:

$$\tau_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}, \quad (4.33)$$

$$\tau_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{395.3^2}{s^2} + 4 \frac{12,17^2}{s^2}}, \quad (4.34)$$

$$\tau_{max} = \frac{198,03}{s} MPa. \quad (4.35)$$

Para uma carga constante para um tipo de solda de filete utilizando eletrodo revestido, o que é o caso, a tensão máxima τ_{max} é igual 98MPa, logo:

$$s = \frac{198,03}{\tau_{max}}. \quad (4.36)$$

$$s = \frac{198,03}{98}. \quad (4.37)$$

$$s = 2,02mm. \quad (4.38)$$

Para uma carga de fadiga, para a mesma situação de solda de filete utilizando eletrodo revestido, a tensão máxima τ_{max} é igual 35MPa, logo:

$$s = \frac{198,03}{\tau_{max}}. \quad (4.39)$$

$$s = \frac{198,03}{35}. \quad (4.40)$$

$$s = 5,66mm. \quad (4.41)$$

Foi realizada, também, através do *software* ANSYS, a especificação da espessura do cordão de solda a partir da carga, tipo e perfil de solda, como visto na Figura 4.21 e Figura 4.20.

4.4. Especificações da Junta Soldada entre a Luva e a Base

Para um coeficiente de segurança igual a 3, obteve-se uma espessura s igual a 2.02mm.

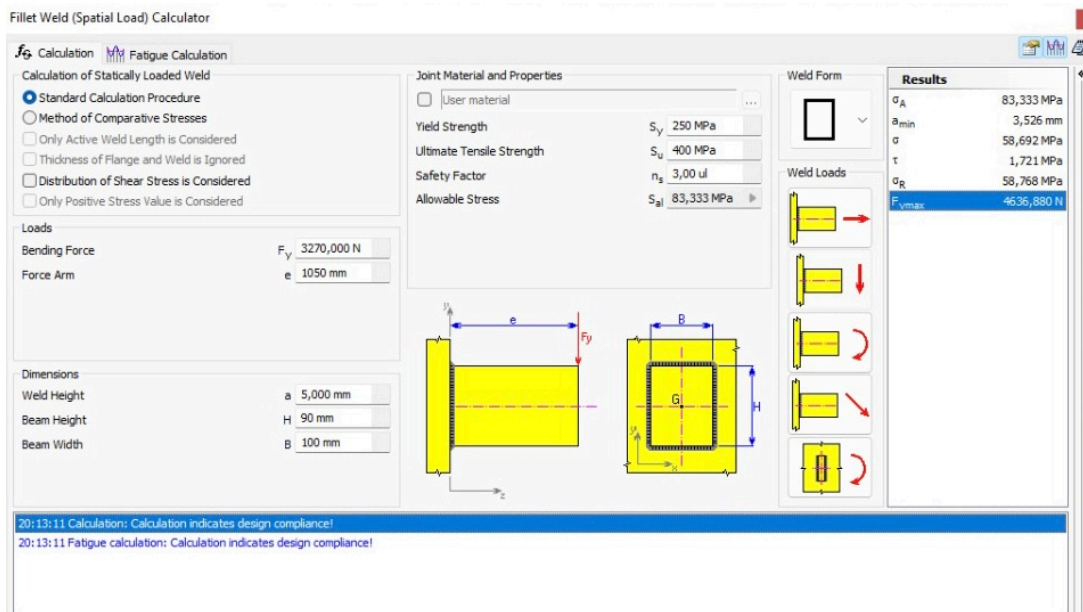


Figura 4.20 – Simulação da espessura do cordão de solda necessária para suportar o carregamento.

Para um coeficiente de segurança igual a 6.4, obteve-se uma espessura s igual a 7.52mm.

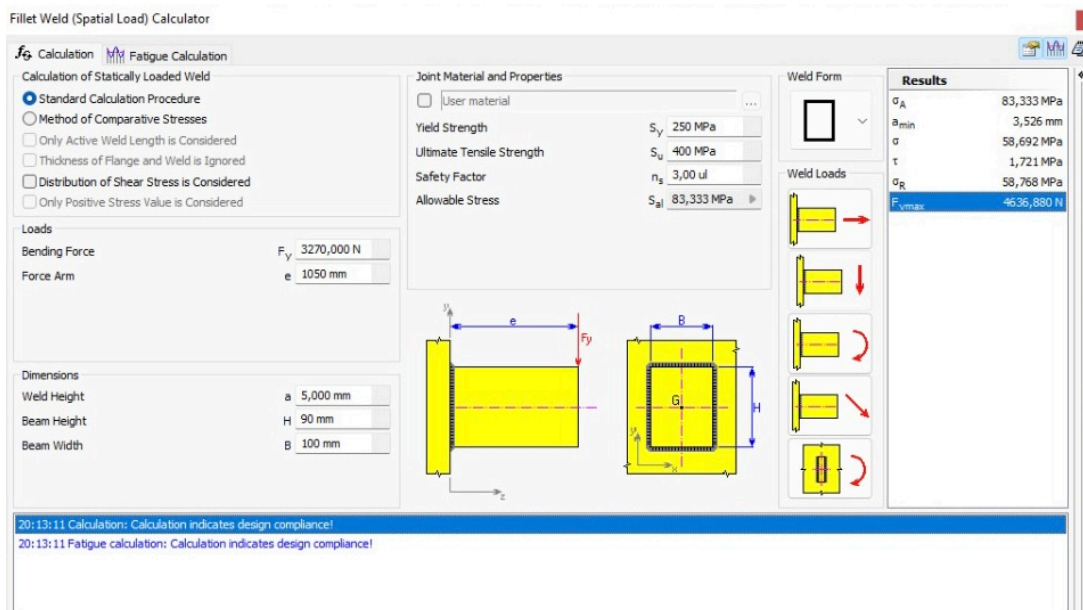


Figura 4.21 – Simulação da espessura do cordão de solda necessária para suportar o carregamento.

Os resultados podem ser resumidos na Tabela 4.1 .

Tabela 4.1 – Resultados das Espessuras do Cordão de Solda Obtidos.

Caso	Espessura
Metodologia Khurmi e Gupta (2005).	5,66mm
Simulação com coeficiente de segurança igual a 3.	2,02mm
Simulação com coeficiente de segurança igual a 6,4.	7,52mm

Com o intuito de reforçar ainda mais o sistema, será usada uma solda triangular com espessura de 10mm, ou seja, serão necessários 4 passos do eletrodo revestido *E7018 OK48* de 2,5mm de diâmetro.

4.5 Especificações do Atuador

Definidos os principais parâmetros de projeto, foi realizado o dimensionamento do atuador de acordo com a metodologia abordada da Subseção 3.6.2. A partir da Equação 3.1 que define o trabalho, o comprimento do fuso e o peso da carga definido na seção anterior, tem-se:

$$W = 5.532,8(N) \times 4(m), \quad (4.42)$$

$$W = 22.131,4J.$$

Determinando agora o tempo gasto para percorrer os 4m do fuso, utiliza-se a velocidade da carga determinada na seção anterior e a Equação 3.2, em que:

$$t = \frac{4(m)}{0,15(m/s)}, \quad (4.43)$$

$$t = 26,6s.$$

Como a potência mecânica é dada pelo produto entre a força peso atuante e a distância percorrida dividida pelo tempo de atuação dessa força, mostrada na Equação 3.3, é possível obter, através do trabalho realizado e o tempo de atuação da força peso, que:

$$P_{mec} = \frac{5.532,84(N)4(m)}{26,6(s)}, \quad (4.44)$$

$$P_{mec} = 832W.$$

Em seguida, para determinar então a potência do motor, aplicou-se o rendimento de transmissão obtido na tabela com os modelos de fuso na Equação 3.4, obtendo:

$$P_{motor} = \frac{832(W)}{0.37}, \quad (4.45)$$

$$P_{motor} = 2.248,6(W). \quad (4.46)$$

Transformando a unidade da potência do motor de Watts para cavalos, tem-se:

$$W = \frac{1}{736(cv)}. \quad (4.47)$$

Assim,

$$P_{motor} = \frac{2.248,6(W)}{736}, \quad (4.48)$$

$$P_{motor} = 3,05cv. \quad (4.49)$$

Encontrada a potência do motor, foi preciso dimensionar um modelo comercial, e para isso, considerou-se alguns parâmetros, como:

- potência do motor;
- alimentação;
- rotação requerida.

A alimentação no CEFET-MG é trifásica e, nesse sentido, optou-se por escolher uma alimentação igual a 220V. Como a rotação do fuso deve ser de 194 rpm para que a base da plataforma translade na velocidade correta, optou-se por selecionar um motor com menor rotação quando comparado aos motores de dois polos, de modo que a redução fosse menos brusca.

Nesse sentido, analisando o catálogo de modelos comerciais da WEG, (COMERCIAL, 2022a), encontrou-se o modelo W22 Super Premium, mostrado na Figura 4.22.



Figura 4.22 – W22 Super Premium. Fonte: (COMERCIAL, 2022a).

As especificações do motor podem ser encontradas na Figura 4.23.

Características	
• Carcaça:	100L
• Potência:	3 HP
• Frequência:	60 Hz
• Polos:	4
• Rotação nominal:	1750
• Escorregamento:	2,78 %
• Tensão nominal:	220/380/440 V
• Corrente nominal:	8,42/4,87/4,21 A
• Corrente de partida:	72,4/41,9/36,2 A
• I_p / I_n :	8,6
• Corrente a vazio:	4,60/2,66/2,30 A
• Conjugado nominal:	12,0 Nm
• Conjugado de partida:	380 %
• Conjugado máximo:	370 %
• Categoria:	---
• Classe de isolamento:	F
• Elevação de Temperatura:	80 K
• Tempo de Rotor Bloqueado:	23 s (quente)
• Fator de serviço:	1,25
• Regime de serviço:	S1
• Temperatura Ambiente:	-20°C – +40°C
• Altitude:	1000 m
• Proteção:	IP55
• Massa aproximada:	35 kg
• Momento de inércia:	0,01042 kgm²
• Nível de ruído:	54 dB(A)

Figura 4.23 – W22 Super Premium. Fonte: (COMERCIAL, 2022a).

Como o motor possui uma rotação nominal igual a 875 rpm e a rotação máxima requerida para o projeto é 194 rpm, foi necessário dimensionar uma redução para o mesmo, de tal maneira que:

$$n_{entrada} = I \times n_{sada}, \quad (4.50)$$

em que:

- $n_{entrada}$ = rotação do motor;
- n_{saida} = rotação do fuso;
- I = redução.

Logo, tem-se:

$$I = \frac{n_{entrada}}{n_{saida}}, \quad (4.51)$$

$$I = \frac{875}{194}, \quad (4.52)$$

$$I = 4,6. \quad (4.53)$$

Nesse sentido, o modelo comercial que se aproxima dessa redução se dá pelo redutor 1/7,5, como visto na Figura 4.24.



Figura 4.24 – Motoredutor de Alumínio 1/7,5.

Assim, a velocidade máxima da saída do redutor referente aos 60 Hz é 233 rpm. Para a velocidade de 194 rpm, a frequência referente a essa velocidade é 50Hz.

4.6 Especificações do Inversor de Frequência

Com o intuito de especificar o modelo comercial do inversor de frequência, analisou-se 3 parâmetros, dados por:

- potência do motor em KW, corrente nominal do motor,
- alimentação,
- tipo de inversor (escalar ou vetorial).

Analisando então esses parâmetros, encontrou-se o inversor ATV320, como mostrado na Figura 4.26.



Figura 4.25 – Inversor de Frequência ATV320. Fonte: (COMERCIAL, 2022b).

A parametrização do inversor comercial não foi realizada neste trabalho uma vez que poderão ser necessários ajustes na instalação de modo que a base alcance velocidade zero na altura desejada.

4.7 Especificações do Disjuntor

Para especificar o disjuntor, utilizou-se duas variáveis, como dito no Capítulo 3, a potência elétrica e a tensão de alimentação.

Assim, tem-se que:

$$I = \frac{P}{v}, \quad (4.54)$$

$$I = \frac{2200}{220}, \quad (4.55)$$

$$I = 10A. \quad (4.56)$$

A corrente do disjuntor é dado então por:

$$I = 10 \times 1.3 \quad (4.57)$$

$$I = 13A. \quad (4.58)$$

Desse modo, escolheu-se o disjuntor trifásico easy9 da Schneider de 16A.



Figura 4.26 – Disjuntor Schneider

4.8 Lógica de Comando

Para dar início ao projeto elétrico da plataforma, utilizando o *software* CADe SIMU, foi desenvolvido, inicialmente, o circuito de acionamento direto de um motor trifásico, com reversão, já com algumas características da lógica da plataforma, com a finalidade de compreender inicialmente as demandas do projeto.

A parte de potência do circuito pode ser vista na Figura 4.27, em que foram inseridos a alimentação trifásica, dois disjuntores, um para o circuito geral e outra para a parte de potência, um relé falta de fase para caso haja variações ou ausência de uma das fases, e os contatores para acionar o motor nos dois sentidos, além do motor trifásico em si.

Já a parte desenvolvida referente ao comando pode ser vista na Figura 4.28. Ela consiste, inicialmente, em um disjuntor, uma botoeira de emergência, uma chave referente ao relé falta de fase, dois fim de curso reserva (FC1 e FC2), um referente ao fim de curso inferior (FC3) e o outro ao superior (FC4), para caso ocorra a falha de algum deles, dois sensores que não permitem acionamento do atuador caso uma das duas portas estejam abertas.

Em seguida, foi realizada a lógica de acionamento do motor com os botões S1A, S1B,

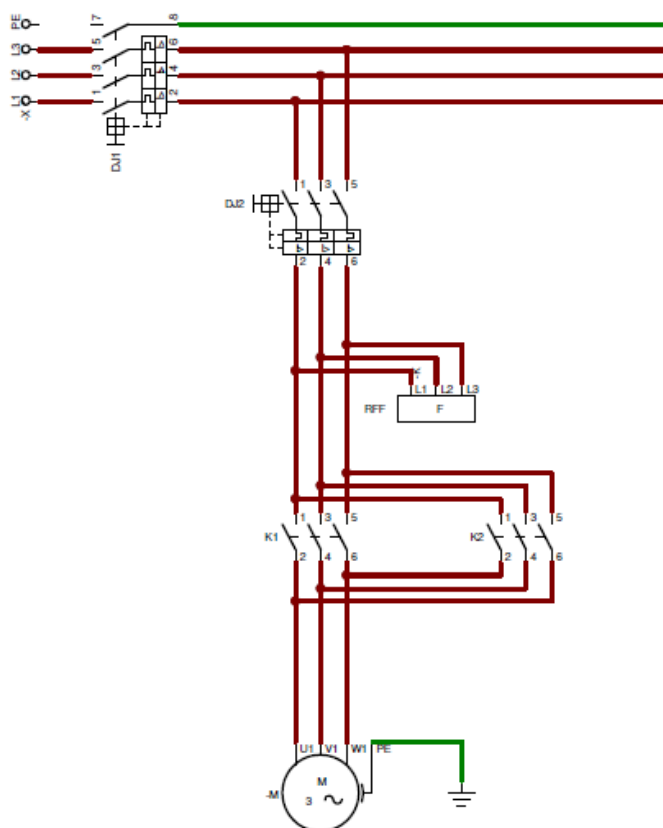


Figura 4.27 – Circuito de Potência da Partida Direta com Reversão.

selados através da chave e o relé K1, e S2A e S2B, selados através da chave e relé K2.

Foi realizado também o intertravamento do acionamento do motor, de modo que não seja possível acionar o motor nos sentidos ao mesmo tempo, assim como foram inseridos os sensores de fim de curso FC3 e FC4.

Para facilitar a simulação, foi feito um painel de acionamento com os botões referentes a cada etapa, ou seja, caso a base esteja no andar superior e a pessoa estiver no andar inferior, basta apertar o botão S2A para a base descer até o andar desejado. O mesmo ocorre para quem está o no andar superior e a base está no andar inferior, basta clicar no botão S1A e a base irá subir até o andar desejado. Quando a base estiver no andar desejado, com ou sem acionamento prévio, basta entrar na cabine e selecionar o botão S1B, caso queira subir, ou o S2B, caso queira descer. O diagrama completo pode ser visto no Apêndice D.

Em seguida, foi desenvolvido um diagrama similar, com o intuito de acionar o motor nos dois sentidos, porém com o inversor de frequência, de modo que fosse possível criar uma rampa de aceleração para o acionamento do motor, para evitar acelerações que danificassem o sistema com o decorrer do tempo.

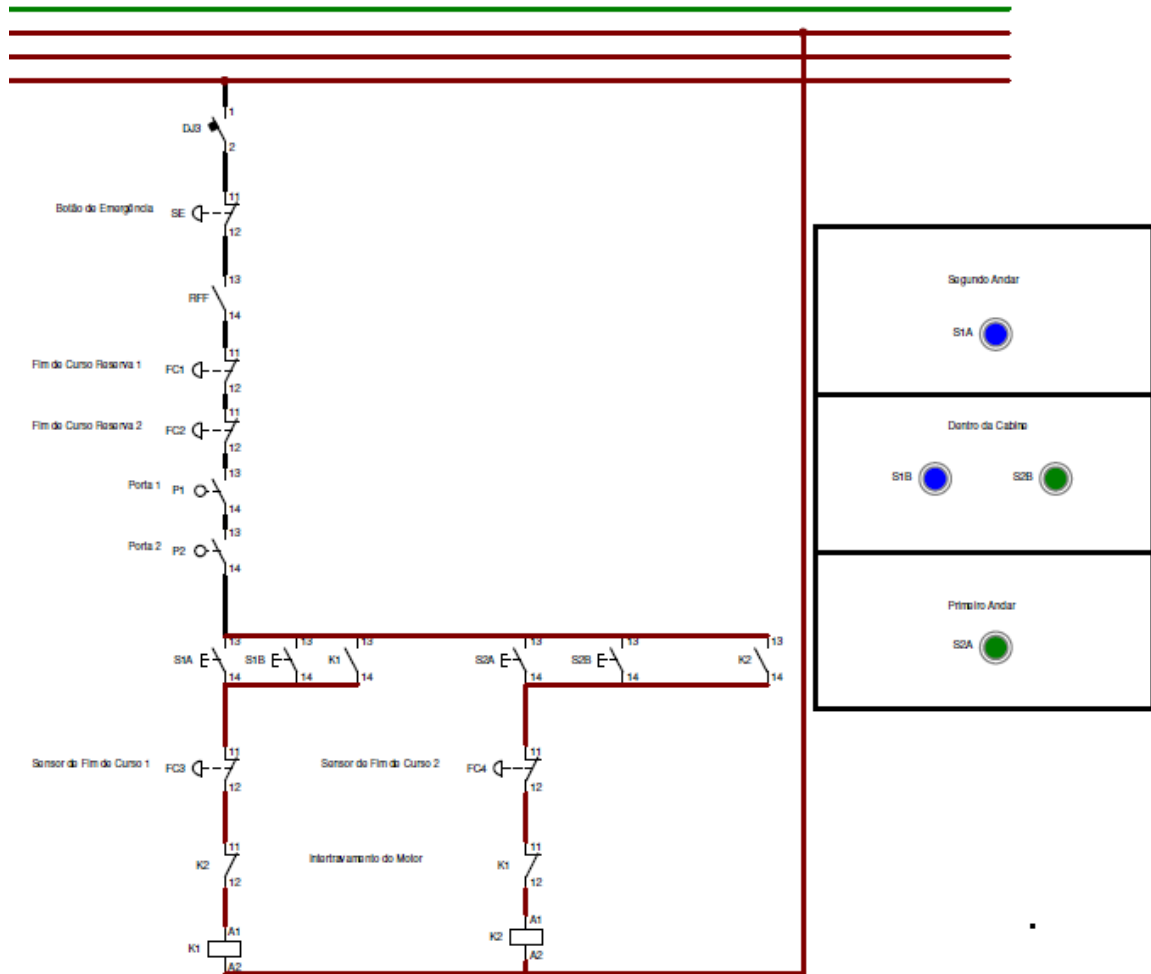


Figura 4.28 – Circuito de Comando da Partida Direta com Reversão.

Na parte de potência do circuito, mostrado na Figura 4.29, pode-se perceber que há um disjuntor termomagnético tripolar para a proteção do circuito de força, seguido de um fusível, um inversor de frequência e o motor trifásico.

Já na parte de comando, como visto na Figura 4.30, o circuito se assemelha ao desenvolvido anteriormente, ele possui os mesmos sensores de fim de curso reserva, possui uma chave de emergência, a parte de acionamento com selo, o intertravamento e os sensores principais que comunicam com os sensores de fim de curso do sistema Fuso-Motor fornecido pelo CADe SIMU, como visto na Figura 4.32.

Durante a simulação do circuito, foi possível configurar o inversor em relação a alguns fatores como a rotação máxima do motor em rpm, a frequência máxima e mínima, três valores frequência para controle da velocidade para a rampa de aceleração e o tempo da rampa de aceleração, como pode ser visto na Figura 4.32.

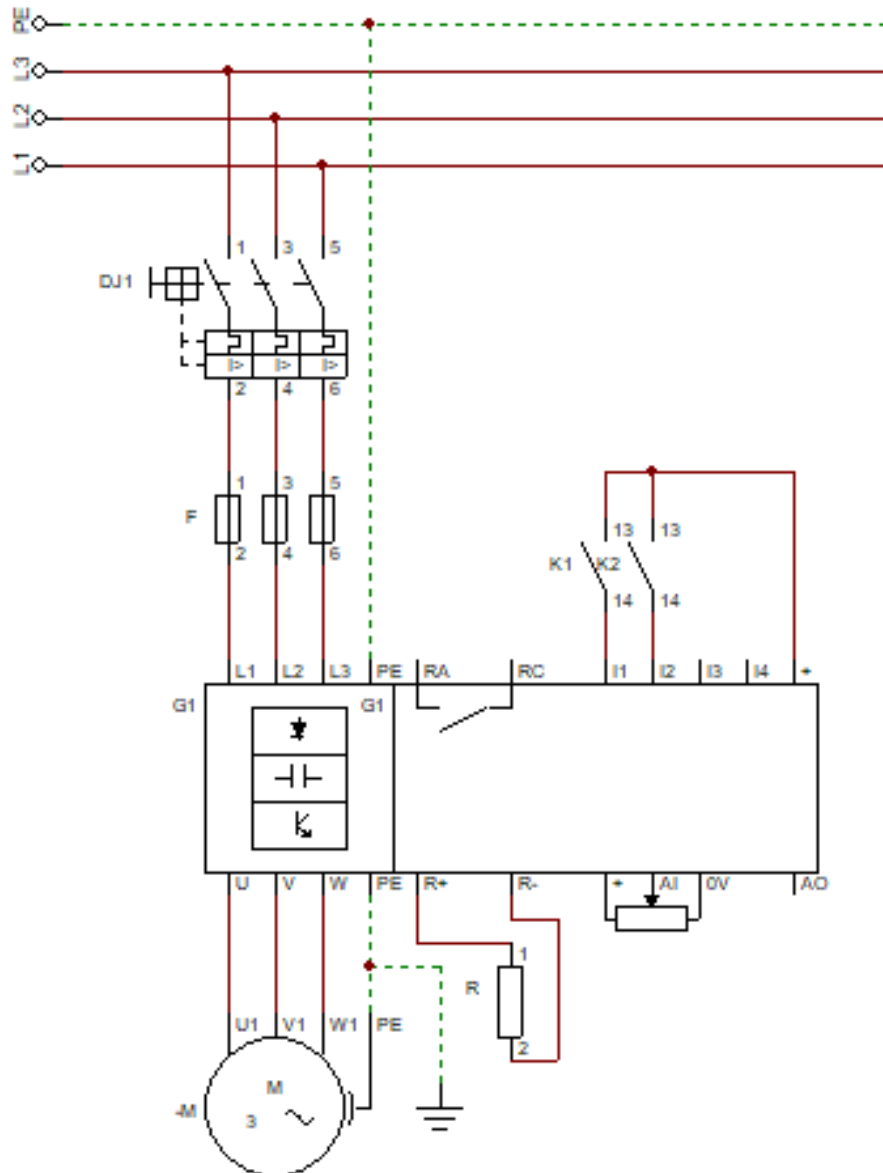


Figura 4.29 – Circuito de Potência da Partida com Inversor.

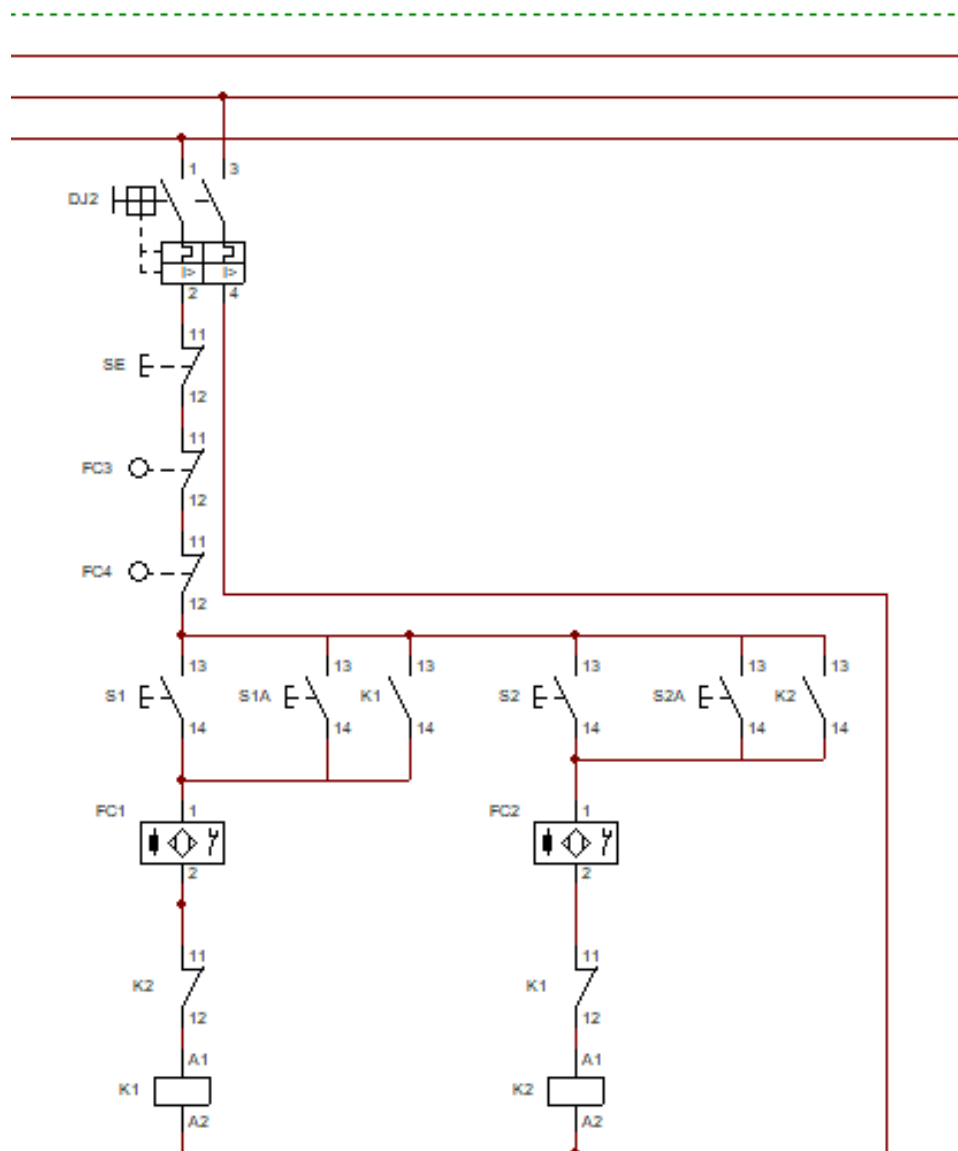


Figura 4.30 – Circuito de Comando da Partida com Inversor.

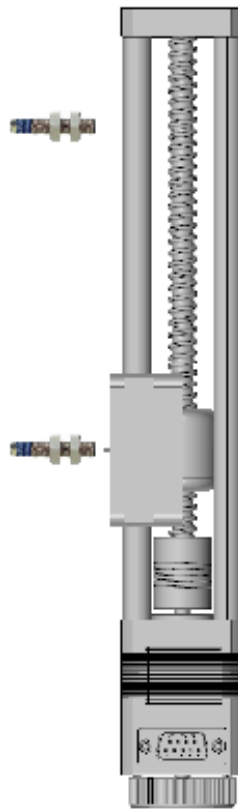


Figura 4.31 – Sistema Fuso-Motor CA De SIMU.

Editar variador de velocidade

Control Variador velocidad ca.

Nome:	Visualizar	Velocidade do motor	Controle de velocidade
G1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/> 3000	Ingressos digitais:
Função:	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/> 1500	<input checked="" type="radio"/> 2 fios
Conexão 1:	RA <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/> 1000	<input type="radio"/> 3 fios
Conexão 2:	RC <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/> 750	<input checked="" type="checkbox"/> Pot. Analógico
Conexão 3:	I1 <input checked="" type="checkbox"/>	Frequência do variador	
Conexão 4:	I2 <input checked="" type="checkbox"/>	Frequência mínima (0-200 Hz): 0	
Conexão 5:	I3 <input checked="" type="checkbox"/>	Frequência máxima (0-200 Hz): 50	
Conexão 6:	I4 <input checked="" type="checkbox"/>	Velocidade predefinida	
Conexão 7:	+ <input checked="" type="checkbox"/>	1ª Velocidade predefinida (0-200Hz): Valor definido de entrada analógica	
Conexão 8:	R+ <input checked="" type="checkbox"/>	2ª Velocidade predefinida (0-200Hz): 10	
Conexão 9:	R- <input checked="" type="checkbox"/>	3ª Velocidade predefinida (0-200Hz): 25	
Conexão 10:	+ <input checked="" type="checkbox"/>	4ª Velocidade predefinida (0-200Hz): 50	
Conexão 11:	A1 <input checked="" type="checkbox"/>	Tempo de rampa	
Conexão 12:	0V <input checked="" type="checkbox"/>	Tempo de rampa de aceleração (0-99 Seg): 5	
Conexão 13:	A0 <input checked="" type="checkbox"/>	Tempo de rampa de desaceleração (0-99 Seg): 5	
OK		Cancel	
		Injeção de corrente direta	
		<input checked="" type="radio"/> Tempo de injeção na parada (1-30 Seg): 0	
		<input type="radio"/> injeção permanentemente	

Figura 4.32 – Configuração do Inversor de Frequência como Regulador da Velocidade.

4.9 Especificação do Sensor de Fim de Curso

Para a plataforma de elevação, pelo fato do sensor estar sujeito a intempéries, é preferido sensores eletromecânicos como os da Figura 3.11, uma vez que podem trabalhar com isolamento do ambiente sem interferências no seu mecanismo.

Dentre as utilidades desse componente, para esse projeto, ele será usado para detectar a posição da altura da plataforma de modo que trave ou destrave a porta dos dois pontos de parada, alternadamente, de modo que, ao chegar no nível desejado, a plataforma o acione, interrompendo assim o motor no sentido em que estava atuando e liberando a porta do andar alcançado.

Essa chave será normalmente fechada com retorno por mola, de modo que trave a porta por onde o usuário entrou no momento em que a plataforma abandona o andar de entrada.

Nesse sentido, o modelo comercial escolhido foi o fim de curso OsiSense XC, mostrado na Figura 4.33.



Figura 4.33 – Sensor de Fim de Curso OsiSense XC. Fonte: (COMERCIAL, 2022b)

4.10 Concepção Geral Final

Este capítulo tem o objetivo de apresentar uma concepção aproximada da plataforma elevatória pensada para o projeto. O resultado pode ser visto na Figura 4.34.



Figura 4.34 – Concepção Geral do Projeto.

4.11 Orçamentos

Unidades	Produto	Preço
2	Disjuntor	R\$ 150,00
1	Motor	R\$ 1.600,00
1	Redutor	R\$ 465,00
1	Porca Acionadora	R\$1.200,00
1	Fuso	R\$ 3.000,00
1 base de 1.6 m ²	Base Alumínio	R\$ 1.600,00
5 unidades de 6 m.	Metalon	R\$ 1.920,00
1	Luva	R\$ 580,00
2	Mancais	R\$ 720,00
4	Sensor Mecânico	R\$ 324,00
4	Roldanas de Nylon	R\$ 200,00
15 m ² de 10 mm	Vidro	R\$ 2.850,00
TOTAL		R\$ 14.609

Comparando o resultado obtido nesse orçamento com os orçamentos feitos no início do trabalho, mostrados na Tabela 3.1, observa-se que o somatório do preço dos principais produtos representou, com o enclausuramento, 88% do orçamento do elevador mais barato, sem enclausuramento.

Considerando agora os elevadores com enclausuramento, o orçamento obtido representa um valor de 47,13% do orçamento mais barato e 22,5% do orçamento mais caro, o que revela uma grande diminuição do custo para instalar um sistema de elevação vertical.

Considerações Finais

Este capítulo apresenta as conclusões parciais obtidas dos resultados adquiridos até então e a proposta de trabalho futuro para continuidade do mesmo em TCC 2.

5.1 Conclusões

De acordo com os resultados apresentados, dos 21 itens estabelecidos no cronograma referente ao TCC 1 e TCC 2, o projeto do sistema de elevação cumpriu 18 deles, uma vez que os itens 3.1, 3.2 e 3.3, referentes ao projeto civil, serão delegados ao Setor de Obras e Infraestrutura do CEFET-MG, ou contratados externamente, caso o objetivo desta implementação seja extramuros.

Dos 8 requisitos gerais estabelecidos no início do projeto e exigidos pela norma NBR 9386-1, todos eles foram cumpridos, uma vez que o projeto foi desenvolvido baseando-se nesses requisitos, dados pela frequência de uso, proteção contra os diversos riscos, manutenção, velocidade máxima, resistência a forças de operações, fatores de segurança, proteção contra intempérie e sistema de elevação.

Por conseguinte, analisando o projeto de um modo geral, pode-se concluir que o presente trabalho concluiu grande parte dos objetivos estabelecidos, já que foi obtido um orçamento dos principais materiais, com enclausuramento, que é dado pela estrutura em vidro e aço carbono que protege o sistema contra intempéries, igual a 47,13% do valor do orçamento mais barato com enclausuramento, assim como possibilitou a aquisição de *know-how* e permitiu a aplicação dos conhecimentos adquiridos durante o curso para o desenvolvimento desse trabalho de cunho extensionista.

5.2 Proposta de Trabalhos Futuros

Esta seção possui o objetivo de sugestão de trabalhos futuros relacionados ao projeto desenvolvido até então.

Um fator que poderia acrescentar significativamente para o projeto, apesar das normas NBR9050 e NBR 9386-1, para plataformas elevatórias, não exigirem como a NBR 16858 exige para elevadores, seria desenvolver ou especificar um sensor de peso que impedisse o acionamento do atuador caso o peso dos usuários excedesse o limite estabelecido, mesmo que não seja para aplicações as quais possuem deslocamentos verticais semelhantes às dos elevadores, com o objetivo de propor uma solução metodologicamente possível, a fim de que se popularizasse o uso, sem necessidade de quebra de nenhuma patente.

O desenvolvimento de um sistema de tranca das portas, com um sensor magnético ou mecânico, de modo que tornasse impossível abrir as duas portas ao mesmo tempo, independente do estado do atuador, seria muito engrandecedor para o trabalho, uma vez que tornaria o sistema mais seguro.

Outro seguimento passível de ser continuidade deste trabalho seria a inclusão do projeto civil relacionado à fundação, escoramento, contenção e alvenaria.

Cronograma Referente ao TCC 1 e TCC 2

1. Estudo teórico

- 1.1. Sistema de Elevação – serão pesquisados em livros, artigos e sites os princípios de funcionamento do sistema de elevação vertical e a dinâmica do processo.
- 1.2. Normas Técnicas – serão estudadas as normas técnicas para que se pense no projeto mecânico e eletrônico de modo que cumpra os requisitos de segurança.
- 1.3. Projeto Mecânico – estudo de técnicas de projeto mecânico.
- 1.4. Projeto Civil
- 1.5. Instrumentação- estudo de circuito de acionamento, proteção e tratamento de sinais.

2. Projeto Mecânico

- 2.1. Dimensionamento
- 2.2. Escolha do material
- 2.3. Escolha do atuador
- 2.4. Simulação

3. Projeto Civil

- 3.1. Fundação
- 3.2. Escoramento
- 3.3. Contenção e alvenaria

4. Projeto Eletrônico

4.1. Circuito de potência

4.2. Circuito de acionamento

4.3. Circuito de proteção

4.4. Lógica

5. Relatório

5.1. Escrita TCC 1

5.2. Defesa TCC 1

5.3. Escrita TCC 2

5.4. Revisão do documento de TCC2

5.5. Defesa TCC 2

Tabela A.1 – Cronograma de atividades para TCC1 e TCC2.

Etapa	2021								2022	
	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.
1.1	x	x								
1.2	x	x								
1.3	x	x								
1.4		x	x	x						
1.5			x	x	x					
2.1			x	x						
2.2			x	x						
2.3				x	x					
2.4			x	x	x	x				
3						x	x			
3.1						x	x			
3.2						x	x			
3.3						x	x			
4.1						x	x			
4.2						x	x			
4.3							x	x		
4.4							x	x		
5.1	x	x	x							
5.2				x						
5.3					x	x	x	x		
5.4									x	

Apêndice **B**

Catálogos de Fuso Trapezoidal e Porca

B. Catálogos de Fuso Trapezoidal e Porca

dimensões normalmente não variáveis							valores decrescentes proporcionais			valores crescentes proporcionais				
rosca trapezoidal	comprimento padrão da porca	número de filetes presos à porca	superfície de contato de um filete	superfície de contato em todo o perfil da porca	superfície de contato linear de um filete em toda a porca	η eficiência ($f=0,10$) com boa lubrificação	VELOCIDADE calculado sobre a superfície de contato linear de um filete para o número de rotações/min com base em 25min/min	VELOCIDADE DE CONTATO	max carga a ser levantada a uma velocidade máxima (L parafuso max 100 vezes Ø)	pressão média distribuída nos filetes da rosca	pressão sobre a primeira rosca (1/3 de toda a carga)	torque necessário para o levantamento (fator de serviço FS 2.5)		
TR x Ø x PITCH	mm	n.	mm ²	mm ²	mm	-	RPM	mm (linear) por min.	metros por minuto	Kg	Kg/mm ²	Kg/mm ²	Nm	
TR 10x2	20	10	28,3	283	28,3	0,40	883	1.766	25	30	0,11	0,36	0,60	
TR 10x3	20	6,7	40	268	26,7	0,51	936	2.808	25	40	0,15	0,34	0,95	
TR 12x3	22	7,3	49,5	361	33	0,46	757	2.271	25	51	0,15	0,35	1,33	
TR 14x3	25	8,3	58,9	489	39,2	0,42	637	1.911	25	63	0,13	0,36	1,80	
TR 14x4	25	6,3	75,4	475	37,7	0,50	663	2.652	25	76	0,16	0,34	2,43	
TR 16x4	30	7,5	88	660	44	0,46	568	2.272	25	91	0,14	0,35	3,15	
TR 18x4	35	8,7	100,4	873	50,2	0,43	498	1.992	25	107	0,13	0,36	3,98	
TR 20x4	40	10	113	1.130	56,5	0,40	442	1.768	25	122	0,11	0,36	4,83	
TR 22x5	40	8	153	1.224	61,2	0,44	408	2.040	25	162	0,14	0,36	7,40	
TR 24x5	45	9	168	1.512	67,5	0,41	370	1.850	25	181	0,12	0,36	8,73	
TR 25x5	45	9	177	1.593	70,7	0,40	353	1.765	25	190	0,12	0,36	9,40	
TR 26x5	45	9	185	1.665	73,8	0,39	338	1.690	25	200	0,13	0,37	10,15	
TR 28x5	50	10	200	2.000	80	0,37	312	1.560	25	219	0,11	0,37	11,68	
TR 30x6	50	8,3	255	2.116	84,8	0,40	295	1.770	25	274	0,13	0,36	16,25	
TR 32x6	50	8,3	273	2.266	91	0,39	275	1.650	25	297	0,14	0,37	18,38	
TR 35x6	60	10	300	3.000	100	0,36	250	1.500	25	331	0,12	0,37	21,78	
TR 36x6	60	10	312	3.120	104	0,36	240	1.440	25	343	0,11	0,37	23,00	
TR 40x7	65	9,3	403	3.748	115	0,37	217	1.519	25	440	0,12	0,37	33,28	
TR 45x8	80	10	516	5.160	129	0,37	194	1.552	25	564	0,11	0,37	48,20	
TR 46x8	80	10	528	5.280	132	0,37	190	1.520	25	579	0,11	0,37	50,25	
TR 50x8	80	10	580	5.800	145	0,35	172	1.376	25	640	0,12	0,37	58,83	
TR 55x9	95	10,6	714	7.568	159	0,35	157	1.413	25	788	0,11	0,37	80,20	
TR 60x9	95	10,6	784	8.310	175	0,33	143	1.287	25	874	0,11	0,37	94,60	
TR 65x10	95	9,5	940	8.930	188	0,34	133	1.330	25	1.048	0,12	0,37	123,78	
TR 70x10	120	12	1.020	12.240	204	0,32	123	1.230	25	1.143	0,10	0,37	142,38	
TR 75x10	120	12	1.100	13.200	220	0,30	114	1.140	25	1.218	0,10	0,37	159,60	
TR 80x10	120	12	1.175	14.100	235	0,29	106	1.060	25	1.333	0,10	0,38	183,28	
TR 90x12	150	12,5	1.584	19.800	264	0,30	95	1.140	25	1.782	0,10	0,38	273,12	
TR 100x12	150	12,5	22.125	22.125	295	0,28	85	1.020	25	2.011	0,10	0,38	335,82	
							A				B			C

Tabela retirada do catálogo da Bimeccanica

Fuso de Rosca Trapezoidal



A = velocidade (RPM)
B = carga em elevação guiada
C = torque requerido Nm

Figura B.1 – Catálogo de Dimensionamento de Fuso Trapezoidal. Fonte: (A.T.I., 2017).

CÓDIGO		TR (mm)	Passo (mm)	L (mm)	Peso (Kg)
DIREITA	ESQUERDA				
BMTR10X1500	BMTR10X1500SX	10	3	1500	0,67
BMTR12X1500	BMTR12X1500SX	12	3	1500	1,02
BMTR14X1500	BMTR14X1500SX	14	4	1500	1,33
BMTR16X1500	BMTR16X1500SX	16	4	1500	1,80
BMTR18X1500	BMTR18X1500SX	18	4	1500	2,37
BMTR18X2000	BMTR18X2000SX	18	4	2000	3,16
BMTR20X2000	BMTR20X2000SX	20	4	2000	3,90
BMTR25X2000	BMTR25X2000SX	25	5	2000	6,16
BMTR30X2000	BMTR30X2000SX	30	6	2000	8,80
BMTR30X4000	BMTR30X4000SX	30	6	4000	17,60
BMTR36X2000	BMTR36X2000SX	36	6	2000	12,54
BMTR36X4000	BMTR36X4000SX	36	6	4000	26,48
BMTR40X2000	BMTR40X2000SX	40	7	2000	16,14
BMTR40X4000	BMTR40X4000SX	40	7	4000	32,28
BMTR45X2000	BMTR45X2000SX	45	8	2000	20,60
BMTR45X4000	BMTR45X4000SX	45	8	4000	41,20
BMTR50X2000	BMTR50X2000SX	50	8	2000	25,84
BMTR50X4000	BMTR50X4000SX	50	8	4000	51,68
BMTR60X2000	BMTR60X2000SX	60	9	2000	37,70
BMTR60X4000	BMTR60X4000SX	60	9	4000	75,40

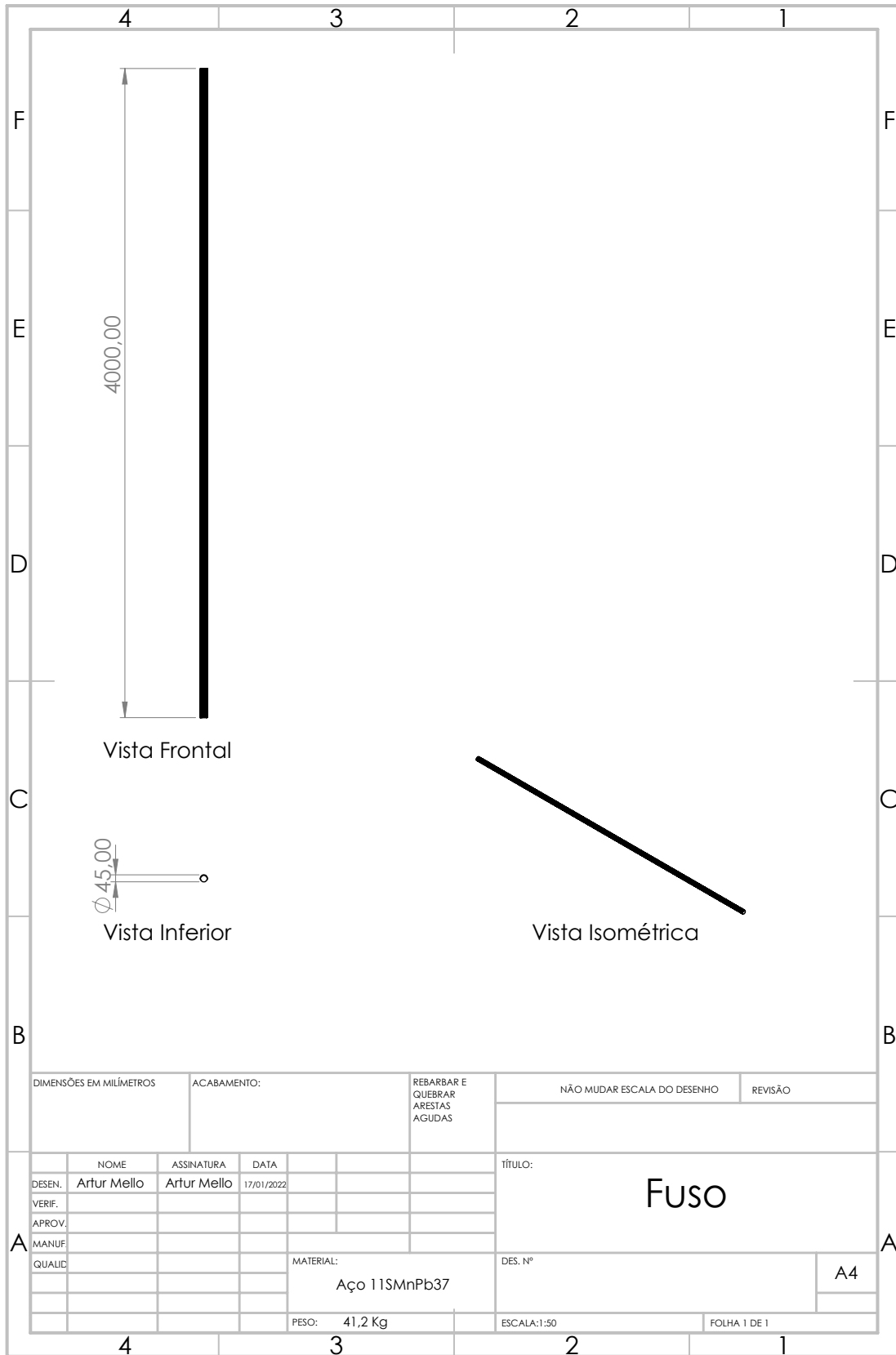
Figura B.2 – Catálogo Comercial de Fusos Trapezoidais. Fonte: (A.T.I., 2017).

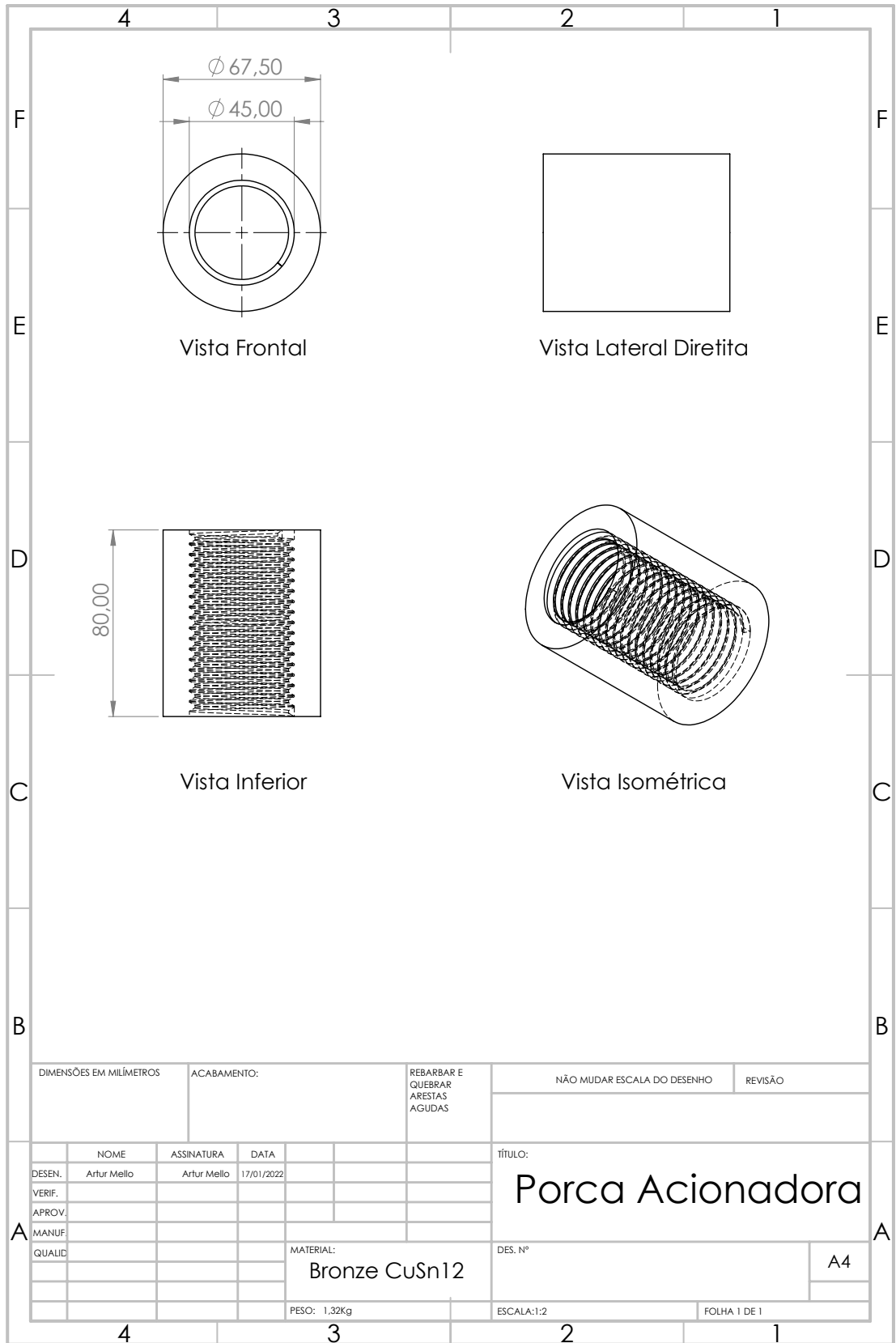
CÓDIGO		ROSCA	Passo (mm)	Dh (mm)	L (mm)	Peso (KG)
DIREITA	ESQUERDA					
BMCH10B	BMCH10BSX	10	3	20	20	0,05
BMCH12B	BMCH12BSX	12	3	24	25	0,08
BMCH14B	BMCH14BSX	14	4	24	25	0,08
BMCH16B	BMCH16BSX	16	4	28	30	0,12
BMCH18B	BMCH18BSX	18	4	34	3	0,22
BMCH20B	BMCH20BSX	20	4	38	40	0,31
BMCH25B	BMCH25BSX	25	5	44	45	0,44
BMCH30B	BMCH30BSX	30	6	48	50	0,54
BMCH36B	BMCH36BSX	36	6	58	60	0,93
BMCH40B	BMCH40BSX	40	7	64	65	1,22
BMCH45B	BMCH45BSX	45	8	68	80	1,62
BMCH50B	BMCH50BSX	50	8	74	80	1,79
BMCH60B	BMCH60BSX	60	9	84	95	2,54

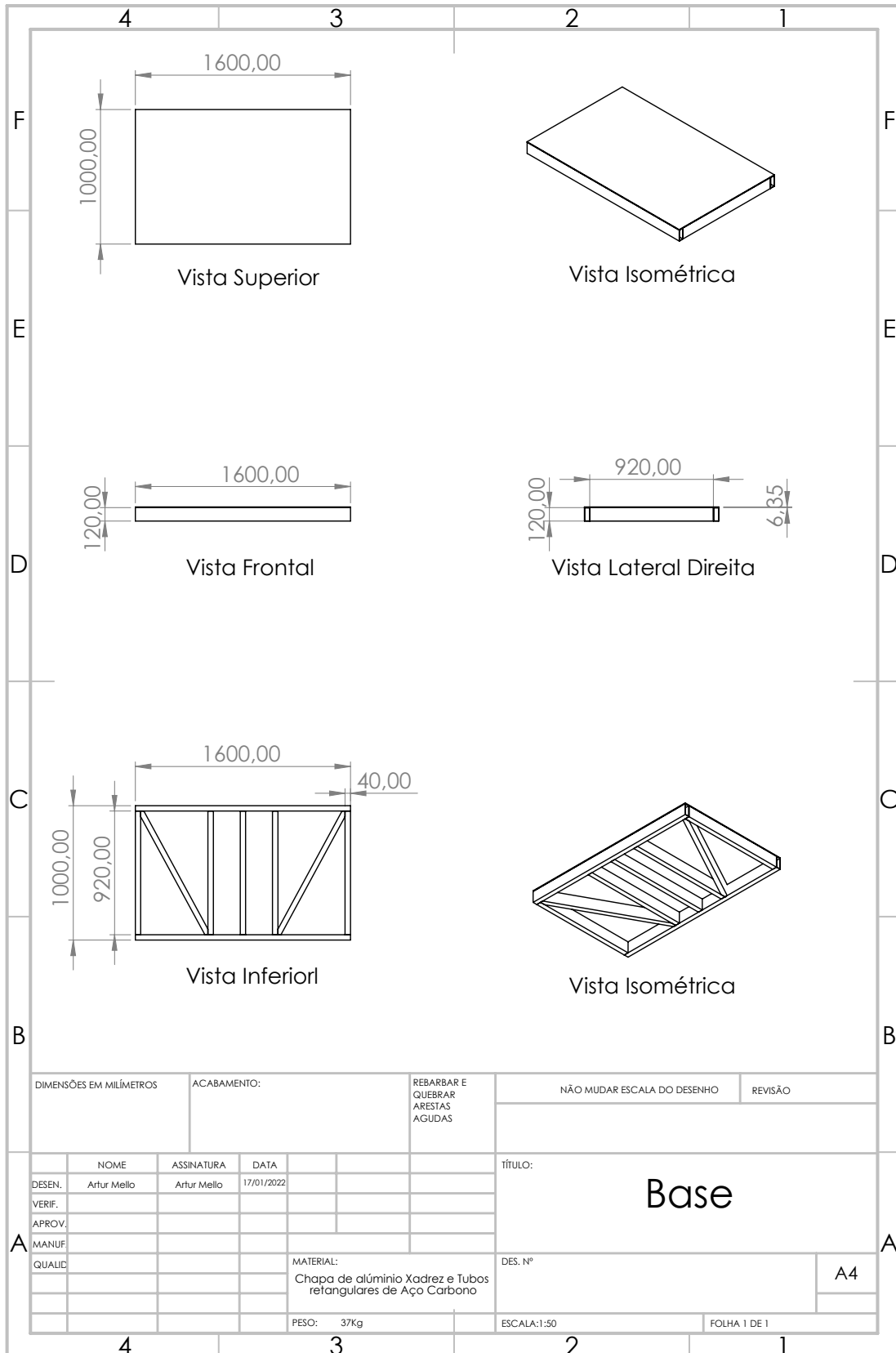
Figura B.3 – Catálogo Comercial de Porca. Fonte: (A.T.I., 2017).

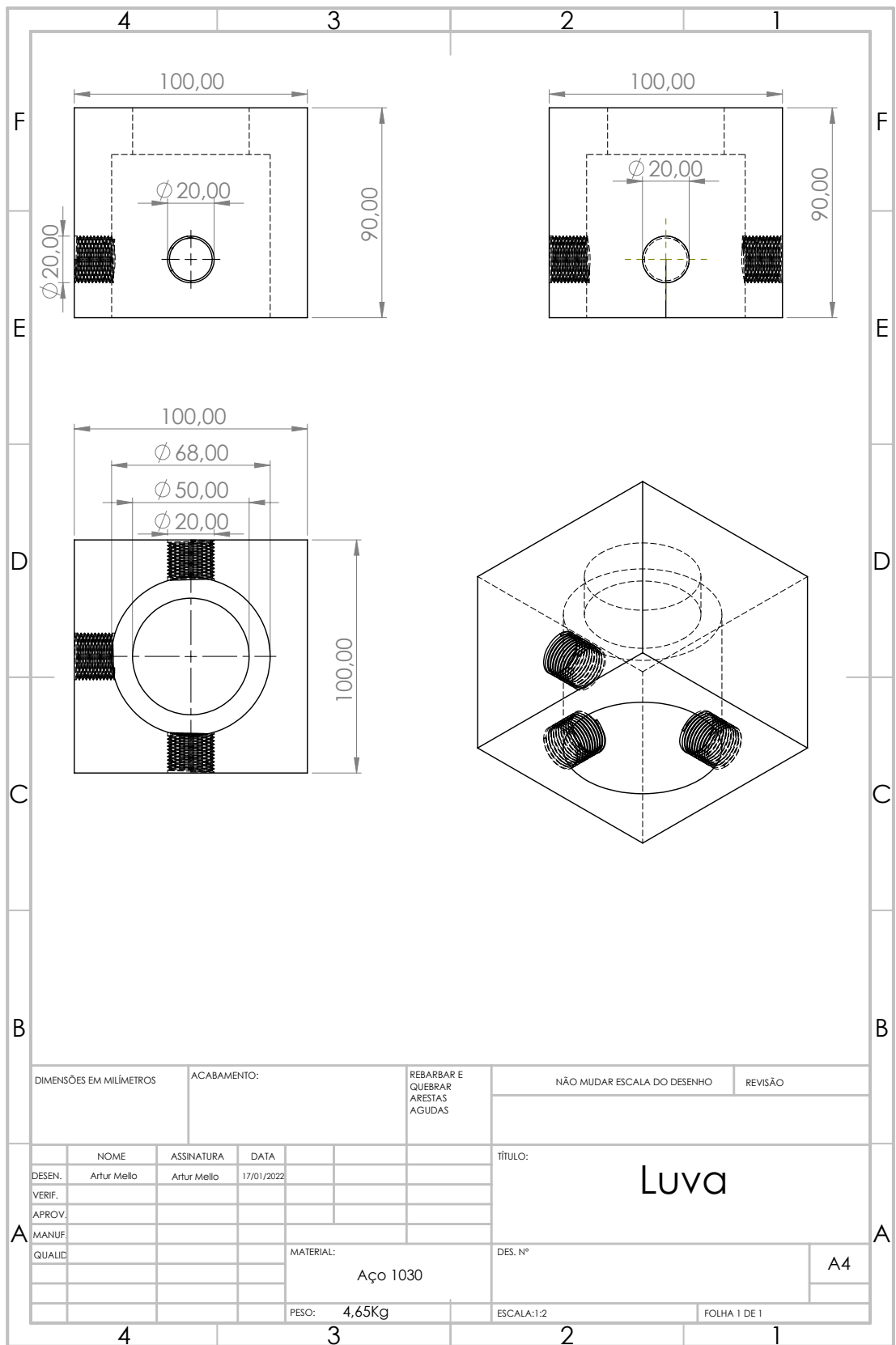
Apêndice **C**

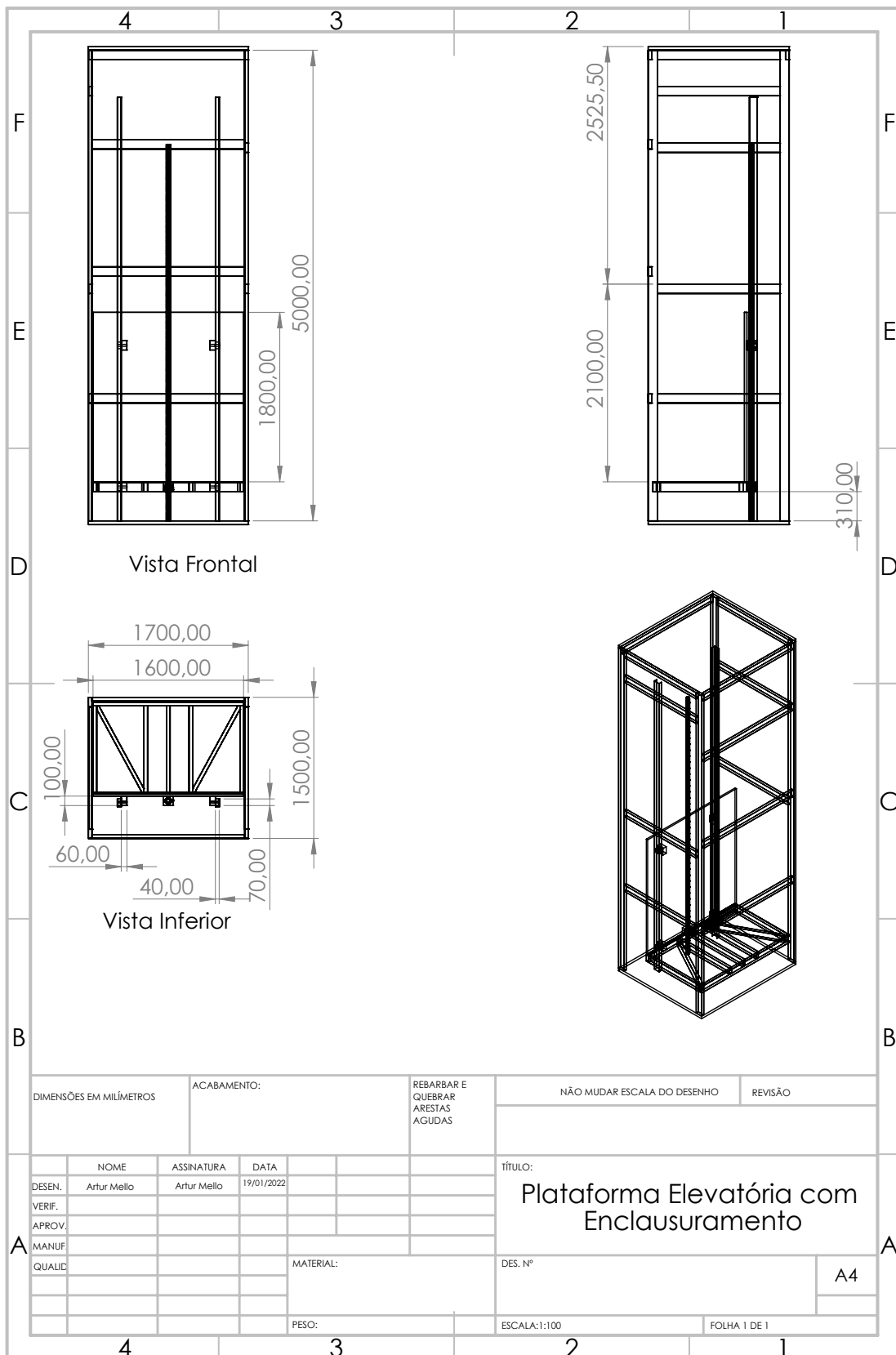
Desenhos Técnicos





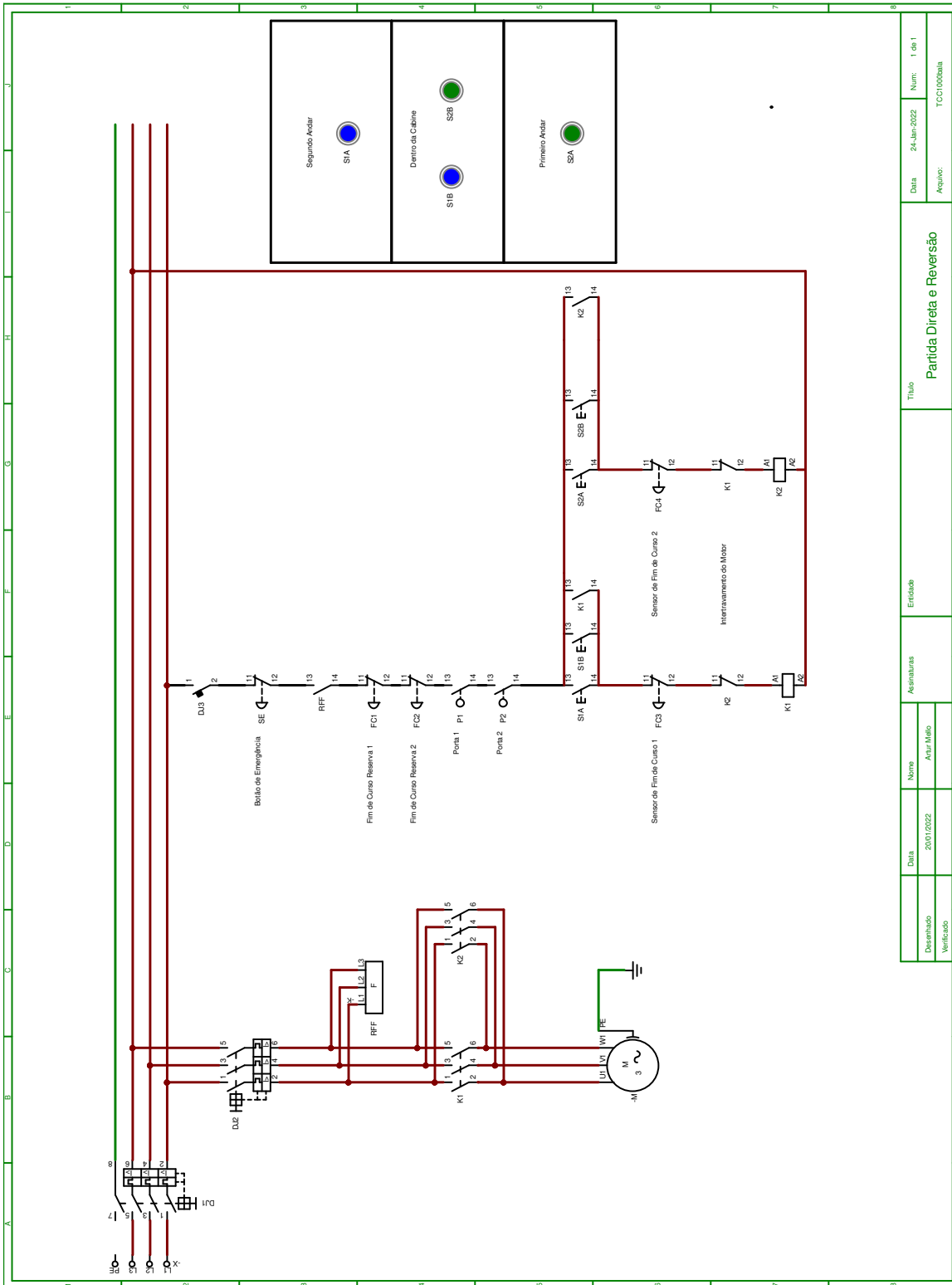




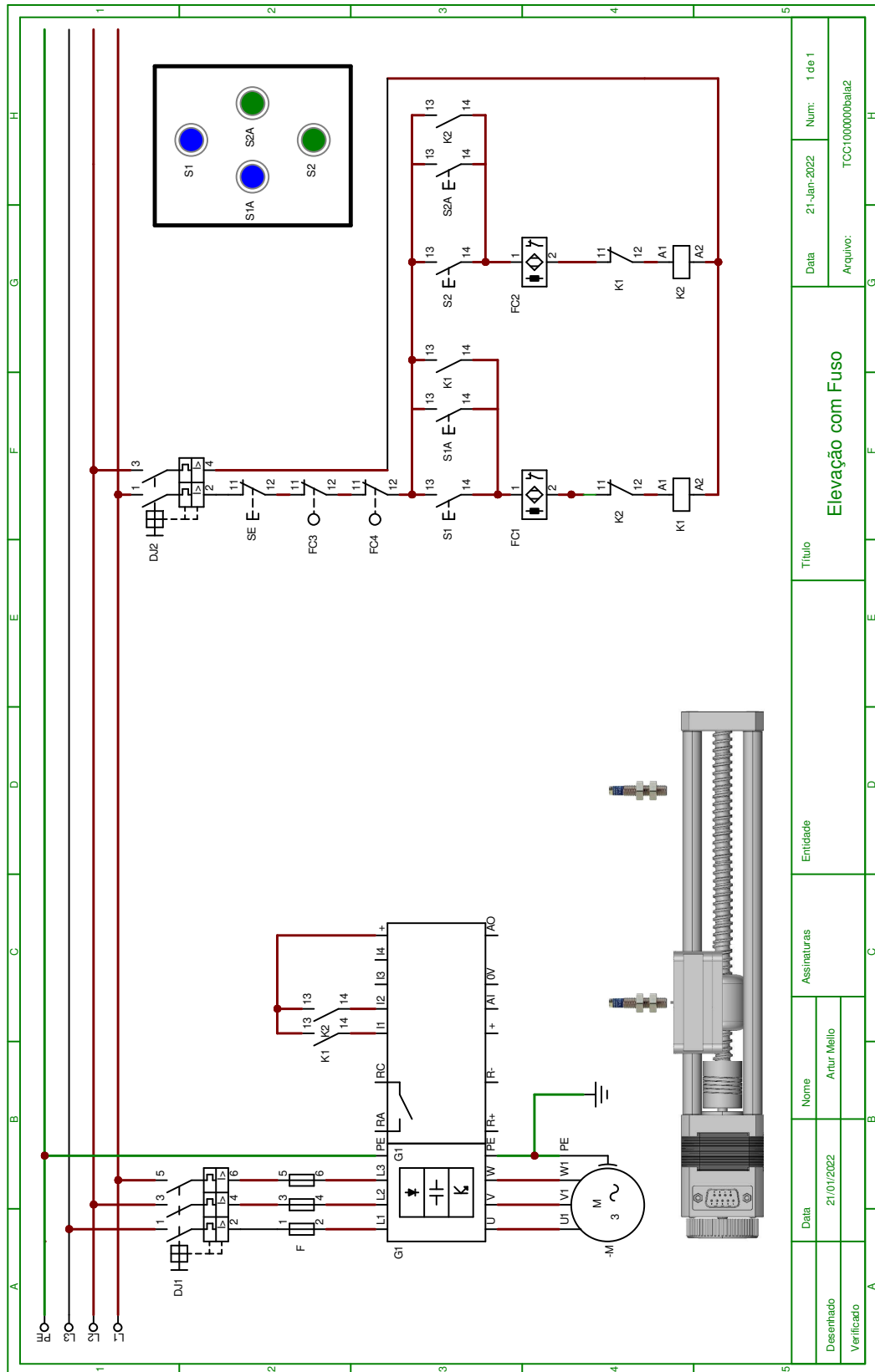


Apêndice **D**

Diagramas Trifilares



Disenhado	Nome	Assinaturas	Entidade	Título	Data	Núm.
Verificado	Artur Melo			Partida Direta e Reversão	24-Jan-2022	1 de 1
					Arquivo:	TCC1000aba



Elevação com Fuso

Data 21-Jan-2022 Num: 1 de 1
Arquivo: TCC1000000bata2

Título

Entidade

Assinaturas

Nome

Data 21/01/2022

Desenhado

Verificado

Artur Meilo

Referências

- A.T.I. **Fuso de rosca Trapezoidal**. Brasil: Artigos tecnicos Industriais, 2017. <https://www.atibrasil.com.br/img/cms/Catalogos/fuso-de-rosca-trapezoidal.pdf>. acessado em 10/07/2021.
- BEER, Ferdinand P et al. **Mecânica dos materiais**. [S.l.]: Amgh Porto Alegre, 2011.
- BERTULUCCI, Cristiano. **O que faz o Inversor de Frequência e como Especificar**. Brasil: Citisystems, 2022. <https://www.citisystems.com.br/inversor-de-frequencia/>. acessado em 27/01/2022.
- BICKFORD, John H. **Introduction to the design and behavior of bolted joints: non-gasketed joints**. [S.l.]: CRC press, 2007.
- BOXTOP. **Elevador Hidráulico: características e vantagens**. Brasil: Boxtop, 2020. <https://www.boxtop.com.br/produtos/elevador-hidraulico-vantagens/>. acessado em 07/07/2021.
- COMERCIAL, Catálogo. **Ctálogo Comercial dos produtos da WEG**. Brasil: [s.n.], 2022. https://ecatalog.weg.net/TEC_CAT/tech_motor_dat_web.asp. acessado em 27/01/2022.
- _____. **Inversor de Frequência ATV320**. Brasil: [s.n.], 2022. <https://www.se.com/br/pt/product/ATV320U22M3C/inversor-de-frequ%C3%Aancia-atv320-22kw-200240-vac-trif%C3%A1sico-compacto/>. acessado em 27/01/2022.

- DEJTIAR, Fabián. **Como projetar uma rampa**. Brasil: Arch Daily, 2019. <https://www.archdaily.com.br/br/894740/como-projetar-e-calcular-uma-rampa>. acessado em 21/05/2021.
- DO NORTE, RIO GRANDE. APOSTILA DE ACIONAMENTOS ELÉTRICOS, 2009. EDITORA, S.S.P. **Fundamentos de soldagem I**. [S.l.]: SENAI-SP Editora, 2018. (Metalurgia). ISBN 9788583934967. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=LF%5C_9DwAAQBAJ>.
- ELÉTRICA, Mundo da. **O que faz o Inversor de Frequência e como Especificar**. Brasil: Citisystems, 2022. <https://www.mundodaeletrica.com.br/botoeiras-tipos-e-aplicacoes/>. acessado em 27/01/2022.
- _____. _____. Brasil: Citisystems, 2022. <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-rele-como-funciona-um-rele/>. acessado em 27/01/2022.
- ELETRODEX. **Sensor Infravermelho**. Brasil: Eletrodex, 2021. <https://www.eletrodex.com.br/modulo-sensor-infravermelho-e18-d80nk.html>. acessado em 18/08/2021.
- ELEVADORES, Orion Lift. **Você sabe como nasceu o elevador?** Brasil.: Orion Lift, 2011. <https://orionlift.com.br/voce-sabe-como-nasceu-o-elevador/>. acessado em 10/07/2021.
- GENEROSO, Daniel João. Elementos de máquinas. **Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina-Campos de Araranguá**, 2009.
- GOMES, KLEYLSON DIAS. **TÍTULO: PLATAFORMA ELEVATÓRIA PARA ACESSO A AUTOMÓVEL PARA DEFICIENTE FÍSICO CADEIRANTE QUE DIRIGE**. 2015. Tese (Doutorado) – UNIVERSIDADE PAULISTA.
- GONSALVES, Edemar et al. PLATAFORMA ELEVATORIA PARA ACESSIBILIDADE EM ESCADAS. **Anais da Engenharia Mecânica/ISSN 2594-4649**, v. 2, n. 1, p. 92–108, 2018.
- GORDO, Nivia. **Elementos de máquinas**. Brasil: SENAI, 1998.

- IBGE. **IBGE: 6,2% da população têm algum tipo de deficiência**. Brasil: IBGE, 2015. <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-08/ibge-62-da-populacao-tem-algum-tipo-de-deficiencia>. [Online; acessado em 30/05/2021].
- INDUSTRIAL, Mecânica. **Engrenagens Helicoidais x Retas**. Brasil: Mecânica Industrial, 2021. <https://www.mecanicaindustrial.com.br/engrenagens-helicoidais-x-retas/>. acessado em 12/08/2021.
- KHURMI, RS; GUPTA, JK. **A textbook of machine design**. [S.l.]: S. Chand publishing, 2005.
- KNOWHOW, Electrical. **Elevators Types and Classification - Part One**. U.S.A.: Electrical Knowhow, 2012. <http://www.electrical-knowhow.com/2012/04/elevators-types-and-classification-part.html>. acessado em 10/07/2021.
- MATTEDE, Henrique. **O que é chave fim de curso? Funcionamento e aplicações!** Brasil: Mundo da Elétrica, 2012. <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-chave-fim-de-curso-funcionamento-aplicacoes/>. acessado em 10/07/2021.
- META. **VANTAGENS DO ELEVADOR HIDRÁULICO**. Brasil: Meta Elevadores, 2020. <https://www.metaelevadores.com.br/vantagens-do-elevador-hidraulico>. acessado em 07/07/2021.
- MONTARTE. **Elevador Pinhão e Cremalheira**. Brasil: Montarte, 2016. <https://www.montarte.com.br/elevador-pinhao-cremalheira.html>. acessado em 10/07/2021.
- NORMAS TÉCNICAS, Associação Brasileira de. **ABNT NBR ISO 9386-1**. Brasil: ABNT, 2013. https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/pessoa_com_deficiencia/NBRISO93861.pdf. acessado em 21/05/2021.
- _____. **NBR 9050**. Brasil: ABNT, 2020. http://acessibilidade.unb.br/images/PDF/NORMA_NBR-9050.pdf. acessado em 21/05/2021.
- NORTON, Robert L. **Cinemática e dinâmica dos mecanismos**. Brasil: AMGH Editora, 2010.

- OLIVEIRA, Geraldo Cesar Rosário de. Dimensionamento de um elevador assistivo, com sistema de fuso, para usuários de cadeira de rodas. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2017.
- ORGANIZATION, World Health et al. **World report on disability 2011**. Suíça: World Health Organization, 2011.
- ORIGEM. **A Origem do Elevador**. Brasil: Abril, 2019. <https://crel.com.br/como-surgiu-o-elevador/#:~:text=De%20acordo%20com%20registros%20hist%C3%B3ricos,por%20um%20engenheiro%20chamado%20Vitr%C3%ABia..> acessado em 21/05/2021.
- ORIGEM, A. **A Origem do Elevador**. Brasil: Origem das Coisas, 2011. <https://origemdascoisas.com/a-origem-do-elevador/>. acessado em 10/07/2021.
- RUDENKO, IN. **Máquinas de elevação e transporte**. Brasil: Livros Tecnicos e Cientificos, 1976.
- SANTO RODRIGUES, Beatriz Espirito. Plataforma de elevação motorizada e portátil para facilitar o acesso de deficientes físicos à piscina, 2018.
- SAÚDE, Ministério da. **Censo Demográfico de 2020 e o mapeamento das pessoas com deficiência no Brasil**. Brasil.: Ministério da Saúde, 2020. encurtador.com.br/iDHJM. acessado em 21/05/2021.
- SCHMERSAL. **Chave de fim de curso**. Brasil: Schmersal, 2021. <https://www.schmersal.com.br/automacao/chaves-fim-de-curso/>. acessado em 18/08/2021.
- UMANS, Stephen D. **Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley-7**. [S.l.]: AMGH Editora, 2014.
- WEG. **Catálogo de Motores Comerciais da WEG**. Brasil: WEG, 2008. http://ecatalog.weg.net/tec_cat/tech_motor_sel_web.asp. acessado em 06/08/2021.
- _____. **Sensor Óptico**. Brasil: WEG, 2021. encurtador.com.br/fxCK7. acessado em 18/08/2021.