

**GERALDO CÉSAR ROSÁRIO DE OLIVEIRA**

**Desenvolvimento de um elevador assistivo para pessoas com mobilidade reduzida**

**Geraldo César Rosário de Oliveira**

**Desenvolvimento de um elevador assistivo para pessoas com mobilidade reduzida**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para obtenção do título de mestre em Engenharia Mecânica na área de projetos

Orientador: Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Víctor Orlando Gamarra Rosado

O48d Oliveira, Geraldo Cesar Rosario de  
Desenvolvimento de um elevador assistivo para pessoas com mobilidade reduzida / Geraldo Cesar Rosario de Oliveira – Guaratinguetá, 2020.  
107 f : il.  
Bibliografia: f. 90-94

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2020.  
Orientador: Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva  
Coorientador: Prof. Dr. Victor Orlando Gamarra Rosado

1. Elevadores. 2. Equipamentos de autoajuda para deficientes. 3. Acessibilidade. I. Título.


CDU 621.876(043)

**GERALDO CESAR ROSÁRIO DE OLIVEIRA**

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
"MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA"

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA  
ÁREA: PROJETOS

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

  
Prof. Dra. Ivonete Ávila  
Coordenadora

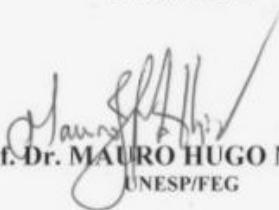
**BANCA EXAMINADORA:**



**Prof. Dr. FERNANDO DE AZEVEDO SILVA**  
Orientador/UNESP/FEG



**Prof. Dr. LUIS CARLOS PASCHOARELLI**  
UNESP/BAURU



**Prof. Dr. MAURO HUGO MATHIAS**  
UNESP/FEG

## **DADOS CURRICULARES**

### **GERALDO CÉSAR ROSÁRIO DE OLIVEIRA**

<b>NASCIMENTO</b>	17.09.1985 - Guaratinguetá / SP
<b>FILIAÇÃO</b>	Júlio César de Oliveira Maria Benedita Rosário de Oliveira
<b>2010/2017</b>	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica Universidade Estadual Paulista, Campus de Guaratinguetá
<b>2018/2019</b>	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado Universidade Estadual Paulista, Campus de Guaratinguetá

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva e Prof. Dr. Victor Orlando Gamarra Rosado, que jamais deixaram de me incentivar e por todo o tempo disponibilizado e paciência para atender minhas dúvidas. Sem as vossas orientações, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível.

Aos meus pais e à minha irmã que, apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos.

Aos funcionários da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá pela ajuda e atendimento.

Às funcionárias da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

## RESUMO

Tecnologia Assistiva descreve a criação de recursos tecnológicos para ajudar no desempenho funcional ou ampliando a acessibilidade e habilidades de pessoas com mobilidade reduzida. Esta tecnologia é fundamental para a integração desses indivíduos à sociedade e consequentemente trazer melhorias em sua qualidade de vida. No mercado nacional são encontrados elevadores, assistivos ou não, porém a grande maioria população não pode adquirir este produto devido ao elevado custo de aquisição e manutenção, e/ou inviabilidades devido às limitações do ambiente no local de instalação. Deste modo, na busca de soluções a baixo custo, otimização do espaço, confiabilidade e segurança, seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR ISO 9386-1, ABNT NBR ISO 9386-2 e ABNT NBR 9050, relacionadas com acessibilidade, edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, propõe se neste estudo o dimensionamento de um elevador assistivo. Este elevador assistivo somente poderá ser utilizado por pessoas com deficiência, usuários de cadeiras de rodas e pessoas com mobilidade reduzida juntos de um acompanhante. O sistema de transmissão porca-fuso e a estrutura mecânica utilizados neste elevador vertical também poderão ser utilizados numa plataforma de acessibilidade tipo plano inclinado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Elevador assistivo. Usuário de cadeira de rodas. PcD. Tecnologia assistiva. Pessoas com mobilidade reduzida.

## **ABSTRACT**

Assistive Technology is a term that describes the creation of technological resources to assist in functional performance or to increase accessibility and skills of people with reduced mobility. This technology is of great importance for the integration of these individuals with society and consequently improvements in their quality of life. There are elevators in the national market, assistive or not, but the vast majority of wheelchair users are unable to purchase this product due to the high cost of purchase and maintenance, and / or unfeasibility due to physical limitations at the place of installation. Thus, in the search for low cost solutions, space optimization, reliability and safety, following the updated accessibility standards of the Brazilian Association of Technical Standards ABNT NBR ISO 9386-1, ABNT NBR ISO 9386-2 and ABNT NBR 90 related to accessibility, buildings, furniture, spaces and urban equipment, this study proposes the dimensioning of an assistive elevator. This assistive lift can only be used by people with disabilities, wheelchair users and people with reduced mobility together with a companion. The spindle-nut transmission system and the mechanical structure used in this vertical lift can also be used on an inclined plane accessibility platform.<sup>50</sup>, related to accessibility, buildings, furniture,

**KEYWORDS:** Assistive lift. Wheelchair user. PwD. Assistive technology. People with reduced mobility

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Plataforma tipo plano inclinado.....	22
Figura 2 - Sistema pinhão cremalheira.....	22
Figura 3 - Sistema movido por correntes.....	23
Figura 4 - Esquema simplificado de um relé.....	25
Figura 5 - Componentes de um contator.....	26
Figura 6 - Esquema de funcionamento do sensor fim de curso.....	26
Figura 7 - Local de instalação do sensor fim de curso.....	27
Figura 8 - Sensor tipo cortina de luz.....	27
Figura 9 - Área útil monitorada pela cortina de luz.....	28
Figura 10 - Fechadura com solenóide.....	29
Figura 11 - Funcionamento do solenóide.....	29
Figura 12 - Fixação da fechadura na porta.....	30
Figura 13 - Arduino Uno R3.....	31
Figura 14 - Seleção do modelo da placa.....	32
Figura 15 - Seleção de porta serial.....	32
Figura 16 - Módulo de reconhecimento de voz VR3.....	33
Figura 17 - Módulo com quatro relés.....	33
Figura 18 - Diagrama do circuito elétrico de potência.....	34
Figura 19 - Montagem do circuito do Arduíno.....	34
Figura 20 - Modulo de automação por controle remoto.....	35
Figura 21 - Circuito de subida do elevador.....	36
Figura 22 - Circuito de descida do elevador.....	36
Figura 23 - Fuso trapezoidal.....	38
Figura 24 - Porca selecionada.....	39
Figura 25 - Motor Redutor modelo 050.....	41
Figura 26 - Acoplamento de pino e bucha TeTeFlex Plus®.....	43
Figura 27 - Desalinhamentos no acoplamento.....	43
Figura 28 - Condições de trabalho e velocidade do eixo.....	45
Figura 29 - Vista da montagem do rolamento inferior no suporte em corte.....	46
Figura 30 - Vista da montagem do rolamento superior no suporte em corte.....	47
Figura 31 - Modelos de guias lineares e patins.....	48
Figura 32 - Guia linear modelo LAH35ANZ com patins.....	48

Figura 33 - Distância do centro de massa do sistema e o ponto de aplicação de força (A) e distância vertical entre os centros dos patins (B) .....	50
Figura 34 - Ligação elétrica do inversor de tensão a bateria de corrente contínua. ....	51
Figura 35 - Carregador de bateria integrado.....	51
Figura 36 - Limitadores de percurso final. ....	52
Figura 37 - Barra transversal da plataforma. ....	53
Figura 38 - Junção das Barras transversais e longitudinais da plataforma.....	54
Figura 39 - Barras longitudinais. ....	54
Figura 40 - Perfil de alumínio retangular. ....	55
Figura 41 - Perfil de alumínio <i>Openbuilds</i> . ....	55
Figura 42 - Viga perfil "I" com destaque na modificação para o sistema de transmissão. ....	56
Figura 43 - Configuração vertical.....	57
Figura 44 - Configuração para plano inclinado. ....	57
Figura 45 - Modelos desenvolvidos: elevador tipo plano inclinado e elevador vertical. ....	58
Figura 46 - Disco espaçador posicionado para montagem em inclinação de 135°.....	58
Figura 47 - Cotas da furação dos patins. ....	59
Figura 48 - Montagem do espaçador retangular na estrutura. ....	59
Figura 49 - Cabina do elevador. ....	60
Figura 50 - Ferramenta utilizada na simulação da estrutura.....	61
Figura 51 - Carregamento nas estruturas de elevação e regiões das restrições em destaque. ..	62
Figura 52 - Parâmetros de malha aplicados nas estruturas.....	63
Figura 53 - Resultados da divisão automática de elementos e nós.....	64
Figura 54 - Materiais utilizados na estrutura disponíveis no programa. ....	65
Figura 55 - Restrições aplicadas na base do fuso. ....	66
Figura 56 - Carregamento aplicado ao fuso.....	66
Figura 57 - Restrições aplicadas nas faces da porca.....	67
Figura 58 - Carregamento aplicado nas faces dos dentes da porca. ....	67
Figura 59 - Montagem do protótipo real da estrutura em alumínio.....	68
Figura 60 - Elementos de um extensômetro.....	69
Figura 61 - Transdutor.....	69
Figura 62 - Identificação dos terminais do transdutor. ....	70
Figura 63 - Deslocamento da extremidade livre da viga engastada sob carregamento.....	71
Figura 64 - Esquema simplificado da interação transdutor-plataforma .....	71
Figura 65 - Contato entre o transdutor e o protótipo com a esfera em destaque.....	72

Figura 66 - Gráfico gerado pelo programa Catman® durante aquisição de dados. ....	73
Figura 67 - Plataforma carregada com cilindros de aço. ....	74
Figura 68 - Regiões de aplicação das restrições no protótipo. ....	75
Figura 69 - Regiões de aplicação do carregamento no protótipo. ....	76
Figura 70 - Fuso com detalhes dos filetes de rosca. ....	77
Figura 71 - Deslocamento na base do elevador, estrutura em corte. ....	78
Figura 72 - Coeficiente de segurança na base do elevador, estrutura em corte. ....	79
Figura 73 - Tensões atuantes na base do elevador, estrutura em corte. ....	80
Figura 74 - Deformações na base do elevador, estrutura em corte. ....	81
Figura 75 - Coeficiente de segurança, tensão, e deformação no fusos. ....	83
Figura 76 - Coeficiente de segurança e tensão na porca. ....	84
Figura 77 - Resultados do estudo numérico no protótipo de alumínio. ....	85
Figura 78 - Plataforma de plano inclinado e elevador. ....	86
Figura 79 - Montagem do sistema motor nas vistas isométrica, lateral e superior. ....	87
Figura 80 - Protótipo em escala. ....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades do fuso selecionado. ....	39
Tabela 2 - Propriedades do motor redutor selecionado. ....	41
Tabela 3- Valores dos fatores listados no catalogo Teteflex. ....	44
Tabela 4 - Características do acoplamento tamanho D3. ....	45
Tabela 5 - Propriedades do rolamento axial selecionado. ....	46
Tabela 6 - Propriedades do rolamento axial selecionado. ....	47
Tabela 7 - Propriedades dos Patins LAH35ANZ. ....	48
Tabela 8 - Valores e resultados obtidos das equações 6 e 7. ....	50
Tabela 9 - Momentos principais de inércia de área no centróide. ....	55
Tabela 10 - Propriedades da barra de alumínio 6061 ....	70
Tabela 11 - Carregamentos utilizados para a aquisição de dados no protótipo real. ....	74
Tabela 12 - Valores obtidos na simulação do protótipo de alumínio. ....	85
Tabela 13 - Valores obtidos na medição experimental do protótipo de alumínio. ....	85
Tabela 14 - Erro percentual entre os métodos de simulação e experimental. ....	85

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampere
C	Capacidade de carga básica no rolamento
C	Carga dinâmica nas guias lineares
c	Contato comum
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
d	Distância entre os centros dos patins
dp	Diâmetro primitivo
E	Módulo de elasticidade
F	Força atuando na movimentação do sistema com guias lineares
<i>F</i>	Força atuando na viga
fh	Fator de dureza do material do trilho
<i>fh</i>	Coefficiente de vida de projeto do rolamento para a máquina
fn	Coefficiente de velocidade nas guias lineares
<i>ft</i>	Fator de temperatura do ambiente de trabalho das guias lineares
<i>fw</i>	Fator de carga definido por choque e vibração nas guias lineares
h	Distância do centro de massa do sistema e o ponto de aplicação de força
i	Índice de identificação
I	Momento de inércia de área da seção transversal da viga
I <sub>x</sub> , I <sub>y</sub>	Momentos principais de inércia de área no centróide
L	Comprimento da viga
<i>L</i>	Vida nominal da guia linear
La	Avanço do parafuso
Mt	Momento torçor no fuso
na	Contato aberto
nf	Contato fechado
p	Potência do motor
<i>P</i>	Carga no rolamento
<i>P<sub>c</sub></i>	Carga calculada nas guias lineares
rpm	Rotações por minuto
S <sub>A</sub>	Fator de correção de serviço
S <sub>M</sub>	Fator de correção para máquina acionadora
S <sub>t</sub>	Fator de correção de temperatura
S <sub>T</sub>	Fator de correção de tempo de trabalho
S <sub>ut</sub>	Tensão última a tração
S <sub>y</sub>	Tensão de escoamento
S <sub>Z</sub>	Fator de correção de frequência de partida
T <sub>Kmax</sub>	Torque máximo do acoplamento
T <sub>N</sub>	Torque nominal do redutor
w	Carga mínima no sistema com guias lineares
α	Ângulo da hélice do fuso
δ	Deflexão da viga
v	Coefficiente de Poisson
μ	Coefficiente de atrito

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	15
1.2	OBJETIVOS .....	17
1.3	JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA.....	17
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	17
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	19
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	19
2.2	DISPOSITIVOS DE ELEVAÇÃO PARA USUÁRIOS DE CADEIRAS DE RODAS .....	21
<b>2.2.1</b>	<b>Plataformas de acessibilidade, tipo plano inclinado</b> .....	21
<b>2.2.2</b>	<b>Elevadores hidráulicos</b> .....	23
<b>2.2.3</b>	<b>Elevadores tracionados por cabo de aço</b> .....	23
<b>2.2.4</b>	<b>Elevador movido pelo sistema fuso e porca</b> .....	24
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	25
3.1	DISPOSITIVOS ELETROMECAÑICOS UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO DO ELEVADOR .....	25
<b>3.1.1</b>	<b>Relé</b> .....	25
<b>3.1.2</b>	<b>Contatores</b> .....	25
<b>3.1.3</b>	<b>Fim de curso eletromecânico</b> .....	26
<b>3.1.4</b>	<b>Cortina de luz</b> .....	27
<b>3.1.5</b>	<b>Fechaduras com solenóide</b> .....	28
3.2	AUTOMAÇÃO DO SISTEMA COM COMANDO DE VOZ.....	30
3.3	AUTOMAÇÃO DO SISTEMA COM CONTROLE REMOTO.....	35
<b>3.3.1</b>	<b>Circuito elétrico dos sistemas de automação</b> .....	35
3.4	DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DOS COMPONENTES.....	37
3.5	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO .....	38
3.6	DIMENSIONAMENTO DO MOTOR REDUTOR .....	40
3.7	DIMENSIONAMENTO DO ACOPLAMENTO.....	42
3.8	DIMENSIONAMENTO DO ROLAMENTO E GUIAS LINEARES.....	45
<b>3.8.1</b>	<b>Seleção dos rolamentos</b> .....	45
<b>3.8.2</b>	<b>Seleção das guias lineares</b> .....	47
3.9	SISTEMA DE EMERGÊNCIA PARA FALTA DE ENERGIA .....	51
3.10	LIMITADORES DE PERCURSO .....	52
3.11	MODELAGEM DOS COMPONENTES DA BASE DO ELEVADOR .....	53
<b>3.11.1</b>	<b>Diferenças entre as configurações vertical e plano inclinado</b> .....	56

3.11.2	Modelagem da cabina.....	59
3.12	ESTUDO NUMÉRICO NA BASE DO ELEVADOR.....	60
3.13	ESTUDO NO PROTÓTIPO DE ALUMÍNIO .....	68
3.13.1	Estudo experimental.....	68
3.13.2	Estudo numérico .....	74
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	77
4.1	RESULTADOS OBTIDOS NOS ESTUDOS NUMÉRICOS E EXPERIMENTAIS .....	77
4.2	RESULTADOS OBTIDOS COM O DESENVOLVIMENTO DO ELEVADOR, COM A PLATAFORMA ARDUINO, E MONTAGEM DO PROTÓTIPO.....	86
5	<b>CONCLUSÕES</b> .....	89
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
	<b>APÊNDICE A - Programa desenvolvido no Arduino</b> .....	96
	<b>APÊNDICE B - Elementos de fixação das guias</b> .....	99
	<b>APÊNDICE C - Orçamento dos equipamentos do elevador e do modelo</b> .....	101
	<b>APÊNDICE D - Desenhos das peças da estrutura</b> .....	102

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A Tecnologia Assistiva (TA) é fruto da aplicação de avanços tecnológicos em áreas já estabelecidas. É uma disciplina de domínio de profissionais de várias áreas do conhecimento, que interagem para restaurar a função humana. A TA diz respeito à pesquisa, fabricação, uso de equipamentos, recursos ou estratégias utilizadas para potencializar as habilidades funcionais das pessoas com deficiência. A aplicação de TA abrange todas as ordens do desempenho humano, desde as tarefas básicas de auto cuidado até o desempenho de atividades profissionais (BRASIL, 2009).

TA é um elemento-chave para a promoção dos Direitos Humanos, pelo qual as pessoas com deficiência têm a oportunidade de alcançar sua autonomia e independência em todos os aspectos de suas vidas. Para isso é necessária a adoção de medidas que assegurem seu acesso, em bases iguais com as demais pessoas. É preciso que obstáculos e barreiras à acessibilidade sejam identificados e eliminados (BRASIL, 2009).

Ao abordar se a questão da acessibilidade é importante destacar que há de se incluir nessa soma o número de pessoas: com deficiência; idade avançada; gestantes; lactantes e outras pessoas com “mobilidade reduzida” seja ela em caráter permanente ou temporário, nesse escopo trata-se de aproximadamente 43,5% da população brasileira. Ao serem envolvidas as famílias e outras pessoas no seu cuidado e acompanhamento, a cifra pode ultrapassar 70% dos brasileiros (BRASIL, 2009).

A deficiência faz parte da condição humana. Quase todas as pessoas terão uma deficiência temporária ou permanente em algum momento de suas vidas, e aqueles que sobreviverem ao envelhecimento enfrentarão dificuldades cada vez maiores com a funcionalidade de seus corpos (WORLD REPORT ON DISABILITY, 2011).

O ambiente de uma pessoa tem um enorme impacto sobre a experiência e a extensão da deficiência. Ambientes inacessíveis ocasionam deficiência quando atual como barreiras à participação e inclusão dos indivíduos. Os exemplos do possível impacto negativo do ambiente incluem: um indivíduo surdo sem intérprete de língua de sinais; um usuário de cadeira de rodas num prédio sem banheiro ou elevador acessível; uma pessoa cega que usa um computador sem software de leitura de tela (WORLD REPORT ON DISABILITY, 2011).

O ambiente pode ser mudado para melhorar a saúde, evitar incapacidades e melhorar os resultados finais para as pessoas com deficiência. Tais mudanças podem ser implementadas

pela legislação, por mudanças nas políticas públicas, pela construção da capacidade de agir, ou por desenvolvimentos tecnológicos que gerem: acessibilidade do desenho do ambiente construído e do transporte; sinalização para beneficiar pessoas com deficiências sensoriais; Acesso aos serviços de saúde, reabilitação, educação, suporte a vida independente; maiores oportunidades de trabalho e emprego para pessoas com deficiência (WORLD REPORT ON DISABILITY, 2011).

TA é a área do conhecimento responsável por novos recursos tecnológicos para a ampliação da acessibilidade e habilidades de pessoas com mobilidade reduzida. Esses recursos são fundamentais para a integração dos indivíduos com a sociedade ocasionando independência pessoal e conseqüentemente melhorias na qualidade de vida, facilitando a execução de rotinas diárias, ampliando sua mobilidade e reduzindo barreiras. No Brasil grande parte dos imóveis construídos não seguem as exigências do desenho universal, metodologia que apresenta soluções, produtos e ambientes para o uso das pessoas em condições de igualdade, com o respeito à diversidade de cada característica e experiências próprias (JÚNIOR, 2016; BERNARDI, 2007; CORRÊA, 2008).

Poucos são os locais projetados ou adaptados visando facilitar o acesso das pessoas com deficiência (PcD). Entre os obstáculos encontrados com maior frequência estão construções ou prédios com dois ou mais andares ou níveis que utilizam escadas que, em um determinado momento, em função da perda de mobilidade da pessoa ocorre a imposição da limitação de deslocamento.

Assim faz se necessário o uso de tecnologia assistiva e outras ferramentas para reduzir os elementos excludentes gerados por infraestrutura não projetada para a integração dos indivíduos à sociedade conforme Rosado (2004). Uma solução para o problema gerado por imóveis e ambientes com acesso somente com escadas é a adaptação de elevadores assistivos. Para a construção deste equipamento deve ocorrer o planejamento e análise de deformações do produto (ABNT NBR ISO 9386-1; ABNT ISO 9386-2, 2013).

No mercado nacional são encontradas diversas plataformas de elevação, porém a grande maioria das PcD usuários de cadeiras de rodas não pode adquirir este produto devido ao elevado custo de aquisição e manutenção, já que este é um produto importado conforme os fabricantes Concord e Garaventa, (2019). A necessidade de garantir às PcD, usuários de cadeiras de rodas, acessibilidade a escadas em residências e prédios que não dispõem de elevadores, constitui um desafio a ser solucionado pela Engenharia.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é contribuir com a sociedade aumentando a mobilidade de PcD e/ou idosos propondo um elevador assistivo seguro e de custo acessível que não necessite de grandes reformas em sua instalação, que possa ser comandado manualmente, remotamente ou por voz, com o auxílio de *software* e *hardware* livre.

O objetivo secundário é criação de um protótipo em escala para testes dos sistemas eletrônicos e estruturais do elevador para validação da proposta.

## 1.3 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA

Conforme as dificuldades impostas às pessoas com mobilidade reduzida devido o ambiente que atua de forma excludente, este trabalho busca atender à demanda desta população pelo projeto e desenvolvimento de um elevador assistivo seguro e de custo acessível para a promoção de inclusão social, visando ao aumento de mobilidade do usuário aumentando sua qualidade de vida e acessibilidade.

Mundialmente ocorre o crescente envelhecimento da população, combinando este envelhecimento com os setores da população que têm necessidades especiais, torna-se necessário desenvolver métodos para ajudá-los em sua mobilidade. Acredito que ajudar essas pessoas torna-se a obrigação de um engenheiro formado em uma universidade pública.

## 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No Capítulo 1, apresenta-se a introdução relacionada com as limitações das PcD, a questão social, as dificuldades de locomoção devido às diferentes barreiras no dia a dia e a definição de TA. Também são apresentados os objetivos deste estudo e destaca-se a importância e as justificativas para o desenvolvimento deste trabalho.

No Capítulo 2 apresenta-se a fundamentação teórica e a revisão bibliográfica dos trabalhos relacionados ao tema de tecnologia assistiva e automação por voz; os elevadores e plataformas tipo plano inclinado disponíveis no mercado nacional; se descrevem suas características de funcionamento.

No Capítulo 3, é apresentada a metodologia empregada: a automação do sistema; os parâmetros e restrições do projeto, assim como o dimensionamento e especificação dos componentes mecânicos; e a modelagem no programa *Autodesk Fusion*® com o estudo

numérico dos esforços no parafuso, porca e plataforma do elevador; o estudo numérico e experimental com transdutor e o modelo em escala da base do elevador.

No Capítulo 4, são apresentados e discutidos: os resultados da simulação no programa *Autodesk Fusion*® dos componentes e estrutura sob carregamento; os resultados do estudo numérico e experimental com transdutor e o modelo em escala da base do elevador.

No Capítulo 5, todas as conclusões obtidas pela realização deste trabalho são mostradas, além de sugestões para trabalhos futuros.

Após a seção de referências, são apresentados os Apêndices dedicados para o programa utilizado no arduino; os elementos de fixação da guia linear; o orçamento dos equipamentos utilizados no elevador e no modelo; e os desenhos dos componentes da estrutura da plataforma.

## 2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No estudo de Umchid (2018), diversas pessoas com deficiência de mobilidade nas mãos e braços encontram dificuldades em usar cadeiras de rodas, seja o modelo tradicional ou elétrico controlado por “*joystick*” a partir disso, foram propostas diferentes técnicas para facilitar o controle da cadeira de rodas. No entanto, um método que se destaca é usar a voz para operar a cadeira de rodas, visto que é o modo mais natural de comunicação. Conforme esses fatos, o autor constata que há uma necessidade bem definida do uso de ferramentas assistivas com reconhecimento de voz para ajudar pessoas com deficiência física que não conseguem controlar seus movimentos especialmente deixando as mãos mais independentes.

Priyanayana (2018) alerta em seu trabalho que o pior cenário da exclusão é quando as pessoas com problemas de mobilidade precisam sobreviver sozinhas. A perda de mobilidade é uma das principais questões que prejudicam a vida independente dos idosos e/ou PcD. A sociedade não exige apenas a sobrevivência, mas também produtividade para a economia conforme afirma Priyanayana (2018), como solução para redução da exclusão o autor propõe o uso de equipamentos com sistema de reconhecimento de voz. Esses equipamentos assistivos podem ser sofisticados até o ponto de imitar a conversa natural humana.

Pesquisas sobre o controle inteligente de equipamentos assistivos hoje em dia concentram-se principalmente em diferentes tipos de interfaces de usuário para controlar a cadeira de rodas. Conforme Kundu (2018), o controle convencional de cadeiras de rodas elétricas inteligentes baseia-se principalmente no “*joystick*”, mas o controle do “*joystick*” possui limitação para pessoas idosas e deficientes, sem controle pleno e hábil de seu membro superior.

Uma pessoa com alto nível de deficiência é por padrão acamada porque sem a ajuda de pessoas e/ou tecnologia não haveria como se levantar conforme afirma Leaman (2017). Assim sendo, com a combinação certa de recursos humanos e automação tecnológica, uma pessoa com tetraplegia ainda pode ter uma vida extremamente rica e fazer uma grande contribuição para a sociedade, uma filosofia que esperamos compartilhar com pessoas que acabaram de experimentar o início da deficiência.

No trabalho de Raiyan (2017), a técnica proposta visa projetar uma cadeira de rodas automatizada controlada por voz, utilizando a tecnologia disponível que reduz a necessidade de unidade de processamento de dados complexa extra volumosa (ou seja, um computador) e

quaisquer sensores. A necessidade de um sistema de computação extra foi removida usando o módulo de reconhecimento de voz integrado (EasyVR 3) e um microcontrolador Arduino que estão facilmente disponíveis no mercado, mais baratos e menores em tamanho. As partes restantes do artigo descrevem a operação do módulo de processamento de fala e o circuito do controlador do motor com uma análise de custo estimada.

Williams(2017) alertam para o fato do crescimento da população idosa exemplificando que nos próximos quinze anos, espera-se que o número de cidadãos idosos nos Estados Unidos aumente mais de 50%. Assim, tecnologias assistivas que podem apoiar os idosos em suas vidas diárias e ajudá-los a manter algum nível de autonomia estão se tornando cada vez mais importantes. De fato, tecnologias de mobilidade inteligentes, demonstraram beneficiar substancialmente os idosos. Embora equipamentos assistivos automatizados não sejam incomuns entre deficientes e idosos, cerca de 40% desses usuários acham difícil ou impossível utilizar um “*joystick*” muitas vezes devido a tremores, amplitude de movimento limitada ou rigidez espástica. Além disso, o uso de equipamentos assistivos automatizados pode ser fisicamente e cognitivamente pesado mesmo para aqueles capazes de manipular um “*joystick*”.

A importância e a preocupação com a autonomia e independência de idosos e pacientes com algum tipo de deficiência vêm crescendo significativamente nas últimas décadas. Conforme Faria (2014) cadeiras de rodas inteligentes (CRI) são tecnologias que podem aumentar a autonomia e independência deste tipo de população e são hoje uma área de pesquisa muito ativa. O trabalho de Faria apresentou um Sistema de Análise de Dados (DAS) que fornece uma linguagem de comando adaptada a um usuário de CRI. Essa linguagem de comando é um conjunto de sequências de entrada que podem ser criadas usando entradas de um dispositivo de entrada ou uma combinação das entradas disponíveis em uma interface multimodal. Os resultados mostram que existem evidências estatísticas para afirmar que a média da avaliação do DAS é superior à média da avaliação da linguagem de comando preconizada pelo especialista em saúde (valor de  $p = 0,002$ ) com uma amostra de 11 usuários de paralisia cerebral . Faria demonstrou que é possível adaptar uma interface para equipamentos assistivos automatizados ao usuário mesmo quando os usuários apresentam restrições físicas heterogêneas e severas.

Conforme Maria (2010) em seu estudo identificou as barreiras arquitetônicas como principal meio excludente em um campus universitário e comprovou que níveis diferentes de deficiência podem gerar determinados tipos de incapacidades que resultam em desvantagens para as PcD. Estas desvantagens citadas pela autora são designadas a um limite externo

relacionado aos obstáculos encontrados pelas PcD em sua integração com a sociedade, entre várias destaca-se a desvantagem na independência física, que trata da limitação que dificulta ou inviabiliza a PcD de exercer suas ações com liberdade e segurança, fazendo que sempre necessite de ajuda para sua mobilidade.

## 2.2 DISPOSITIVOS DE ELEVAÇÃO PARA USUÁRIOS DE CADEIRAS DE RODAS

Os elevadores ou plataformas elevatórias são equipamentos utilizados para ampliar a mobilidade de usuários de cadeiras de rodas em imóveis com diversos andares ou níveis. As plataformas elevatórias segundo Guimarães (2008) atuam de forma semelhante aos elevadores, entretanto, são equipamentos abertos e movimentam-se em planos inclinados.

Os elevadores podem ser adaptados ao uso assistivo (denominado uso pessoal e não entra no cálculo de trânsito de pessoas em um recinto) os modelos mais utilizados em residências são o hidráulico e de fuso. Conforme a Cartilha do Elevador (2013) esses equipamentos podem ser definidos como um mecanismo de elevação ou descida, fechado, para transporte de pessoa e carga no sentido vertical.

### 2.2.1 Plataformas de acessibilidade, tipo plano inclinado

Em residências com mais de um andar ou nível onde a instalação de um sistema de elevador torna-se inviável por razões como custo ou limitações arquitetônicas este sistema é utilizado em uma escada existente.

Conforme Wendt (1991) para ser eficaz, uma plataforma tipo plano inclinado deve ser segura, confiável e fácil de operar por pessoas cujo movimento pode ser limitado. Como os mecanismos de elevação da plataforma geralmente se movem ao longo da mesma escada usada por outras pessoas sem deficiência, também é desejável que tais mecanismos evitem, na medida do possível, interferências no uso geral da escada.

Uma Plataforma de acessibilidade, tipo plano inclinado inclui uma unidade de acionamento, um conjunto de trilhos que se estende ao longo da escada e uma plataforma que transporta o usuário. Um elemento de transmissão, como uma corrente ou um fuso, dentro do conjunto do trilho, é acionado pelo motor e é conectado à plataforma móvel para deslizar a plataforma sobre o trilho. A estrutura da plataforma move-se em trilhos que podem ser fixados na parede ou corrimão conforme a Figura 1.

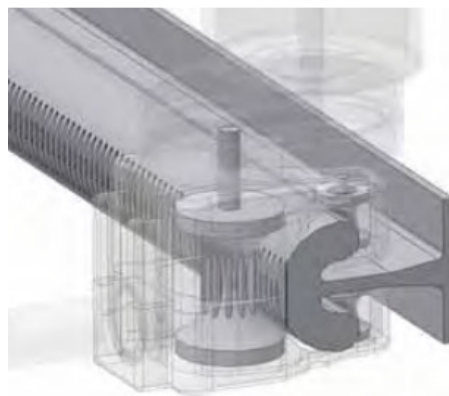
Figura 1 - Plataforma tipo plano inclinado.



Fonte: Stannah (2019).

A plataforma pode ser movida por diversos sistemas motores, como por exemplo, o sistema de pinhão e cremalheira utilizado no trabalho de Guimarães (2008) onde o motor fica alojado na plataforma e a engrenagem principal traciona a plataforma ao longo dos trilhos conforme ilustrado na Figura 2 ou por correntes conforme Move (2019) onde o sistema motor é fixado fora da plataforma conforme Figura 3.

Figura 2 - Sistema pinhão cremalheira.



Fonte : Adaptado de Guimarães (2008).

Figura 3 - Sistema movido por correntes.



Fonte: Adaptado de Move elevadores (2019).

### **2.2.2 Elevadores hidráulicos**

O elevador hidráulico é um equipamento acionado pelo movimento de um pistão em um cilindro pressurizado com óleo. Um motor elétrico aciona uma bomba hidráulica aumentando a pressão do óleo que sai do reservatório através de mangueiras que suportam alta pressão até o cilindro movimentando a cabina. Este modelo pode ser utilizado em várias configurações como, por exemplo, com cilindros telescópicos ou com cilindros tracionando cabos conforme os fabricantes Concord e Garaventa, (2019).

Destaca-se no modelo a escolha da localização da unidade hidráulica, pois pode ser conectada por mangueiras e ficar distante da cabina do elevador, ao contrário dos outros modelos que necessitam de uma casa de máquinas acima do local de instalação. Isto faz com que possa ser instalado em lugares não acessíveis para os outros modelos. Outra característica deste equipamento é que em alguns modelos a descida é controlada por ação da gravidade, isto é, devido ao peso da cabina e a ação de uma válvula o óleo volta para o reservatório sem necessidade do acionamento do motor, fazendo com que a cabina desça conforme CIBSE (2010).

### **2.2.3 Elevadores tracionados por cabo de aço**

O modelo tracionado por cabo de aço é amplamente utilizado para fins comerciais, sua instalação fica limitada devido à complexidade da instalação e a necessidade de espaço para casa de máquinas. Nestes modelos de equipamentos a cabina é presa e suspensa por um sistema de cabos. Estes elevadores utilizam um sistema de roldanas ou polias, que são

acionados por um motor elétrico segundo a Cartilha do Elevador (2013). Neste tipo de equipamento os modelos são diferenciados pelo sistema motriz: sem redutor, com redutor e tração direta com tambor segundo fabricantes Concord e Garaventa, (2019).

Todos os modelos de elevadores com cabo de aço, com exceção do tambor de tração, se caracterizam pelo seguinte: uma das extremidades do cabo fica fixa na cabina e a outra extremidade fixa no contrapeso, que é o peso igual ao da cabina acrescido de 40% de sua carga segundo Concord e Garaventa, (2019).. Isto faz com que o motor não tenha que tracionar o peso total da cabina. O motor tem apenas que controlar a diferença de potencial entre a cabina e o contrapeso alterando o equilíbrio entre os dois. Sendo assim, quando o elevador está subindo vazio o contrapeso é o suficiente para a movimentação conforme CIBSE (2010).

#### **2.2.4 Elevador movido pelo sistema fuso e porca**

Um elevador acionado por um sistema de fuso se diferencia dos outros modelos principalmente porque tem menor número de componentes na transmissão. Este sistema tem baixo custo de manutenção e tem grande quantidade de acessórios disponíveis no mercado de reposição, como por exemplo, as castanhas ou porcas que são vendidas em padrões tabelados segundo Move (2019). O elevador não apresenta movimentos de elevação ou recuos nas paradas, devido ao travamento automático gerado pelo atrito do sistema porca-fuso característico dos perfis quadrado e trapezoidal conforme Norton (2013). Assim, este sistema dispensa o uso de freio no motor segundo as normas ABNT NBR ISO 9386-1 (2013) e ABNT NBR ISO 9386-2 (2013).

O acionamento do elevador ocorre por meio de moto redutores, motores elétricos, hidráulicos, pneumáticos ou manualmente. Os elevadores movidos por fuso são usados para aplicações residenciais com menor índice de uso com menores percursos e com baixas velocidades segundo Move (2019) e Guimarães (2008).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 DISPOSITIVOS ELETROMECAÂNICOS UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO DO ELEVADOR

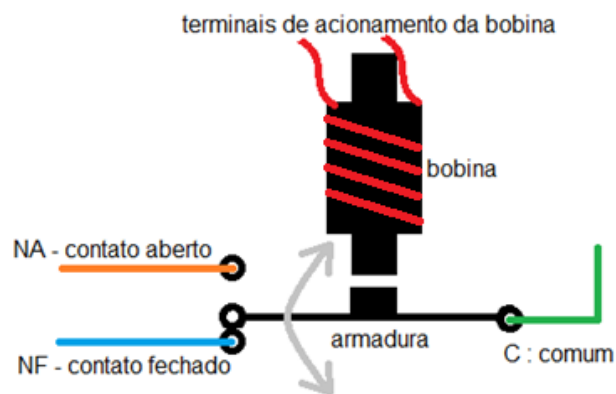
##### 3.1.1 Relé

Na automação do elevador foram utilizados dispositivos eletrônicos e eletromecânicos para o controle e segurança do equipamento.

O relé é um equipamento que opera como um interruptor eletromecânico segundo Creder (2007). Quando a corrente elétrica percorre sua bobina interna enrolada em um núcleo gera um campo magnético forte o suficiente para atrair o componente metálico móvel denominado como armadura para fechar ou abrir seus terminais conforme a Figura 4.

Neste trabalho os relés serão acionados pelas placas eletrônicas para o controle dos elementos do circuito de potência, isto é o controle dos contatores do motor do elevador.

Figura 4 - Esquema simplificado de um relé.



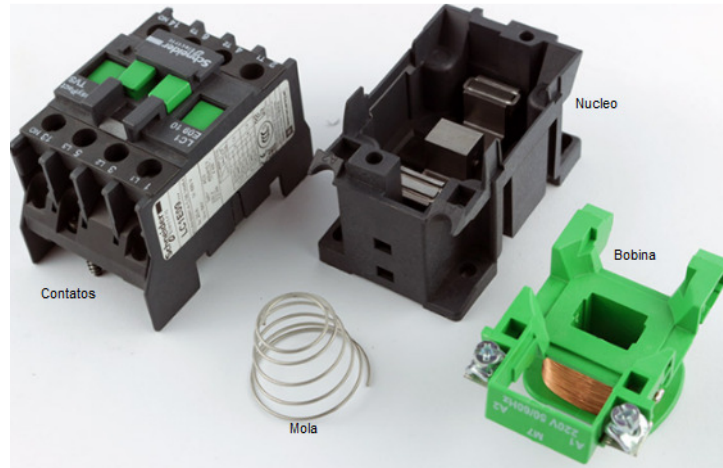
Fonte : Autor (2019).

##### 3.1.2 Contatores

Maloney (2006) descreve que o contator tem o mesmo princípio de funcionamento eletromecânico do relé, com ação eletromagnética e recuo por mola conforme os componentes ilustrados na Figura 5, entretanto os contatores são projetados para operarem circuitos com valores maiores decorrentes do que um relé suportaria (o relé utilizado suporta corrente

máxima de 10 A enquanto o contator suporta valores até 25 A). Os contatores controlam o sentido de rotação do motor, isto é, a subida ou descida do elevador.

Figura 5 - Componentes de um contator.

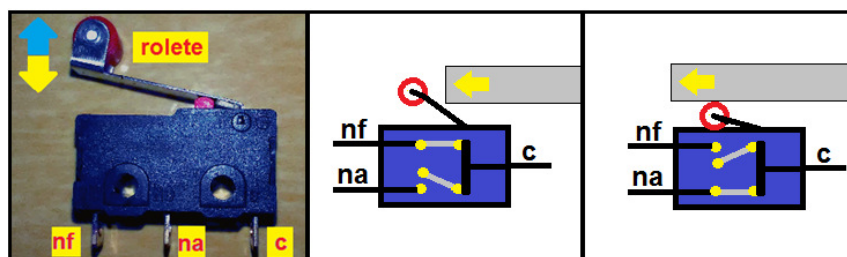


Fonte : Adaptado de mundoda elétrica(2019).

### 3.1.3 Fim de curso eletromecânico

O sensor "fim de curso" utilizado foi uma chave eletromecânica com rolete conforme a Figura 6. A chave tem três contatos: o "c", o "na" e o "nf". O contato "na" é o terminal inicialmente aberto onde não existe passagem de corrente como em um circuito com a chave aberta. O contato "nf" atua como um circuito com a chave fechada possibilitando a passagem de corrente. O contato "c" é o ponto em comum de entrada do circuito anterior ao chaveamento dos dois outros contatos.

Figura 6 - Esquema de funcionamento do sensor fim de curso.



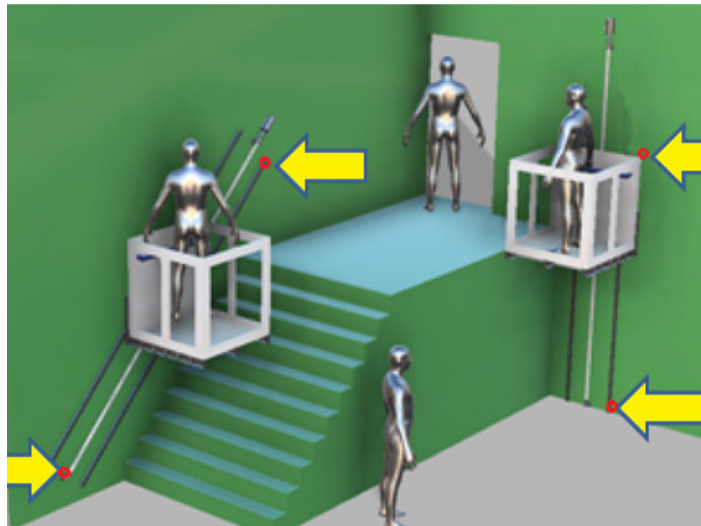
Fonte : Autor (2019).

O princípio de funcionamento do sensor ocorre na comutação dos contatos através da compressão do rolete por outro componente externo. Conforme ilustrado na Figura 6 a barra

retangular cinza avança em direção ao rolete e ocorre a inversão dos estados iniciais dos contatos internos.

Os sensores "fim de curso" foram instalados delimitando o trajeto do elevador nos pontos ilustrados na Figura 7. Quando a cabina toca no sensor o motor é desligado.

Figura 7 - Local de instalação do sensor fim de curso.



Fonte : Autor (2019).

### 3.1.4 Cortina de luz

O sensor do tipo cortina de luz ilustrado na Figura 8 pode ser utilizado para evitar acidentes em áreas onde ocorre a movimentação dos elevadores. O sensor funciona com um par emissor e receptor de luz infravermelha, montados em dispositivos separados. O emissor projeta diversos feixes paralelos de luz infravermelha para células fotoelétricas no receptor.

Figura 8 - Sensor tipo cortina de luz.



Fonte : Catalogo WEGLight Screen Plex (2019).

Conforme WEG (2019) esses dispositivos são fabricados em diversas alturas de proteção que podem variar de 200 até 1.600 mm. O espaço criado entre o emissor e o receptor define a área útil de monitoramento da cortina de luz de segurança conforme a Figura 9. Se um objeto opaco como uma pessoa interrompe um feixe de luz do sensor na área monitorada, a cortina de luz envia um sinal de parada de segurança ao controle da máquina. O elevador para antes que a pessoa possa acessar a área de risco.

Figura 9 - Área útil monitorada pela cortina de luz.



Fonte : Autor (2019).

### 3.1.5 Fechaduras com solenóide

Conforme o item 9.1.2.11 da Norma ABNT NBR ISO 9386-1 (2013): a porta da cabina não pode abrir quando a plataforma está a mais de 50 mm do nível da soleira e o elevador não deve mover ou continuar em movimento com uma porta aberta. A posição fechada deve ser detectada por um dispositivo elétrico de segurança.

Para segurança do usuário foi utilizado a fechadura das portas da cabina com solenóide que impossibilita que o usuário abra a porta de forma acidental ilustrada na Figura 10. Esta

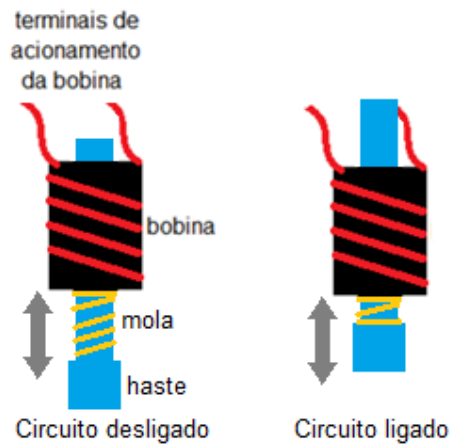
fechadura utiliza um mecanismo eletromagnético que retrai a haste para dentro da bobina somente quando o circuito é energizado conforme ilustrado na Figura 11. Quando o circuito for desligado a mola empurra a haste para fora da bobina.

Figura 10 - Fechadura com solenóide.



Fonte : Adaptado de Mercado livre (2019).

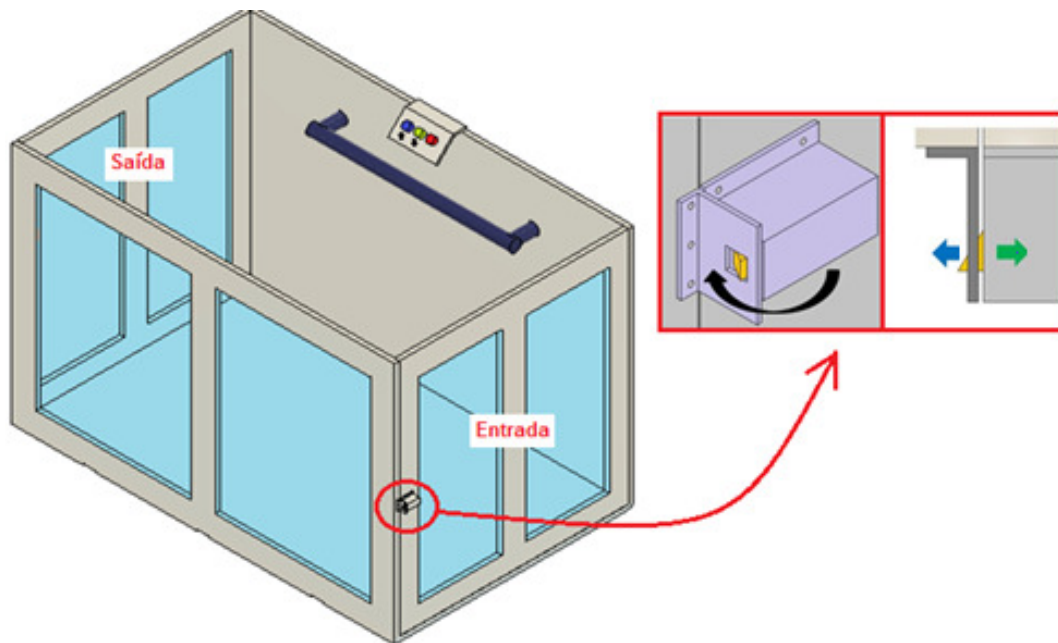
Figura 11 - Funcionamento do solenóide.



Fonte : Autor (2019).

No elevador as fechaduras serão energizadas somente nos pontos de parada com o equipamento imóvel. A extremidade da haste do solenóide é a lingueta da fechadura da porta conforme ilustrado no detalhe da Figura 12. A porta de entrada somente pode ser aberta no pavimento inferior e a de saída no pavimento superior, quando a haste fica recolhida e a porta pode ser movida.

Figura 12 - Fixação da fechadura na porta.



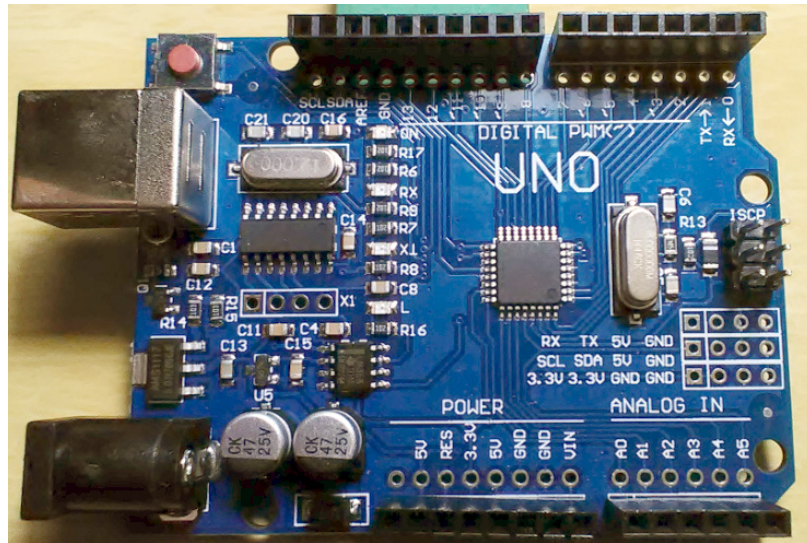
Fonte : Autor (2019).

### 3.2AUTOMAÇÃO DO SISTEMA COM COMANDO DE VOZ

Na automação do elevador para o uso de pessoas com limitações de mobilidade principalmente nos movimentos dos membros superiores foi utilizado o modelo Arduino uno R3 ilustrado na Figura 13. Este modelo é construído com a placa que utiliza o microcontrolador ATmega328 com as seguintes características:

- 14 entradas e saídas digitais e 6 entradas analógicas;
- 14 portas digitais, nas quais, 6 podem ser usadas como Modulação de Largura de Pulso;
- Equipado com cristal oscilador de 16MHz que determina com precisão o tempo de *clock* do microcontrolador;
- Possui porta USB para *upload* da programação, comunicação e também alimentação da placa;

Figura 13 - Arduino Uno R3.



Fonte : Autor (2019).

A plataforma Arduino é um projeto independente de *hardware* aberto com diversas configurações. Monk (2014) descreve que “qualquer pessoa pode usar livremente esses equipamentos e programas para criação de seus próprios projetos”.

O auxílio de um computador é o suficiente para pôr em prática diversos projetos utilizando o microcontrolador Arduino uno R3 segundo Monk (2014). A linguagem utilizada na programação do Arduino é baseada em linguagem C. O programa é desenvolvido ou "escrito" em um *software* semelhante ao de edição de texto e depois compilado.

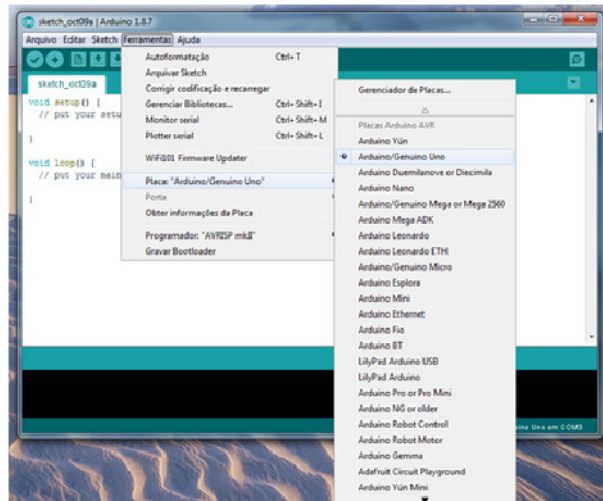
A compilação consiste em converter o programa escrito em linguagem de alto nível (utilizado por pessoas) para linguagem de máquina utilizando o ambiente de desenvolvimento chamado Arduino IDE (ARDUINO, 2019).

A placa Arduino uno pode ser alimentada via conexão USB ou por uma fonte de corrente contínua externa. A fonte externa pode ser um adaptador de corrente contínua para corrente alternada (semelhante aos de celulares) ou bateria. O adaptador pode ser conectado utilizando um plugue tipo Jack com 2.1 mm com pólo positivo interno (ARDUINO, 2019).

A placa opera na faixa de 6 a 20 volts, entretanto se a tensão de alimentação (entrada) for menor que 7 volts as saídas 5 V disponíveis na placa vão fornecer tensão menor do que o especificado e o circuito pode ficar instável. No caso da alimentação for maior que 12 volts o regulador de tensão da placa pode sobre aquecer e danificar a placa. O fabricante recomenda utilizar entre 7 a 12 volts (ARDUINO, 2019).

A placa é programada com o programa Arduino IDE disponibilizado gratuitamente pelo fabricante. O Arduino deve ser conectado ao computador pelo cabo USB. No ambiente de desenvolvimento IDE deve ser acessado a aba ferramentas e selecionado a opção placa como Arduino Uno conforme a Figura 14.

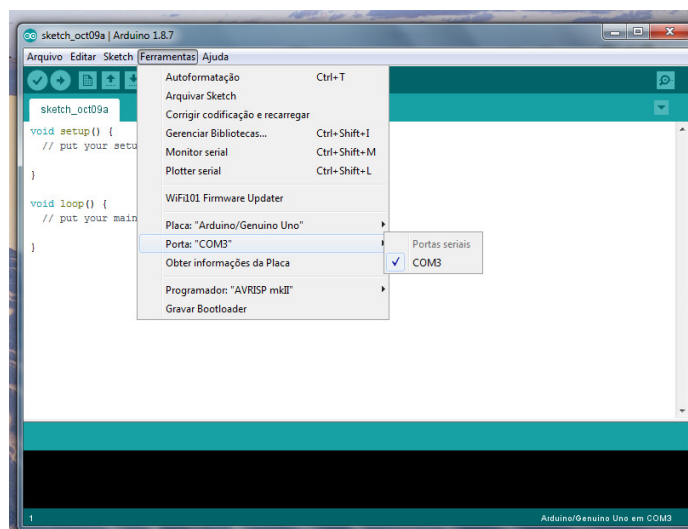
Figura 14 - Seleção do modelo da placa.



Fonte : Autor (2019).

Também é necessário identificar a porta onde a placa foi atribuída na aba Ferramentas, onde a opção “COM”, significa o número o qual o sistema associou à porta atribuída ao Arduino conforme a Figura 15.

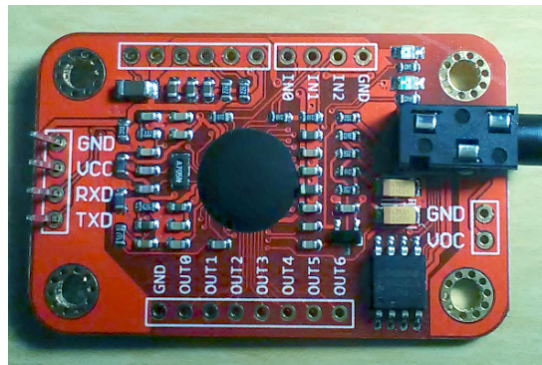
Figura 15 - Seleção de porta serial.



Fonte : Autor (2019).

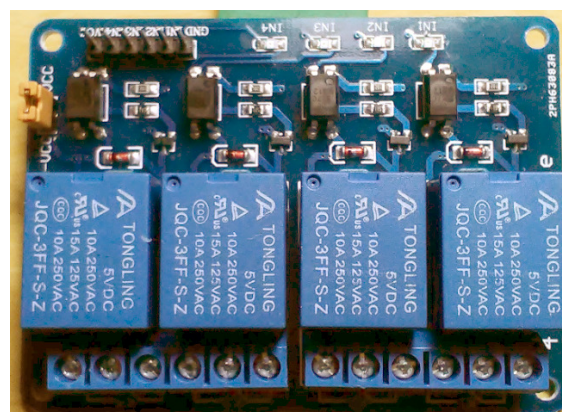
Para a automação do elevador foi utilizado o módulo de reconhecimento de voz VR3 ilustrado na Figura 16 junto de um módulo com quatro relés conforme a Figura 17. O funcionamento do módulo de reconhecimento de voz acontece por meio de sinais sonoros de aproximadamente 1500 ms, assim sendo uma ou duas palavras, com capacidade de armazenamento de até 80 comandos, entretanto somente quatro comandos podem ser utilizados por vez. O dispositivo de reconhecimento de voz processa os dados e compara com os dados treinados e, se o comando corresponder, envia um sinal digital codificado para o Arduino (ELECHOUSE, 2019).

Figura 16 - Módulo de reconhecimento de voz VR3.



Fonte : Autor (2019).

Figura 17 - Módulo com quatro relés.



Fonte : Autor (2019).

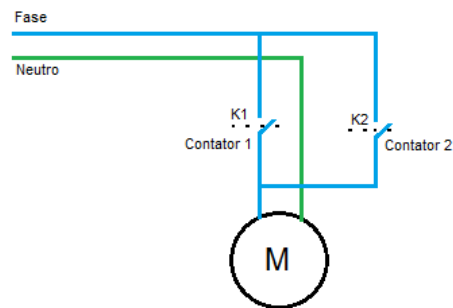
É importante destacar que junto ao módulo de reconhecimento de voz é necessário o uso de um microfone, responsável pelo recebimento de comando de voz segundo Elechouse (2019). A entrada de áudio ou voz é obtida do usuário e convertida em sinal elétrico pelo

microfone. Os comandos de voz são gravados, armazenados e treinados previamente no VR3.

Os comandos usados no elevador junto com suas explicações são os seguintes: "sobe" irá mover o elevador para cima; "desce" moverá o elevador para baixo; o comando "pare" impedirá que o elevador se mova.

O Arduino verifica todos os dados provenientes do VR3 se a voz e os comandos são correspondidos, então o relé selecionado comanda o contator do circuito de potência para o controle do motor conforme o diagrama elétrico ilustrado na Figura 18.

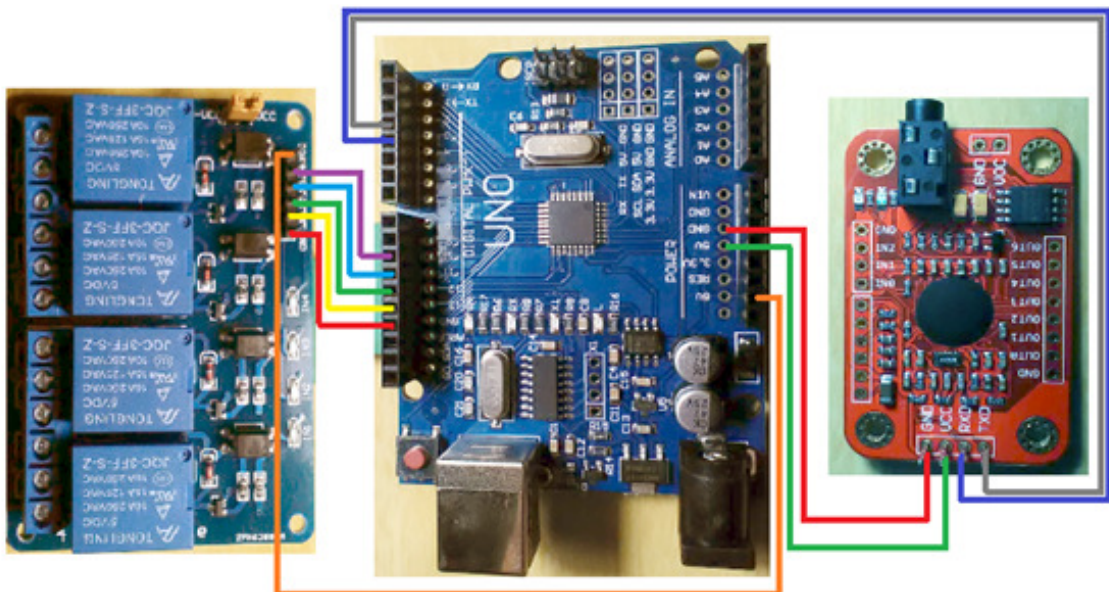
Figura 18 - Diagrama do circuito elétrico de potência.



Fonte : Autor (2019).

As ligações do circuito do Arduino são ilustradas na Figura19. O programa utilizado foi adaptado da biblioteca fornecida pelo fabricante Elechouse e está em anexo no Apêndice A.

Figura 19 - Montagem do circuito do Arduino.



Fonte : Autor (2019).

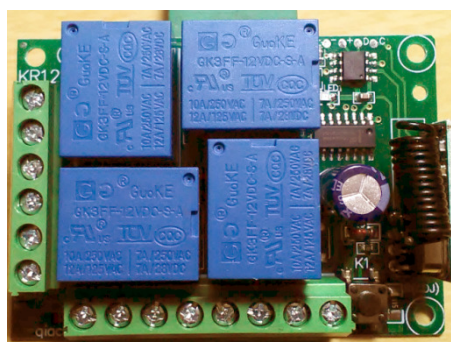
### 3.3 AUTOMAÇÃO DO SISTEMA COM CONTROLE REMOTO

Para o aumento de mobilidade de pessoas as quais não poderiam controlar o elevador ou plataforma sozinhos é proposto o uso de outro módulo com relés acionados por controle remoto na automatização do equipamento. Este recurso eletrônico é montado em uma pequena placa com um circuito controlado por ondas de radio com quatro terminais eletromecânicos que podem automatizar o circuito de potência do motor do elevador

Este módulo é indicado para o uso supervisionado quando o elevador puder ser acionado com segurança por uma pessoa fora do equipamento. Segundo as normas ABNT ISO 9386-1(2013) e ABNT ISO 9386-2(2013) o dispositivo de controle remoto:

- Deve estar em uma posição fixa adjacente à plataforma de elevação, a menos que esteja sob a supervisão de um responsável qualificado.

Figura 20 - Modulo de automação por controle remoto.



Fonte : Autor (2019).

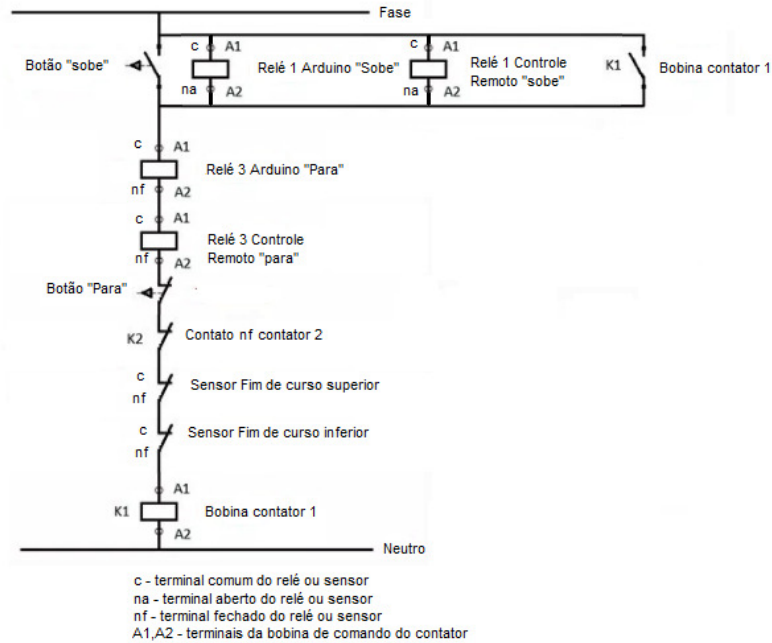
#### 3.3.1 Circuito elétrico dos sistemas de automação

Foram desenvolvidos dois circuitos para a automação e controle do motor do elevador assistivo. O esquema elétrico ilustrado na Figura 21 corresponde ao circuito responsável pela subida do elevador e na Figura 22 é ilustrado o esquema elétrico do circuito de descida.

Os dois circuitos têm como característica em comum dois blocos: um em paralelo responsável pela ativação do comando com elementos eletrônicos chaveados de forma inicialmente em aberto. Isto significa que com um toque no botão da cabina ou o comando do arduino ou do modulo de controle remoto, o motor será acionado. O bloco em serie tem os elementos eletrônicos chaveados de forma inicialmente fechados. Os elementos fechados são

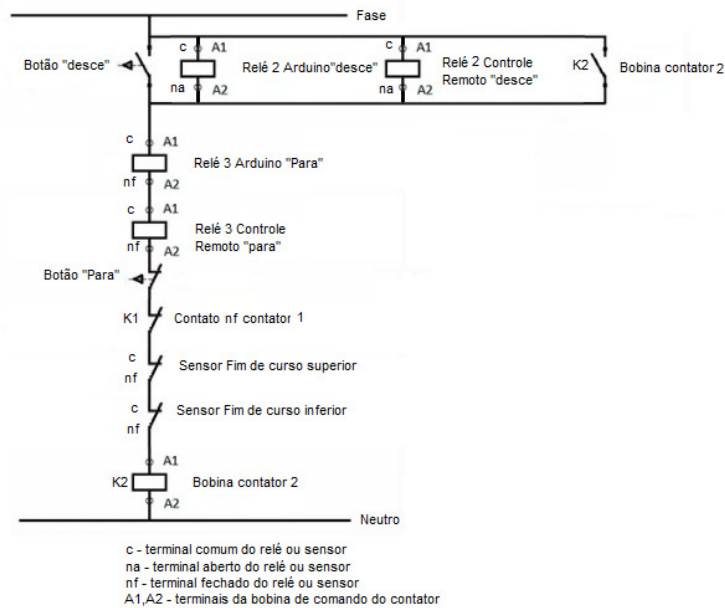
responsáveis pela segurança do elevador, quaisquer destes elementos quando acionados interrompem o movimento do elevador.

Figura 21 - Circuito de subida do elevador.



Fonte : Autor (2019).

Figura 22 - Circuito de descida do elevador.



Fonte : Autor (2019).

### 3.4 DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DOS COMPONENTES

Os parâmetros utilizados para o dimensionamento da estrutura e elementos de máquina utilizados no estudo são fundamentados nas Normas Técnicas:

- ABNT NBR 9050 (2004): Acessibilidade à edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos;
- ABNT NBR ISO 9386-1 (2013): Plataformas de elevação motorizadas para pessoas com mobilidade reduzida - Requisitos para segurança, dimensões e operação funcional Parte 1: Plataformas de elevação vertical;
- ABNT NBR ISO 9386-2 (2013): Plataformas de elevação motorizadas para pessoas com mobilidade reduzida - Requisitos para segurança, dimensões e operação funcional Parte 2: Elevadores de escadaria para usuários sentados, em pé, e em cadeira de rodas, deslocando se em um plano inclinado.

A velocidade nominal das plataformas determinadas nas normas ABNT NBR ISO 9386-1(2013) e ABNT NBR ISO 9386-2(2013) deve ser menor ou igual a 0,15 m/s. A carga nominal do elevador não poderá ser inferior a 250 kg (2451,5 N) conforme o item 4,8 da norma ABNT NBR ISO 9386-1(2013) e conforme ABNT NBR ISO 9386-2(2013) os elevadores devem ser projetados para uma carga mínima de 225 kg (2207,25 N).

Para o dimensionamento da plataforma do elevador conforme a norma ABNT NBR ISO 9386-1(2013), a dimensão plana mínima exigida da base para um acompanhante em pé atrás do usuário em cadeira de rodas é igual a 1,28 m<sup>2</sup> (0,8 m x 1,6 m). Segundo a norma ABNT NBR ISO 9386-2(2013) em um elevador de plano inclinado *recomenda* que área máxima da base seja igual a 1,125 m<sup>2</sup> (0,9 m x 1,25 m) entretanto, nesta norma considera o usuário sozinho no equipamento.

Assim, foram adotados os seguintes parâmetros iniciais dos elevadores:

- Velocidade máxima do elevador: 0,15 m/s;
- Carga mínima: 2451,5 N;
- Área da base do elevador com 1 m x 1,6 m que viabiliza a presença do acompanhante junto ao usuário se necessário considerando que o critério da norma ABNT NBR ISO 9386-2(2013) não restringe ou limita a área proposta, é uma recomendação.

### 3.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO

Conforme descrito em CIBSE (2010) existem diversos sistemas motores empregados em elevadores assistivos, sendo os mais utilizados: sistemas de cremalheiras, correntes e fuso. O sistema que utiliza o fuso foi escolhido neste trabalho pela simplicidade na montagem da estrutura e a capacidade de auto travamento nos modelos com rosca trapezoidal ilustrado na Figura 23.

Figura 23 - Fuso trapezoidal.



Fonte : Adaptado de Norelem (2019).

A primeira variável no dimensionamento do fuso foi o comprimento a partir disso, determinou-se a altura máxima de deslocamento do elevador como sendo de um andar ou aproximadamente 4 metros. Com este comprimento existem diversos modelos de fusos disponíveis comercialmente e será o suficiente para a mobilidade de um andar para outro em uso residencial.

Outra variável na seleção do fuso foi a carga máxima na qual ele será submetido, considerando a massa da estrutura da cabina (aproximadamente 150 kg), acrescida da carga nominal do projeto (250 kg, previsto na norma) a capacidade de carga será de 400 kg. Com essas variáveis definidas foi procurado em catálogos de fabricantes um fuso o qual detenha os requisitos do projeto. Foi selecionado o fuso TR40x7 com rosca trapezoidal do fabricante A.T.I. do Brasil com as propriedades descritas conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades do fuso selecionado.

Dados	Valores	Unidades
Diâmetro	40	mm
Rendimento	0,37	%
Carga máxima	4314,64	N
Momento torçor na subida	33,28	Nm
Comprimento	4	m
Passo	7	mm
Limite de escoamento	206.8	MPa
Resistência a tração	448.2	MPa
Massa	32,28	kg
Rotação máxima do fuso	217	rpm

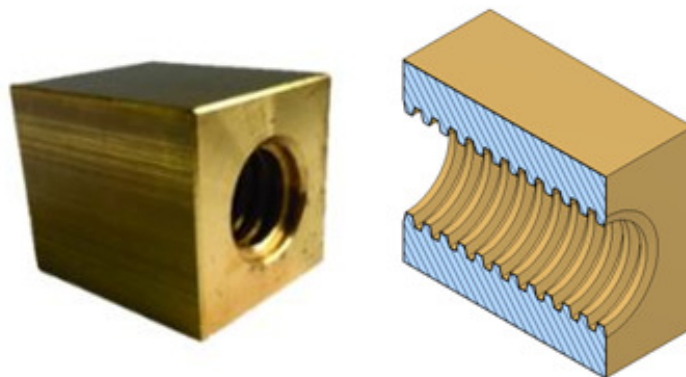
Fonte : Adaptado de catálogo de fusos A.T.I (2019).

A partir das características do fuso foi especificada a porca para a movimentação da cabina. Para isto, utilizou-se o diâmetro de 40 mm e o passo de 7 mm do fuso especificado. Na figura 24 é ilustrada a porca quadrada selecionada.

Conforme as normas ABNT NBR ISO 9386-1(2013) e ABNT NBR ISO 9386-2(2013) a porca deve ser de material com desgaste maior do que o fuso, e por este motivo, foi selecionado o material da porca como sendo latão com limite de escoamento de 124 MPa e resistência a tração de 338 MPa.

As normas ABNT NBR ISO 9386-1(2013) e ABNT NBR ISO 9386-2(2013) definem que para elevadores e plataformas movidos por fusos devem ser utilizados uma segunda porca de segurança com a mesma resistência da principal, impossibilitando a movimentação ou queda do elevador em caso de falhas.

Figura 24 - Porca selecionada.



Fonte: Adaptado de Ati do Brasil (2019).

A característica principal do fuso de modelo trapezoidal é possibilidade do auto-travamento conforme Norton (2013). Esta característica de auto travamento é interessante para o projeto, pois retira a necessidade de uso de um sistema específico de freio para que não ocorra a movimentação da cabina do elevador quando o motor estiver desligado conforme as normas ABNT NBR ISO 9386-1(2013) e ABNT NBR ISO 9386-2(2013).

Segundo o catalogo CONTI (2019) ocorre o completo travamento do par porca-parafuso para sistemas com ângulo de hélice menor que  $2^{\circ}30'$ . O sistema pode ser verificado segundo a equação (1) conforme (Norton, 2013):

$$\mu \geq \left( \frac{La}{\pi * dp} \right) \cos \alpha. \quad (1)$$

Onde, o coeficiente de atrito ( $\mu$ ) deve ser maior ou igual ao produto dado pelo avanço  $La$ , o diâmetro primitivo  $d_p$ , e o ângulo da rosca  $\alpha$ .

Adota-se que "o coeficiente de atrito entre fuso e a porca sendo lubrificada por óleo é  $0,15 \pm 0,05$ ". Substituindo os valores:

$$0,15 \geq \left( \frac{7mm}{\pi \times 30,703mm} \right) \times \cos 14,5^{\circ} \quad (1)$$

Assim, o resultado  $0,15 \geq 0,058$  verifica a característica de auto-travamento do fuso especificado. Então utilizando esse modelo de fuso a cabina somente é movimentada com a ação direta do motor.

### 3.6 DIMENSIONAMENTO DO MOTOR REDUTOR

Um redutor é o equipamento que reduz a velocidade de entrada do motor através de um conjunto de engrenagens ou um par fuso-engrenagem fazendo com que o torque no eixo de saída seja ampliado (NORTON, 2013).

Para a movimentação do fuso é necessário um momento torçor de 33,28 Nm conforme a Tabela 1. Segundo o catálogo do fabricante IBR (2019) o modelo 050 tem suas características descritas na Tabela 2:

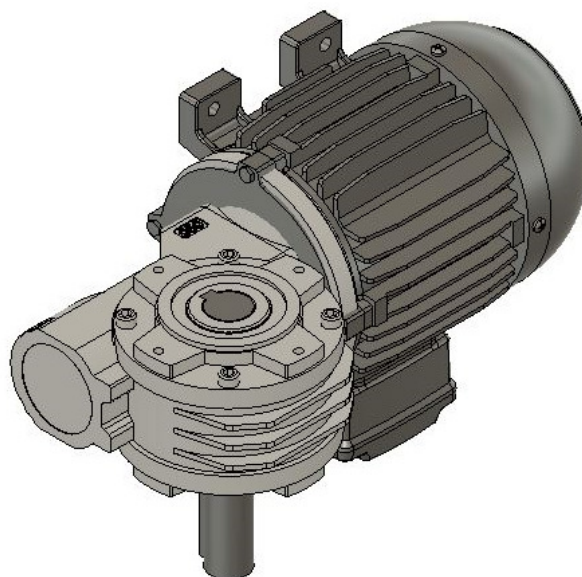
Tabela 2 - Propriedades do motor redutor selecionado.

Dados	Valores	Unidades
Rotação de saída	170	rpm
Potencia do motor	1,5	Cv
Torque de saída	45,7	Nm
Rendimento	80	%
Furo de saída	24	mm

Fonte : Adaptado de catálogo IBR (2019).

Conforme o fabricante IBR (2019) este modelo ilustrado na Figura 25 foi desenvolvido com engrenagens do tipo coroa e rosca sem fim com a relação de redução igual a 10. O formato redondo de seu corpo o torna compacto com comprimento de 143 mm, largura de 81 mm e altura de 135 mm. Eles podem ser fornecidos com eixos de saída vazados neste caso com diâmetro de 24 mm. São fabricados em carcaça de alumínio, conferindo menor massa e melhorando a dissipação de calor.

Figura 25 - Motor Redutor modelo 050.



Fonte : Adaptado de catálogo IBR (2019).

Para a verificação da especificação de potência do motor, é utilizando a equação (2), a qual está em função do momento torçor necessário para a subida da porca no fuso com a carga máxima 33,28 Nm ( $339,4kgf.cm$ ), e a rotação do fuso 170 rpm:

$$Mt(kgf.cm) = \frac{71.620 \times p(cv)}{r(rpm)} \quad (2)$$

onde,

$Mt$  = Momento torçor no fuso;

$p$  = Potência do motor;

$r$  = Rotações por minuto do fuso.

Substituindo os valores na equação (2) foi obtido:

$$339,4kgf.cm = \frac{71.620 * P}{170} \quad (2)$$

$$P = 0,8 cv$$

Considerando-se as perdas na transmissão, com rendimento de 0,8 do redutor utilizando a equação (3):

$$P = \frac{0,8cv}{\eta} \quad (3)$$

foi obtido:

$$P = \frac{0,8}{0,8} = 1cv$$

Com este resultado foi comprovado que o motor redutor com 1,5 Cv é suficiente para a movimentação do elevador.

### 3.7 DIMENSIONAMENTO DO ACOPLAMENTO

Para efetuar a transmissão de potência entre o redutor e o fuso devem ser utilizados acoplamentos, principalmente elásticos, elementos mecânicos que servem para absorver e/ou reduzir sobrecargas e vibrações (NORTON, 2013; PTI, 2019; REXNORD, 2019).

Neste desenvolvimento, devem-se absorver cargas causadas na partida ou parada do elevador devido à inércia do sistema. Desta forma, evitam-se danos do fuso, assim como, para resistir a um mínimo grau de desalinhamento do sistema. (PTI, 2019; REXNORD, 2019).

Dentre os vários modelos de acoplamentos no mercado foi selecionado o tipo acoplamento de pino e bucha TeTeFlex Plus® conforme a Figura 26. Esse acoplamento tem como características conforme (TETEFLEX, 2019):

- Não é necessária a manutenção periódica e não requer lubrificação;
- Sua forma construtiva simplificada permite que a instalação seja rápida e fácil;
- Permite a troca dos amortecedores sem desacoplar as máquinas, ou o próprio acoplamento, pois os pinos e buchas são facilmente removíveis;

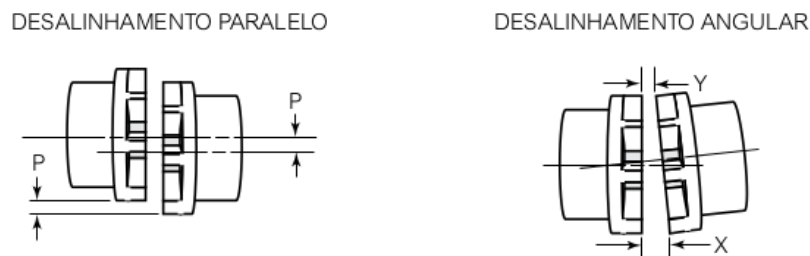
Figura 26 - Acoplamento de pino e bucha TeTeFlex Plus®.



Fonte : Adaptado de catálogo Teteflex (2019).

Os acoplamentos flexíveis têm duas placas onde é fixado o elemento elástico. Estas mandíbulas se sobrepõem axialmente e se entrelaçam torcionalmente através de um separador complacente de borracha segundo Norton (2013). As folgas permitem desalinhamento axial, angular e paralelo conforme Figura 27, mas podem também permitir golpes indesejáveis.

Figura 27 - Desalinhamentos no acoplamento.



Fonte: Adaptado de catalogo Rexnord(2019).

Conforme os catálogos de acoplamentos elásticos Pti, Rexnord e Teteflex(2019) o método de seleção do equipamento foi realizado com os seguintes passos:

- Determinar a linha ou tipo do acoplamento desejado.
- Selecionar o tamanho do acoplamento conforme o torque calculado na equação (4)

$$T_{Kmax} \geq T_N \times S_Z \times S_t \times S_A \times S_M \times S_T \quad (4)$$

Onde:

$T_{Kmax}$  = Torque máximo do acoplamento;

$T_N$  = Torque nominal do redutor;

$S_Z$  = Fator de correção de frequência de partida;

$S_t$  = Fator de correção de temperatura;

$S_A$  = Fator de correção de serviço;

$S_M$  = Fator de correção para máquina acionadora;

$S_T$  = Fator de correção de tempo de trabalho;

- Comparou se a rotação (rpm), furo máximo e dimensões do acoplamento selecionado.

Substituindo os valores listados na Tabela 3 que foram retirados do catalogo Teteflex (2019) e o torque nominal do redutor listado na Tabela 2 na equação (4) foi obtido:

Tabela 3- Valores dos fatores listados no catalogo Teteflex.

Dados	Valores
Fator de correção frequência de partida	1
Fator de correção de temperatura	1
Fator de correção de serviço	1
Fator de correcao para máquina acionadora	1,8
Fator de correção de tempo de trabalho	1

Fonte: Adaptado de catalogo Teteflex (2019).

$$T_{Kmax} \geq 47,5 \times 1 \times 1 \times 1,8 \times 1 \times 1 \quad (4)$$

$$T_{Kmax} \geq 82,26 \text{ Nm} \quad (4)$$

Considerando o resultado obtido na equação (4) e o diâmetro do eixo (30 mm), o Acoplamento de pino e bucha TeTeFlex Plus® tamanho D3 com suas características listadas na Tabela 4 pode ser utilizado.

Tabela 4 - Características do acoplamento tamanho D3.

Dados	Valores	Unidades
Torque nominal	140	Nm
Rotação máxima	4500	rpm
Diâmetro do furo máximo	38	mm

Fonte: Adaptado de catalogo Teteflex (2019).

### 3.8 DIMENSIONAMENTO DO ROLAMENTO E GUIAS LINEARES

#### 3.8.1 Seleção dos rolamentos

Para a especificação dos rolamentos foi utilizado o Catálogo geral de rolamentos NSK(2019). Conforme a equação (5) que define a capacidade de carga básica  $C$  :

$$C = \frac{fh \times P}{fn} \quad (5)$$

Onde, “ $fh$ ” é o coeficiente de vida de projeto para a máquina, “ $P$ ” é a carga no rolamento, e “ $fn$ ” é o coeficiente de velocidade.

Do fuso especificado, foi obtida na Tabela 1 a carga máxima que atuará no rolamento axial, a qual é dada pela carga máxima do fuso  $3922,4 N$  mais o peso do fuso  $316,5 N$  sendo o total igual a  $4238,9 N$ .

Os coeficientes são determinados em função das aplicações e velocidade do eixo conforme as condições de trabalho determinadas na Figura 28. Para elevadores o coeficiente  $fh$  tem valores entre 3 e 5, o valor utilizado foi 4. E o valor  $fn$  utilizado para 170 rpm foi 0,6.

Figura 28 - Condições de trabalho e velocidade do eixo.

Condições de Trabalho	Valores de $f_h$ e Aplicações		
	~3	2~4	3~5
Uso ocasional mas requer funcionamento seguro		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motores para aparelhos de ar condicionado doméstico</li> <li>• Máquinas de construção civil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Roletes de correias transportadoras</li> <li>• Elevadores</li> </ul>

$n$  (rpm)

$f_n$

Rolamento de Esferas

Fonte: Adaptado do catálogo NSK (2019).

Substituindo os valores na equação (5) foi obtido:

$$C = \frac{4 \times 4238,9}{0,6} = 28259,34N \quad (5)$$

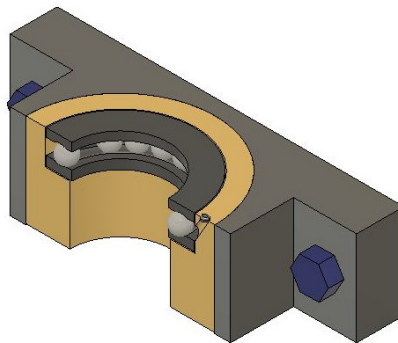
Considerando a extremidade inferior do fuso com 30 mm de diâmetro onde o rolamento será instalado na configuração de elevação vertical mais o valor de carga obtido na equação (5) foi selecionado o rolamento axial de esferas de escora simples 51206 com assento plano com as características detalhadas na Tabela 5. A montagem do rolamento axial é ilustrada na Figura 29.

Tabela 5 - Propriedades do rolamento axial selecionado.

Dados	Valores	Unidades
Diâmetro interno	30	mm
Diâmetro externo	52	mm
Altura	16	mm
Capacidade de carga estática	58000	N
Capacidade de carga dinâmica	20600	N
Limite de rotação com graxa	3400	rpm
Limite de rotação com óleo	5300	rpm

Fonte: Adaptado de catálogo NSK(2019).

Figura 29 - Vista da montagem do rolamento inferior no suporte em corte.



Fonte: Autor (2019).

Na extremidade superior do fuso na configuração de elevação vertical o rolamento será instalado na seção com diâmetro de 30 mm. Considerando a possibilidade de ocorrer um mínimo desalinhamento de até 2 graus de inclinação do fuso foi selecionado o rolamento

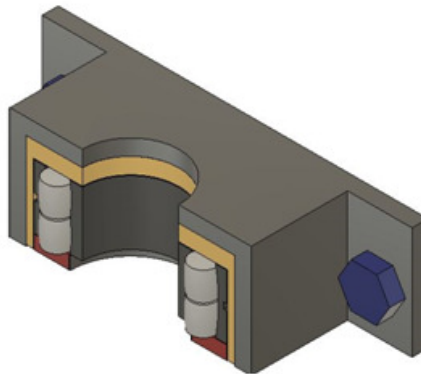
autocompensador de rolos 22206CE4 com as características detalhadas na Tabela 6. A montagem do rolamento no suporte é ilustrada na Figura 30.

Tabela 6 - Propriedades do rolamento axial selecionado.

Dados	Valores	Unidades
Diâmetro interno	30	mm
Diâmetro externo	62	mm
Altura	20	mm
Capacidade de carga estática	50000	N
Capacidade de carga dinâmica	50000	N
Limite de rotação com graxa	6000	rpm
Limite de rotação com óleo	7500	rpm

Fonte: Adaptado de catálogo NSK (2019).

Figura 30- Vista da montagem do rolamento superior no suporte em corte.



Fonte: Autor (2019).

### 3.8.2 Seleção das guias lineares

Guias lineares são elementos que utilizam esferas recirculantes para obtenção de alto grau de precisão e baixo atrito para movimentação de cargas em um sistema semelhante a um par patins-trilhos segundo HWIN e NSK(2019). Devido a alta precisão na usinagem e ao acabamento superficial obtido, as guias lineares têm alta resistência a fadiga se comparados a trilhos feitos de perfis de aço convencionais (NORTON, 2013; HWIN 2019; NSK 2019).

Neste trabalho as guias lineares limitam a movimentação da cabine em uma única direção conforme a configuração do elevador. Na Figura 31 são ilustrados alguns modelos disponíveis no mercado.

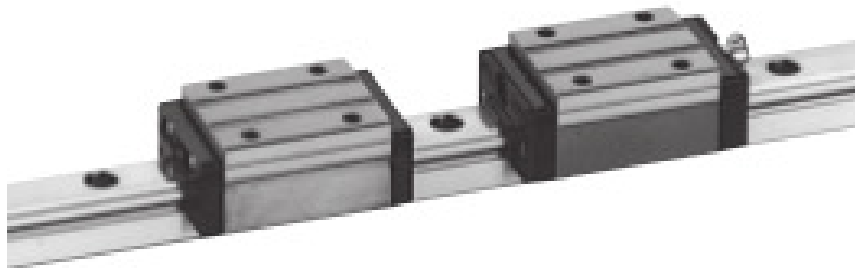
Figura 31 - Modelos de guias lineares e patins



Fonte: Adaptado do catálogo NSK(2019).

Utilizando a guia linear modelo L1H354000-01Z e os patins modelo LAH35ANZ da NSK ilustrado na Figura 32 disponível para uso no departamento de mecânica com suas características listadas na Tabela 7

Figura 32 - Guia linear modelo LAH35ANZ com patins.



Fonte: Adaptado do Catálogo NSK (2019).

Tabela 7 - Propriedades dos Patins LAH35ANZ.

Dados	Valores	Unidades
Comprimento	109	mm
Largura	70	mm
Altura	45,5	mm
Carga estática	7010	kgf
Carga dinâmica	3960	kgf

Fonte: Adaptado de Catálogo NSK (2019).

Segundo os catálogos dos fabricantes HWIN e NSK (2019) o cálculo da vida útil do equipamento, isto é o número de ciclos ou o tempo no qual ele trabalhará sem apresentar falhas pode ser definido conforme o as equações (6) e (7).

$$P_c(kgf) = \frac{w \times h}{2d} - \frac{F \times h}{2d} \quad (6)$$

$$L = \left( \frac{f_h \times f_t \times C}{f_w \times P_c} \right)^3 \times 50km \quad (7)$$

Onde :

$L$  = vida nominal em (km);

$f_h$  = fator de dureza do material do trilho;

$C$  = carga dinâmica (kgf);

$f_t$  = fator de temperatura do ambiente de trabalho;

$P_c$  = carga calculada (kgf);

$f_w$  = fator de carga definido por choque e vibração nas guias;

$w$  = carga mínima no sistema (kgf);

$h$  = distancia do centro de massa do sistema e o ponto de aplicação de força (mm);

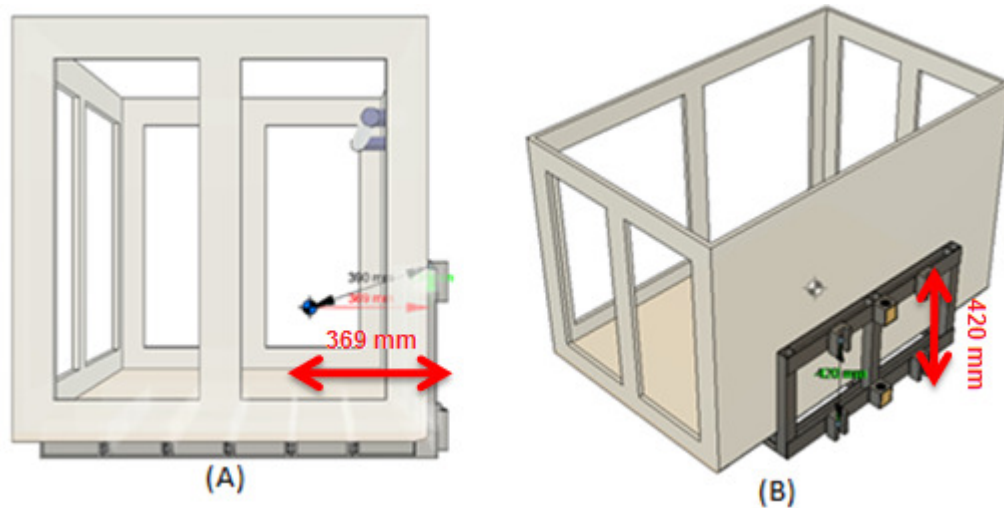
$d$  = distancia entre os centros dos patins (mm);

$F$  = Força atuando na movimentação do sistema (kgf).

Nas equações (6) e (7) são utilizados o modelo desenvolvido no programa Autodesk Fusion® para a obtenção da distância entre o centro de massa e o ponto de aplicação da força denominado por “ $h$ ” conforme a Figura 33 (A), que neste caso é onde ocorre o contato entre a porca e o fuso.

Outra medida utilizada através do modelo tridimensional é a distância entre os centros dos patins “ $d$ ” conforme ilustrado na Figura 33 (B). A carga mínima utilizada nas equações foi a carga nominal do elevador de 250 kg mais a massa da cabina de aproximadamente 100 kg.

Figura 33 - Distância do centro de massa do sistema e o ponto de aplicação de força (A) e distância vertical entre os centros dos patins (B)



Fonte: Autor (2019).

Os valores de cada variável e os resultados das equações são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores e resultados obtidos das equações 6 e 7.

Dados	Valores	Unidades
F	84,8	kgf
W	350,0	kgf
D	420,0	mm
H	369,0	mm
Fh	1	
Ft	1	
Fw	2	
C	3960	kgf
Pc	108,7	kgf
L	6041,6	km

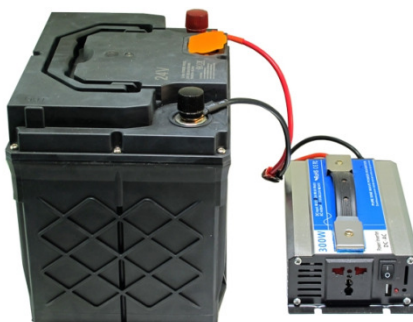
Fonte: Autor (2019).

A vida nominal das guias lineares conforme o resultado da equação (7) listado na Tabela 8 será de 6041,6 km. Considerando que em cada vez que o elevador for acionado são percorridos quatro metros então, as guias terão vida útil de 1.510.391 ciclos. Os elementos de fixação das guias nas paredes são propostos no Apêndice B.

### 3.9 SISTEMA DE EMERGÊNCIA PARA FALTA DE ENERGIA

Caso ocorra falta de energia da rede para o elevador será utilizado um inversor de tensão para concluir o percurso da cabina. Um inversor é usado para converter a corrente contínua (CC) armazenada em uma bateria, em corrente alternada (CA) que é disponível nas redes residenciais. A ligação entre o conversor e a bateria é ilustrada na Figura 34.

Figura 34 - Ligação elétrica do inversor de tensão a bateria de corrente contínua.



Fonte: Adaptado de Bixpower (2019).

A saída do inversor pode ser monofásica ou trifásica. Os inversores são classificados pela capacidade total de energia, que varia de centenas de watts a megawatts segundo Kalogirou (2019). Normalmente é utilizada uma bateria de automotiva 12 V (CC) para gerar 120 V (CA) com 60 Hz. Se a energia da rede falhar, o equipamento continuará operando (FRENZEL, 2019).

A bateria é carregada continuamente por um equipamento eletrônico integrado conforme ilustrado na Figura 35 que opera a partir de uma tomada da rede residencial. O terminal vermelho do carregador é ligado no pólo positivo (+) e o terminal preto é ligado no pólo negativo (-) da bateria.

Figura 35 - Carregador de bateria integrado.



Fonte: Adaptado de Mercado livre (2019).

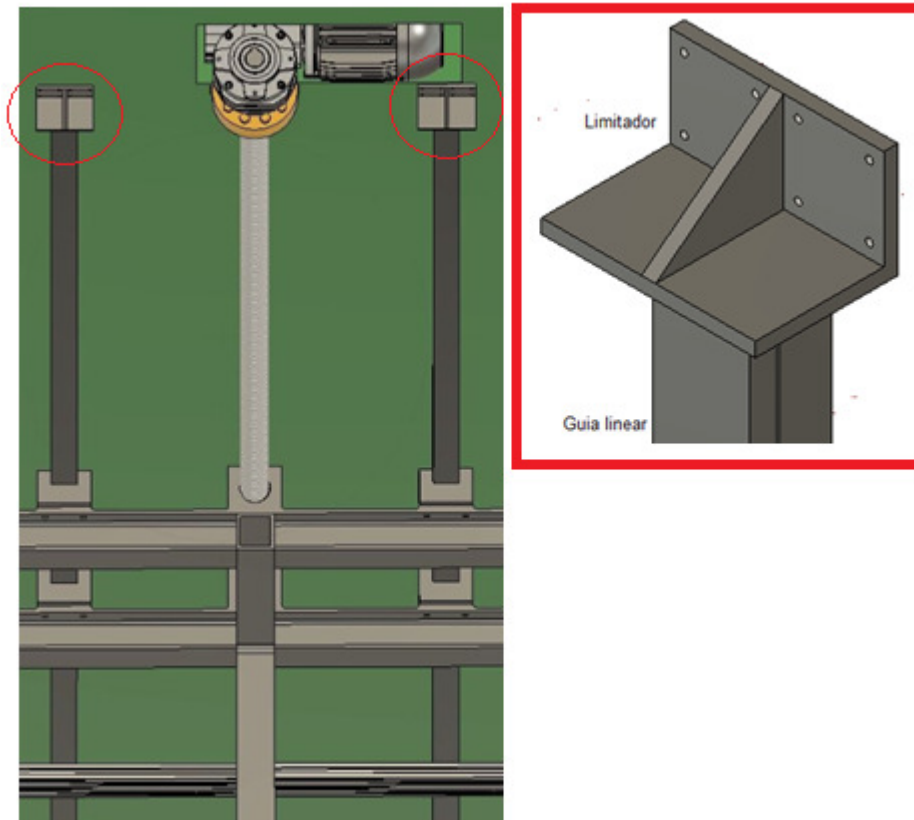
A potência do motor selecionado conforme a Tabela 2 é de 1,5 Cv que corresponde a 1104 w, então foi selecionado o inversor de tensão com capacidade para 2000 w que fornecerá energia suficiente para o elevador sem ser sobrecarregado.

### 3.10 LIMITADORES DE PERCURSO

Foram utilizados limitadores de percurso conforme o item 8.16.1 da Norma ABNT NBR ISO 9386-1 (2013) que define a necessidade do uso limitadores de percurso normal e limitadores de percurso final. Os limitadores de percurso normal são os sensores fim de curso detalhados no capítulo 4.1.3 com funcionamento eletro mecânico.

Os limitadores de percurso final são peças mecânicas com largura maior que a seção transversal da guia linear conforme a Figura 36, instalados nas extremidades dos trilhos para que o elevador não se movimente além do comprimento delimitado pela guia linear e os patins saiam.

Figura 36 - Limitadores de percurso final.



Fonte: Autor (2019).

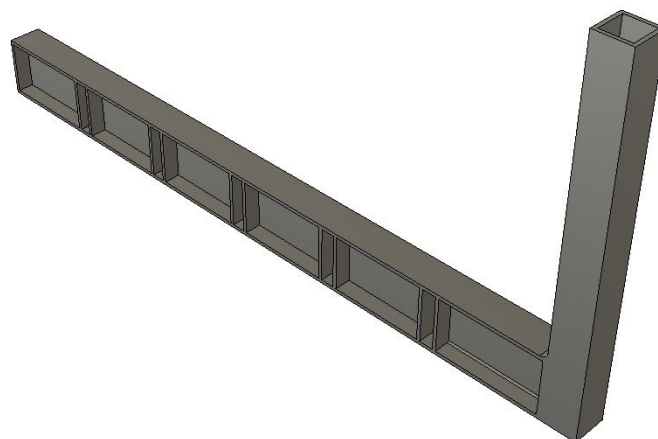
### 3.11 MODELAGEM DOS COMPONENTES DA BASE DO ELEVADOR

Os procedimentos de modelagem da base do elevador foram realizados no Autodesk Fusion®. Este *software* foi escolhido porque existe a possibilidade da utilização gratuita em uma licença estudantil de suas ferramentas de *Computer Aided Design* (CAD) e *Computer Aided Engineering* (CAE). Outra característica positiva neste programa é a capacidade de processamento de dados de elementos finitos de forma remota na nuvem, que é uma excelente opção de ferramenta para computadores com baixa capacidade de processamento.

Inicialmente foram modeladas as barras transversais ou vigas que suportariam a estrutura do elevador. Estes componentes estruturais sofrem diversos esforços sob carregamento, entretanto o elemento crítico neste estudo considerando o conjunto é a deflexão.

A deflexão pode causar interferências entre partes moveis ou desalinhamentos que prejudicam a precisão requerida de um dispositivo conforme Norton (2013). Em geral projetar para minimizar a deflexão levará a maiores seções transversal da viga do que projetar apenas contra a falha por tensão conforme Norton (2013). A partir disso, em diversas tentativas utilizando como referencia perfis de aço comercial do catalogo Gerdau (2019), foi desenvolvida a barra transversal conforme a Figura 37, utilizando perfil viga "I" de 1000 mm x 50 mm x 90 mm e tubo de seção transversal quadrado com 50 mm x 50 mm.

Figura 37 - Barra transversal da plataforma.



Fonte: Autor (2019).

As funções da barra transversal é suportar o peso da cabine carregada e servir de ponto de fixação dos outros elementos estruturais. Foram utilizadas três barras transversais em

paralelo unidas por cinco barras longitudinais conforme a Figura 38 para a distribuição uniforme da carga.

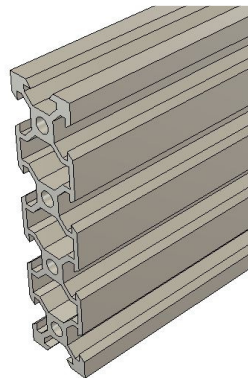
Figura 38 - Junção das Barras transversais e longitudinais da plataforma.



Fonte: Autor (2019).

As barras longitudinais foram construídas com o perfil *Openbuilds* conforme ilustrado na Figura 39. Este perfil é produzido em alumínio 6061, e esta liga é a mais utilizada atualmente para extrusão segundo Aalco (2019). Conforme Oberg (2000) o processo de extrusão diferencia-se em relação a outros processos de fabricação por ser capaz de criar seções transversais complexas com excelente tolerância dimensional e acabamento superficial.

Figura 39 - Barras longitudinais.



Fonte: Autor (2019).

Considerando o momento principal de inércia de área do perfil retangular utilizado no trabalho de Oliveira (2018) e comparando com o perfil *Openbuilds* utilizado na dissertação de Nakazato (2019) ilustrados na Figura 40 e Figura 41 respectivamente, foram obtidos os valores na Tabela 9.

Figura 40 - Perfil de alumínio retangular.



Fonte: Autor (2019).

Figura 41 - Perfil de alumínio *Openbuilds*.



Fonte: Autor (2019).

Tabela 9 - Momentos principais de inércia de área no centróide.

Perfil	Dados	Valores	Unidades
Retangular	$I_x$	$0,046 \times 10^{-7}$	$m^4$
	$I_y$	$0,381 \times 10^{-7}$	$m^4$
Openbuilds	$I_x$	$1,175 \times 10^{-7}$	$m^4$
	$I_y$	$5,632 \times 10^{-7}$	$m^4$

Fonte: Autor (2019)

O perfil *Openbuilds* possui maior momento de inércia e conforme a equação (8), a deflexão da viga utilizando este perfil será menor porque é inversamente proporcional à inércia da viga. Ou seja, aumentando o momento de inércia da estrutura consequentemente se reduz na mesma proporção a deflexão da mesma.

$$\delta = \frac{FL^3}{3EI} \quad (8)$$

$\delta$  = Deflexão da viga (m);

F = Força atuando na viga (N);

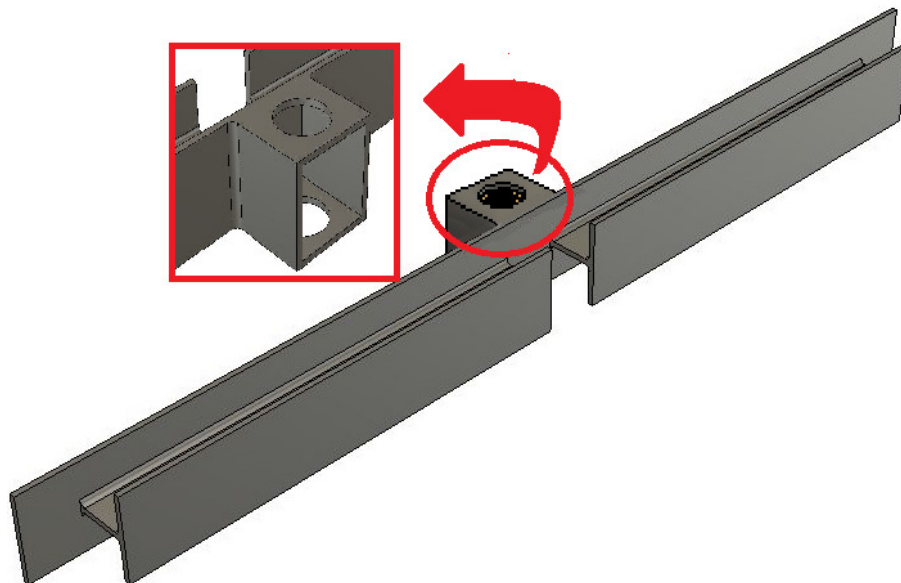
L = Comprimento da viga (m);

E = Modulo de elasticidade (N/m<sup>2</sup>);

I = Momento de inércia de área da seção transversal da viga (m<sup>4</sup>).

Para a fixação e união das barras transversais ao sistema de transmissão e guias são utilizadas duas vigas de perfil comercial "I" (1000 mm x 80 mm x 55 mm) modificadas conforme a Figura 42. No detalhe é exibida a caixa da porca quadrada com os furos para a passagem do fuso.

Figura 42 - Viga perfil "I" com destaque na modificação para o sistema de transmissão.

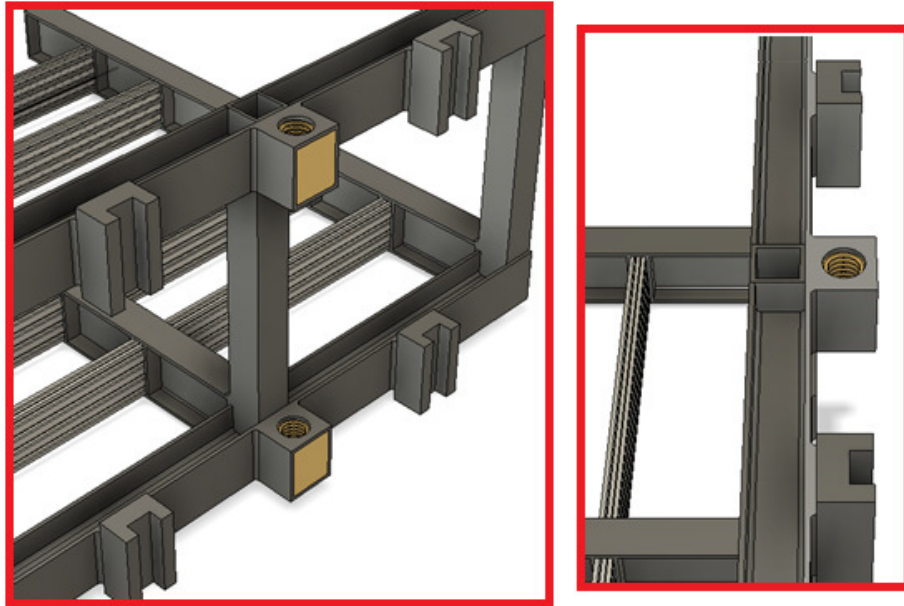


Fonte: Autor (2019).

### 3.11.1 Diferenças entre as configurações vertical e plano inclinado

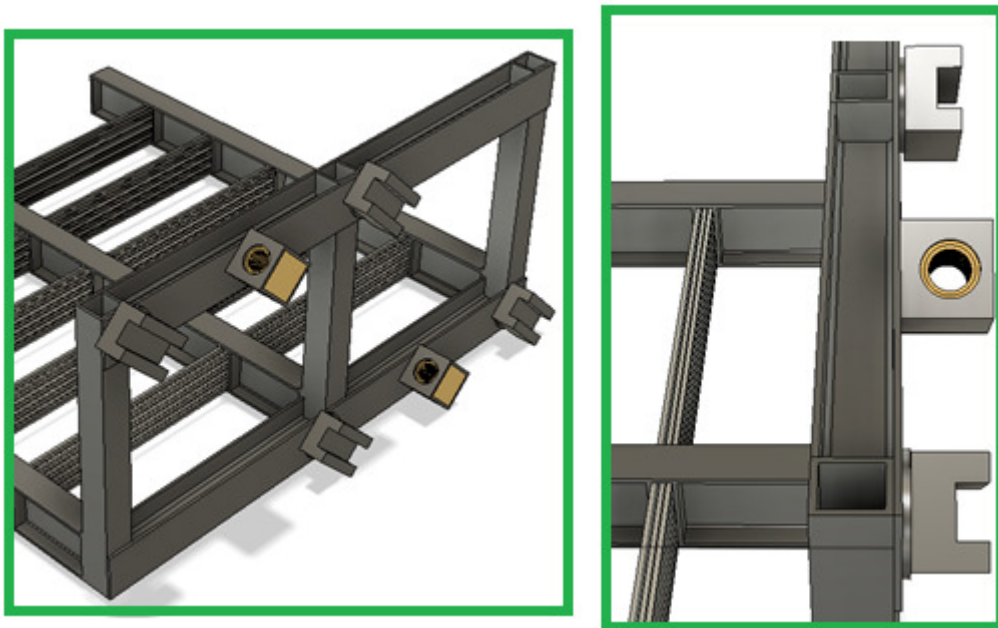
Para a viabilidade de utilização da estrutura nos dois tipos de elevadores, vertical e plano inclinado foi necessário recorrer à utilização de configurações diferentes no posicionamento do sistema de transmissão e das guias lineares conforme a Figura 43 e a Figura 44.

Figura 43 - Configuração vertical.



Fonte: Autor (2019).

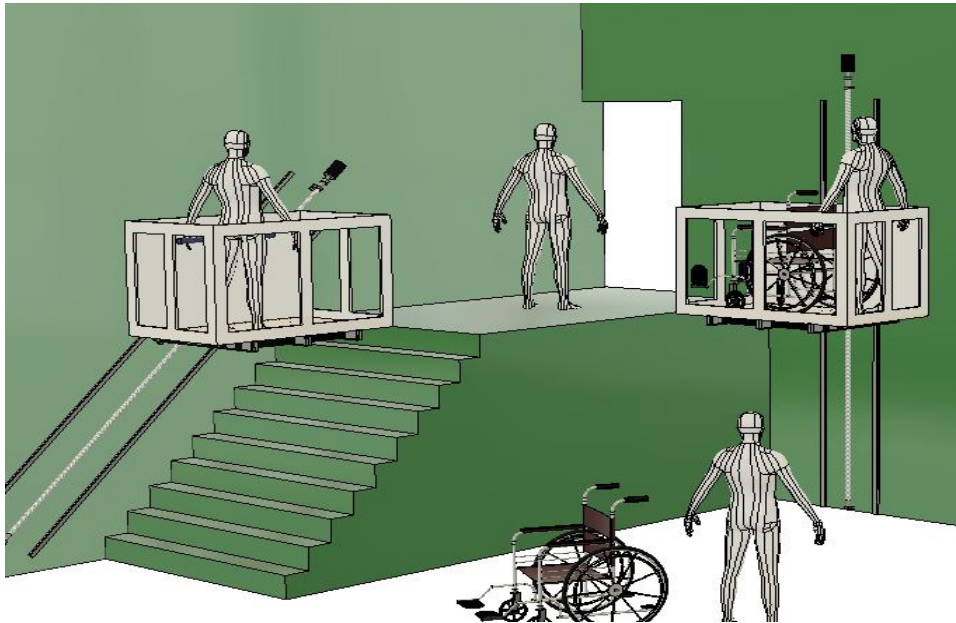
Figura 44 - Configuração para plano inclinado.



Fonte: Autor (2019).

Os modelos de elevação vertical e o modelo de plano inclinado são ilustrados na Figura 45. As diferenças entre os modelos são: o uso do disco espaçador para a guia linear e o ângulo no qual a caixa da porca deve ser fixada.

Figura 45 - Modelos desenvolvidos: elevador tipo plano inclinado e elevador vertical.

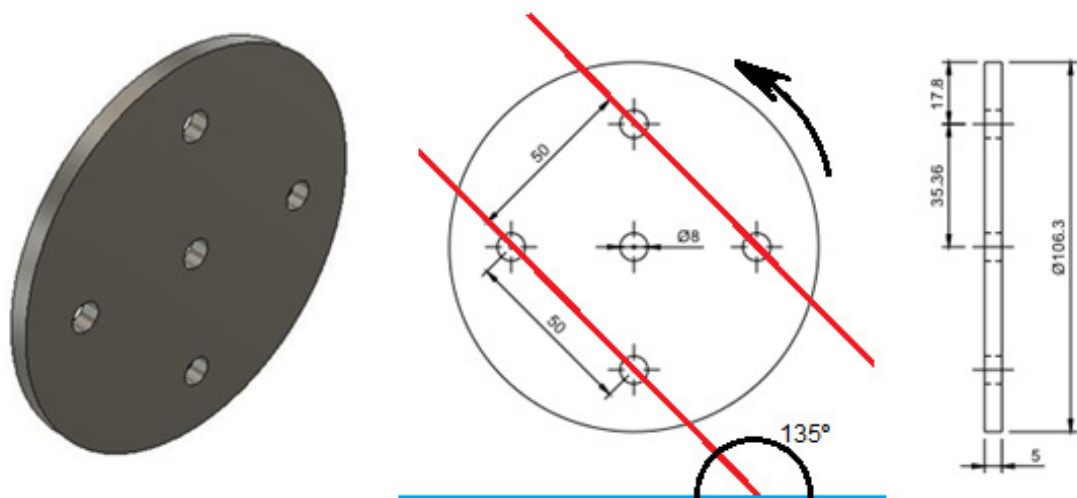


Fonte: Autor (2019).

O disco espaçador tem a função de fixar os patins da guia linear na estrutura conforme o ângulo de inclinação do plano inclinado. Na Figura 46 o disco é ilustrado exemplificando uma montagem com um ângulo de  $135^\circ$  em relação à linha horizontal azul.

O posicionamento da peça é feito após prender o furo central na estrutura com um pino guia e girar até o ângulo necessário para a montagem.

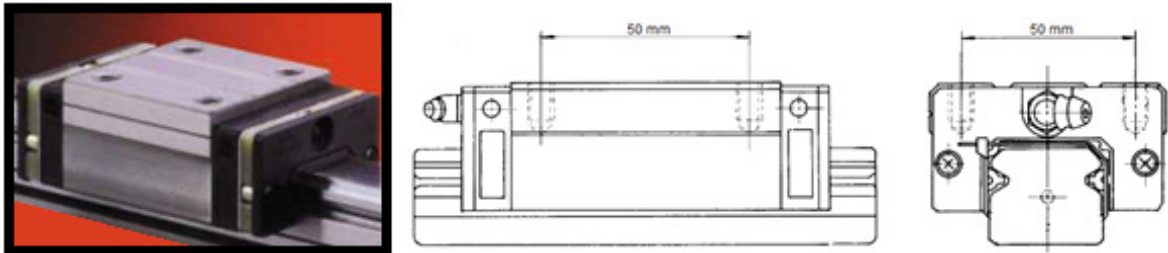
Figura 46 - Disco espaçador posicionado para montagem em inclinação de  $135^\circ$ .



Fonte: Autor (2019).

Os discos têm a furação projetada para o encaixe com os patins utilizando quatro parafusos M8 com espaçamento de 50 mm entre cada furo nas duas direções conforme a Figura 47.

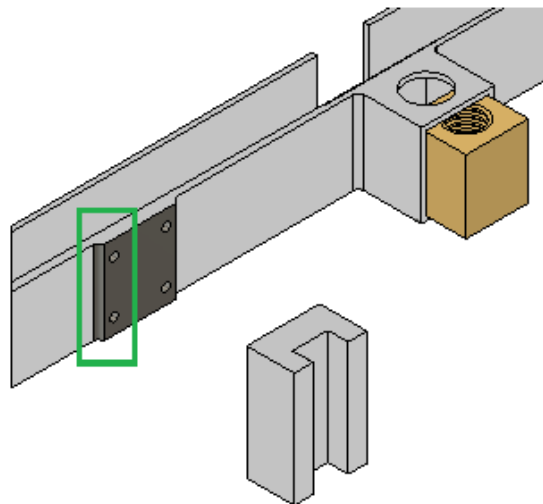
Figura 47 - Cotas da furação dos patins.



Fonte: Adaptado de NSK (2019).

No modelo para elevação vertical o espaçador tem forma retangular e tem a mesma disposição da furação do disco, entretanto as laterais são soldadas diretamente na estrutura conforme o destaque ilustrado na Figura 48.

Figura 48 - Montagem do espaçador retangular na estrutura.



Fonte: Autor (2019).

### 3.11.2 Modelagem da cabina

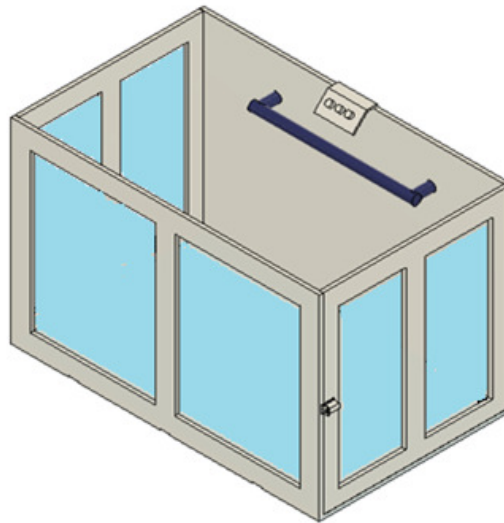
A estrutura da cabine foi produzida com 1000 mm de largura por 1600 mm de comprimento atendendo as especificações das normas ABNT NBR ISO 9386-1(2013) e ABNT NBR ISO 9386-2(2013) que determinam que a largura livre da plataforma e sua

entrada devem ser de no mínimo 800 mm ou no caso de edificações com acesso público no mínimo 900 mm e o comprimento da plataforma deve ser de no mínimo 1400 mm.

Dentro da cabina foi desenvolvido um corrimão conforme os parâmetros determinados no item 9.2.2.6 da norma ABNT NBR ISO 9386-1(2013): na cabina deve ter um corrimão fácil de agarrar, localizado entre 900 mm e 1100 mm acima do nível do piso da plataforma, ser fornecido em pelo menos um lado que não seja de entrada da plataforma.

As faces da cabina que não fazem contato com o sistema motor têm quadros feitos em acrílico para a redução de peso e possibilitar a visibilidade do usuário em movimentação.

Figura 49 - Cabina do elevador.



Fonte: Autor (2019).

### 3.12 ESTUDO NUMÉRICO NA BASE DO ELEVADOR

Os procedimentos de elementos finitos são parte importante da análise e do projeto de engenharia. Os programas de computador para estes estudos são agora amplamente utilizados em praticamente todos os ramos da engenharia para a análise de estruturas, sólidos e fluidos (BATHE, 2006).

O estudo de deflexão é comumente realizado por simulações utilizando o método dos elementos finitos (MEF) ou experimentalmente utilizando extensômetros. O MEF pode ser utilizado para estudar os estados de deformação e de tensão em um corpo sujeito a forças externas. É possível determinar várias análises e modificações em diversos parâmetros utilizando esta ferramenta para a otimização do estudo.

O MEF é uma técnica na qual o objeto estudado é dividido em diversos segmentos chamados de elementos e nós gerando uma malha, a partir disso é obtida uma solução aproximada do fenômeno estudado. Milhares de nós são necessários nestes estudos, assim os computadores são essenciais para resolver essas equações. A exatidão da solução depende do aumento do número de elementos (e nós), entretanto, o tempo computacional e em consequência o custo também aumentam conforme Fish (2000).

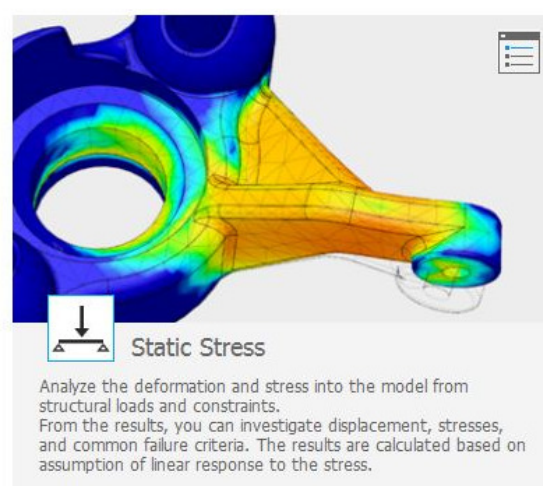
A base do MEF encontra-se em dividir o meio contínuo estudado em elementos discretos ou finitos que podem ser conectados. No entanto enquanto a solução analítica pode gerar soluções exatas, o MEF só consegue chegar a resultados aproximados. Sendo uma ferramenta numérica de aproximação de resultados o MEF tornou-se ideal para resolver problemas de geometria e carregamento complexos ou muito específicos (AVELINO, 2000).

Considerando a base da cabina do elevador como um conjunto de barras engastadas e em balanço, faz necessário a verificação da deflexão da estrutura com o equipamento carregado. As deflexões nas vigas, além das tensões e das deformações devem fazer parte das considerações básicas em suas análises e dimensionamento (GERE, 2010).

Uma viga pode resistir o suficiente para carregar diversos tipos de carregamentos estáticos ou dinâmicos, mas se ocorre à deflexão exagerada na extremidade livre, ela falha no quesito utilidade (GERE, 2010).

Na análise da deflexão máxima da cabina a modelagem do conjunto foi realizada utilizando a ferramenta para simulação estrutural do programa Autodesk Fusion® ilustrado na Figura 50.

Figura 50 - Ferramenta utilizada na simulação da estrutura.

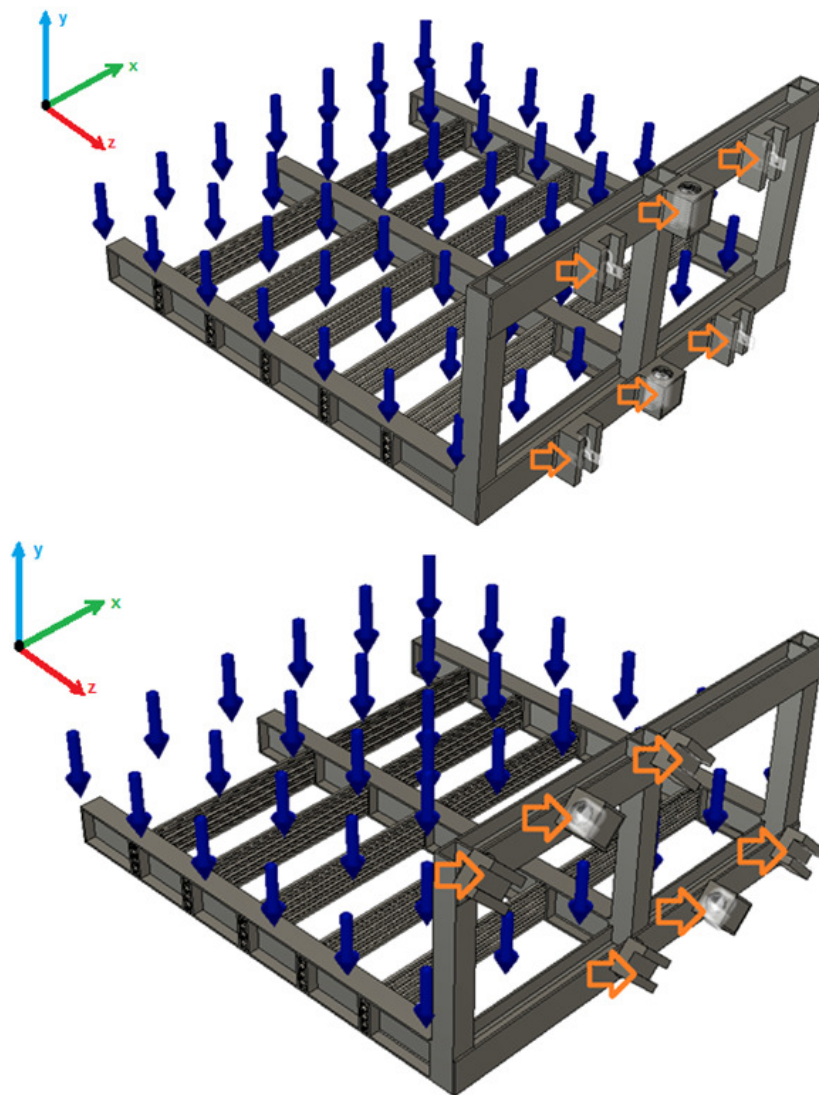


Fonte: Autor (2019).

Para os estudos do coeficiente de segurança, deflexão e tensões máximas na estrutura da base foi considerado o carregamento distribuído na base de 4000 N e as restrições marcadas por setas conforme Figura 51 para as configurações de elevação vertical e plano inclinado.

As restrições foram aplicadas nos patins da guia linear nas direções X e Z considerando que eles podem mover se livremente na direção Y. Nas duas porcas são aplicadas as restrições nas três direções nas duas faces dos dentes.

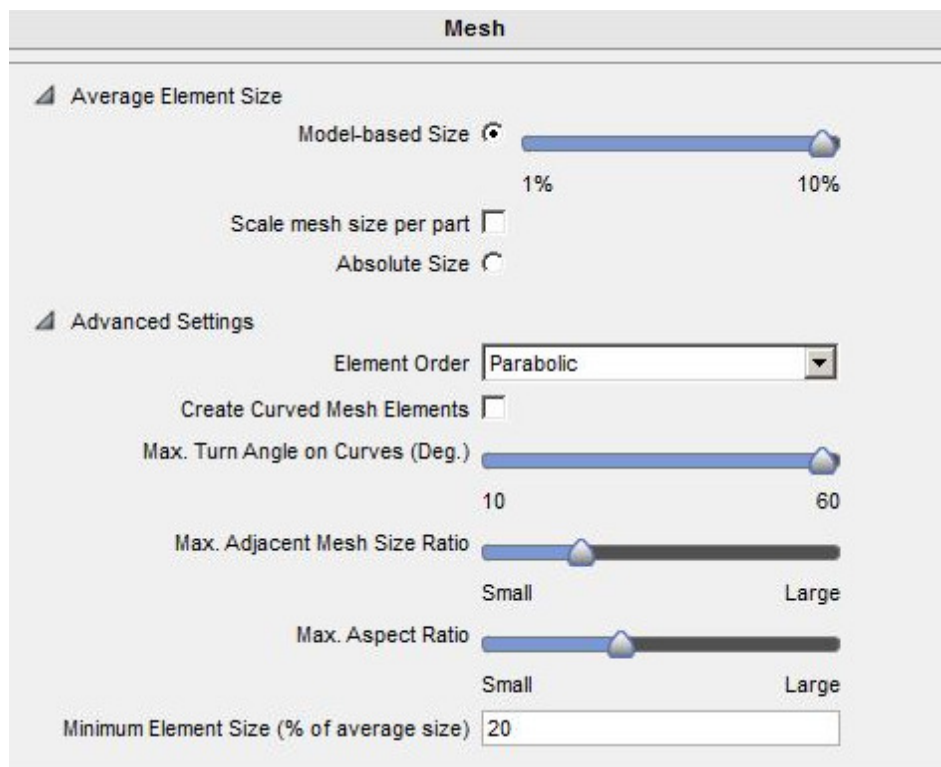
Figura 51 - Carregamento nas estruturas de elevação e regiões das restrições em destaque.



Fonte: Autor (2019).

A técnica na qual a estrutura e componentes são estudados é a divisão dos modelos tridimensionais em diversos segmentos chamados de elementos e nós gerando uma malha. As malhas foram geradas automaticamente pelo software seguindo os parâmetros ilustrados na Figura 52.

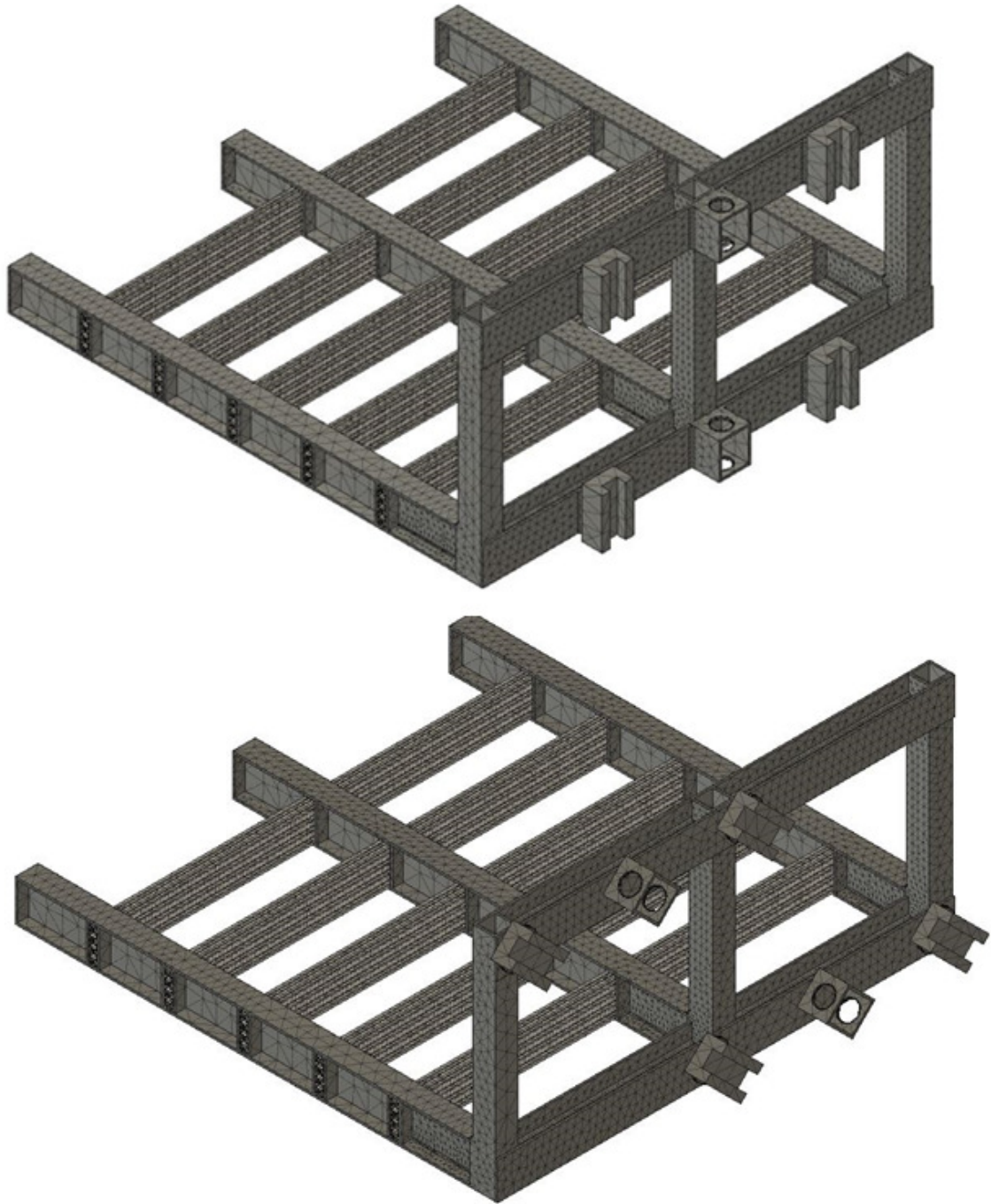
Figura 52 - Parâmetros de malha aplicados nas estruturas.



Fonte: Autor (2019).

Na Figura 53 são ilustrados os resultados da divisão automática de elementos e nós nas duas configurações do elevador.

Figura 53 - Resultados da divisão automática de elementos e nós.



Fonte: Autor (2019).

A biblioteca de materiais do Autodesk Fusion® é ampla e disponibiliza todos os materiais empregados para cada componente ilustrados na Figura 54: o aço 1053 do fuso e dos perfis da estrutura; o latão das porcas; e o alumínio 6061 dos perfis Openbuilds.

Figura 54 - Materiais utilizados na estrutura disponíveis no programa.

Material: Aluminum 6061		Material: Brass	
Density	2.7E-06 kg / mm <sup>3</sup>	Density	8.49E-06 kg / mm <sup>3</sup>
Young's Modulus	68.9 GPa	Young's Modulus	97000 MPa
Poisson's Ratio	0.33	Poisson's Ratio	0.31
Yield Strength	275 MPa	Yield Strength	124 MPa
Ultimate Tensile Strength	310 MPa	Ultimate Tensile Strength	338 MPa
Thermal Conductivity	0.167 W / (mm C)	Thermal Conductivity	0.115 W / (mm C)
Thermal Expansion Coefficient	2.36E-05 / C	Thermal Expansion Coefficient	2.05E-05 / C
Specific Heat	897 J / (kg C)	Specific Heat	380 J / (kg C)

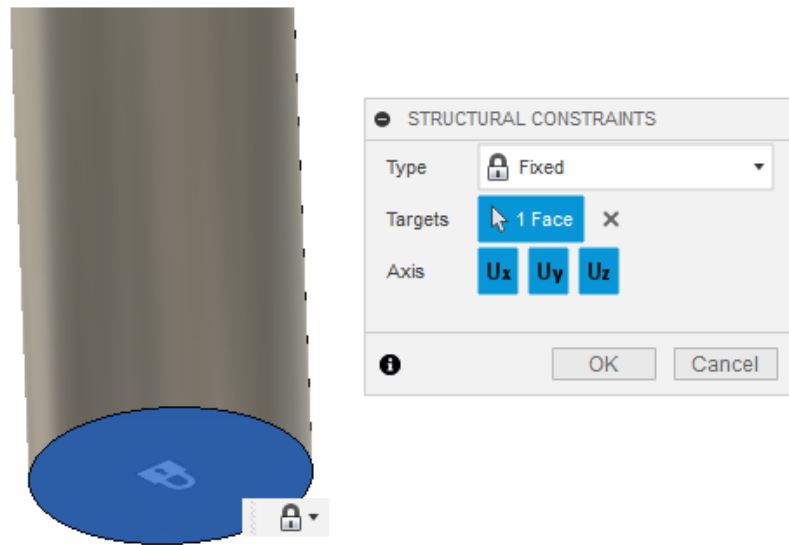
Material: Steel AISI 1053	
Density	7.85E-06 kg / mm <sup>3</sup>
Young's Modulus	199947 MPa
Poisson's Ratio	0.3
Yield Strength	206.8 MPa
Ultimate Tensile Strength	448.2 MPa
Thermal Conductivity	0.0519 W / (mm C)
Thermal Expansion Coefficient	1.08E-05 / C
Specific Heat	480 J / (kg C)

Fonte: Autor (2019).

Para os estudos de coeficiente de segurança e tensões máximas no fuso e porca foram considerados o carregamento compressivo de 4000 N. Este carregamento de 4000 N equivale ao peso da cabina mais a carga nominal do elevador que é definida conforme o item 4,8 da norma ABNT NBR ISO 9386-1 (2013) que não poderá ser inferior a 250 kg (2451,5 N) ou conforme ABNT NBR ISO 9386-2 (2013) uma carga mínima de 225 kg (2207,25 N).

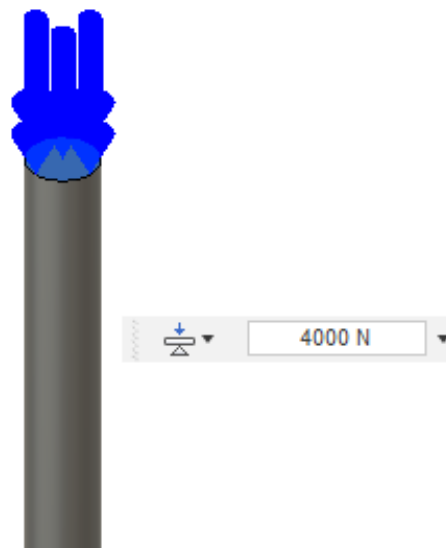
A restrição do fuso foi fixada na base inferior onde seria posicionado o rolamento axial conforme Figura 55. O carregamento atua na face superior do fuso conforme ilustrado na Figura 56.

Figura 55 - Restrições aplicadas na base do fuso.



Fonte: Autor (2019).

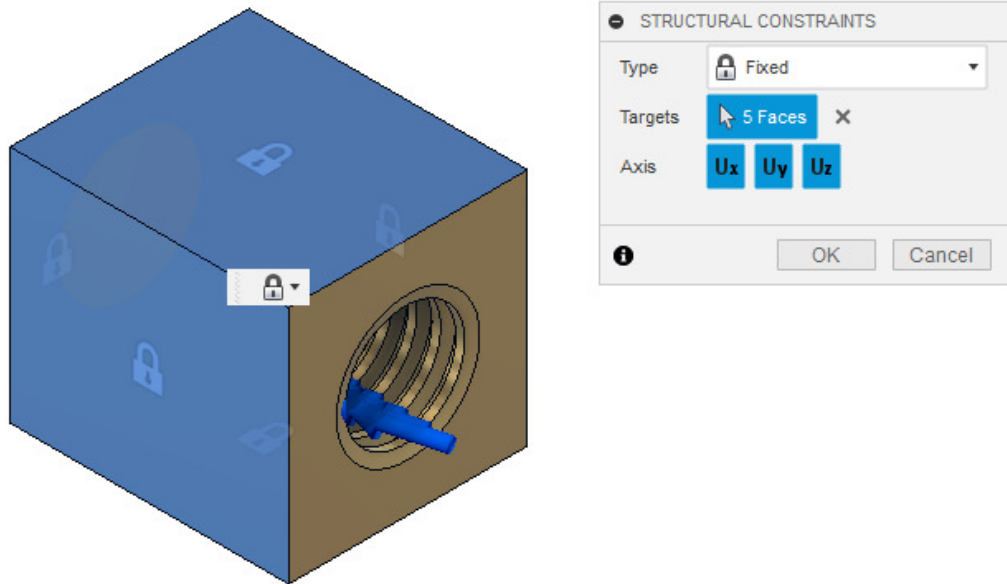
Figura 56 - Carregamento aplicado ao fuso.



Fonte: Autor (2019).

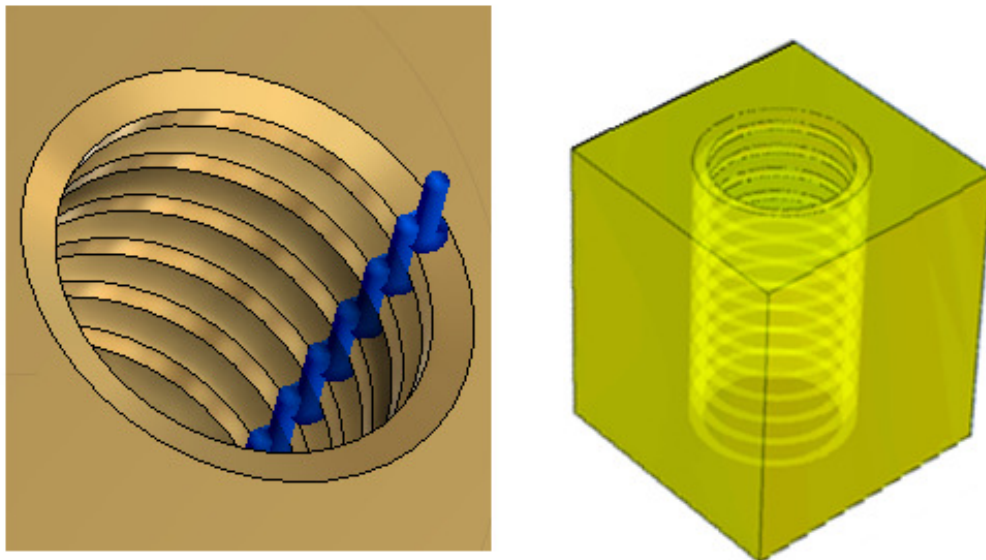
Na porca são aplicadas as restrições nas faces que tocam a caixa fixada na Viga perfil "I" conforme a Figura 57. O carregamento atua sobre as faces dos dentes da porca de modo compressivo conforme a Figura 58.

Figura 57 - Restrições aplicadas nas faces da porca.



Fonte: Autor (2019).

Figura 58 - Carregamento aplicado nas faces dos dentes da porca.



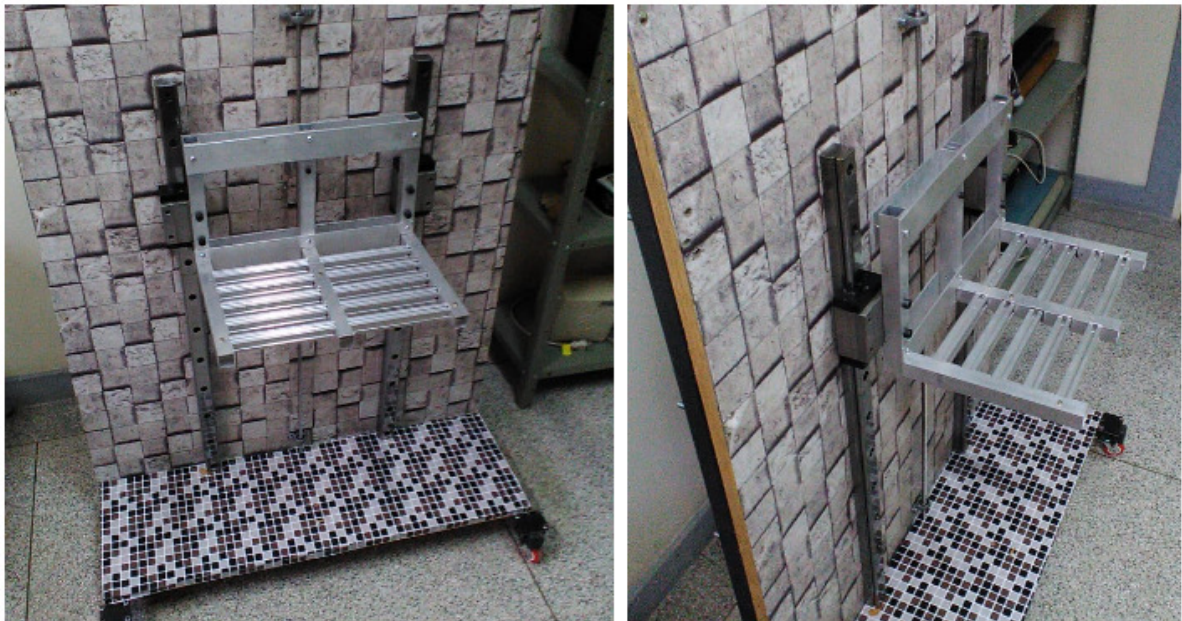
Fonte: Autor (2019).

### 3.13 ESTUDO NO PROTÓTIPO DE ALUMÍNIO

#### 3.13.1 Estudo experimental

Para fins de análise e validação da estrutura proposta foi desenvolvido um protótipo em alumínio em escala 1:4 do elevador na configuração de elevação vertical ilustrado na Figura 59.

Figura 59 - Montagem do protótipo real da estrutura em alumínio.

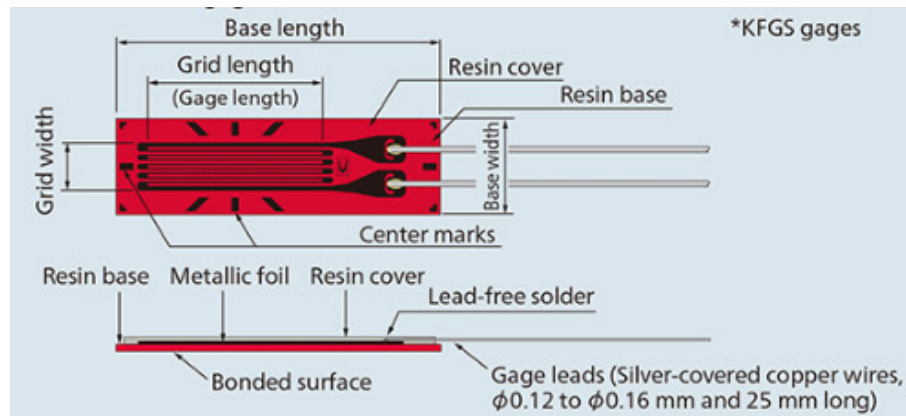


Fonte: Autor (2019).

Uma variável importante a ser considerada nos estudos de simulação e experimental do protótipo é a deformação, que é expressa pela relação entre a taxa de alongamento e o comprimento inicial após aplicação de força em um material (GERE, 2010; BEER, 1999).

Para medição de deformação comumente são utilizados sensores elétricos chamados extensômetros ilustrados na Figura 60. Esses sensores funcionam com o princípio no qual a variação de seu comprimento gera uma variação proporcional em sua resistência elétrica (PEREIRA, 2004).

Figura 60 - Elementos de um extensômetro.



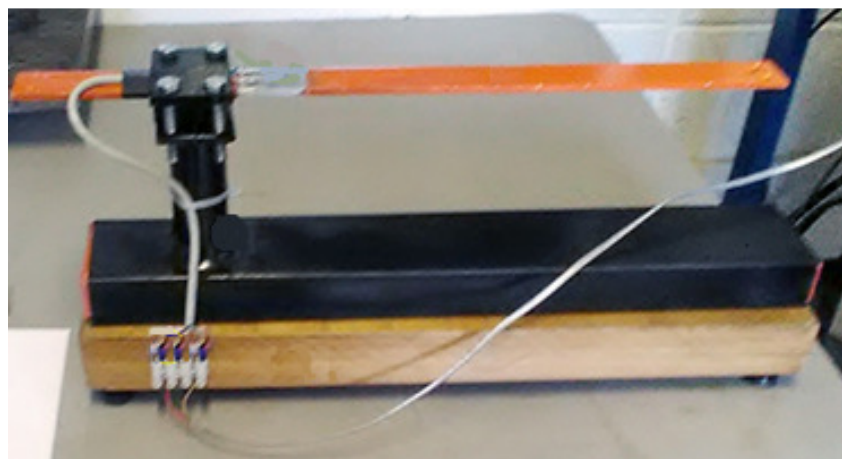
Fonte: Adaptado de kyowa (2019).

O equipamento transdutor é um dispositivo capaz de transformar um tipo de sinal (estímulo) em outro, diferente (resposta) segundo Pereira(2004).Esses sinais geram deformações mecânicas que dependem da geometria e características do material onde os extensômetros foram fixados (GERE 2010; BEER, 1999).

O transdutor desenvolvido neste estudo conforme a Figura 61utilizou uma barra de alumínio de secção transversal retangular de 32 mm x 4 mm fixada em um suporte configurando uma viga engastada sujeita a flexão, instrumentada com quatro sensores.

Os extensômetros são fixados a 20 mm do engastamento sendo um par submetido à tração e outro par submetido à compressão, aumentando a sensibilidade do circuito utilizando todos os sensores de forma ativa, na medição de deformação na superfície na direção longitudinal da barra, devido ao carregamento de flexão. Foram utilizados extensômetros KGF-3-120-C1-11 com gage factor de 2,09.

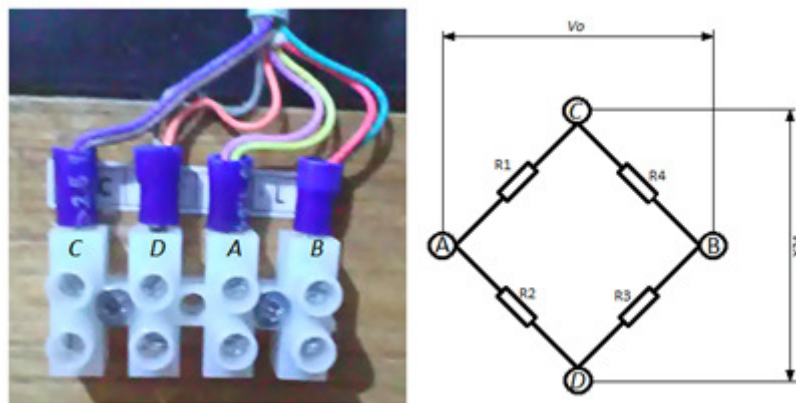
Figura 61 - Transdutor.



Fonte: Autor (2019).

Os extensômetros foram ligados em configuração de ponte completa ilustrados na Figura 62 para a medição da deformação e tensão normal, na direção axial da barra. Ainda conforme a Figura 62 foram identificados os pontos de excitação ( $V_{ex}$ ) e alimentação ( $V_0$ ) do circuito para a fixação dos cabos que serão conectados aos computadores.

Figura 62 - Identificação dos terminais do transdutor.



Fonte: Autor (2019).

A configuração de ponte completa amplifica o sinal de saída gerado pela deformação da barra e simultaneamente elimina o efeito indesejado devido à variação de temperatura. As propriedades da barra de alumínio estão listadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Propriedades da barra de alumínio 6061

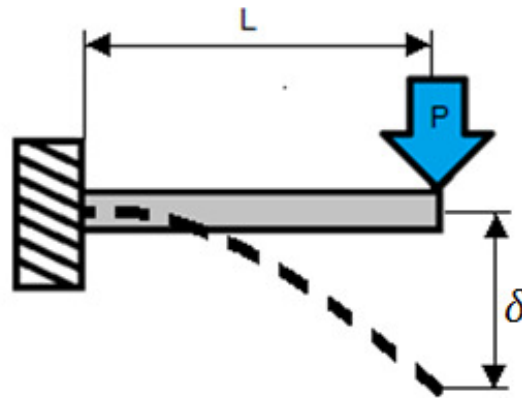
Propriedades	Unidade	Valores
E	GPa	68,9
$\nu$	-	0,33
$S_y$	MPa	275
$S_{ut}$	MPa	310
E	GPa	68,9
c	m	0,002
I	$m^4$	$2,027 \times 10^{-10}$

Fonte: Autor (2019).

A teoria de mecânica de materiais conforme Gere (2010) e Beer (1999) definem que a extremidade livre de uma viga engastada sob carregamento é deslocada conforme a equação (8) e esquematizado na Figura 63:

$$\delta = \frac{FL^3}{3EI} \quad (8)$$

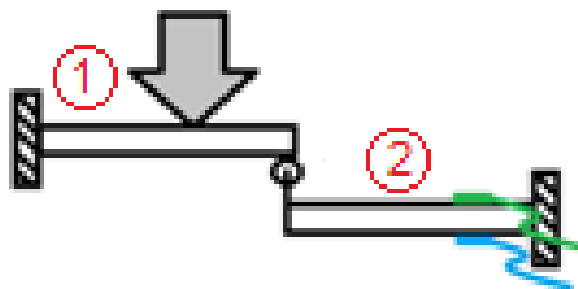
Figura 63 - Deslocamento da extremidade livre da viga engastada sob carregamento.



Fonte: Autor (2019).

O estudo com o transdutor é fundamentado considerando que a inércia da base da plataforma (1) é muito maior que a inércia da barra utilizada do transdutor (2), então a deflexão nas extremidades em contato serão iguais, conforme ilustrado na Figura 64. A partir disso então não seria necessário instrumentar a plataforma do elevador com vários sensores, mas apenas um equipamento externo ao sistema que pode ser utilizado diversas vezes. Considerando que após a colagem dos extensômetros em uma superfície eles não podem ser retirados (PEREIRA, 2004).

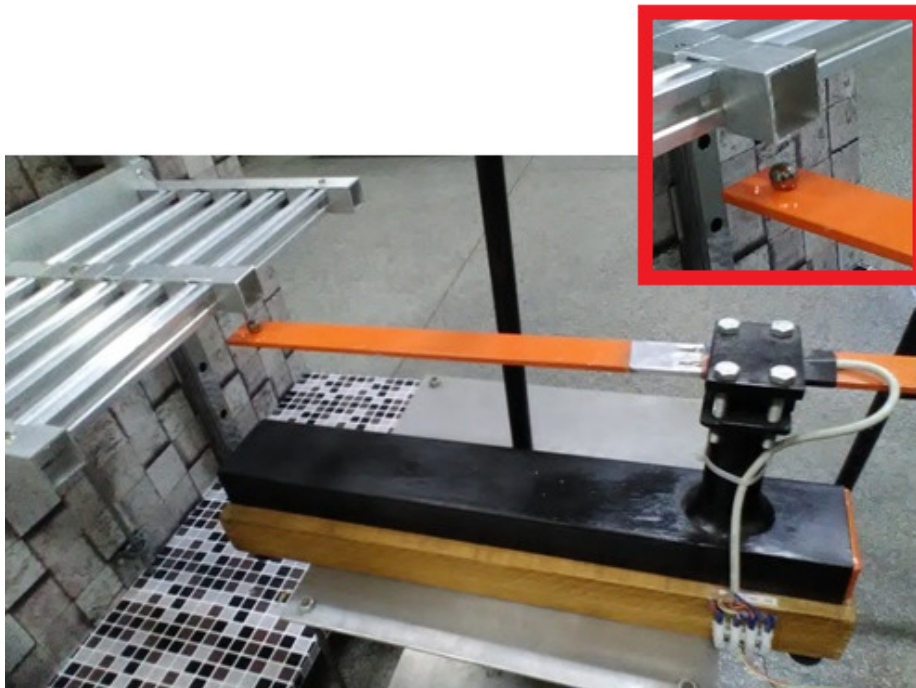
Figura 64 - Esquema simplificado da interação transdutor-plataforma



Fonte: Autor (2019).

No contato entre o transdutor e o protótipo foi utilizada uma esfera de 8 mm de diâmetro de metal duro conforme a Figura 65. A esfera teoricamente não sofreria deformação significativa sob carregamento e atuaria gerando apenas uma região de contato mínimo entre os equipamentos.

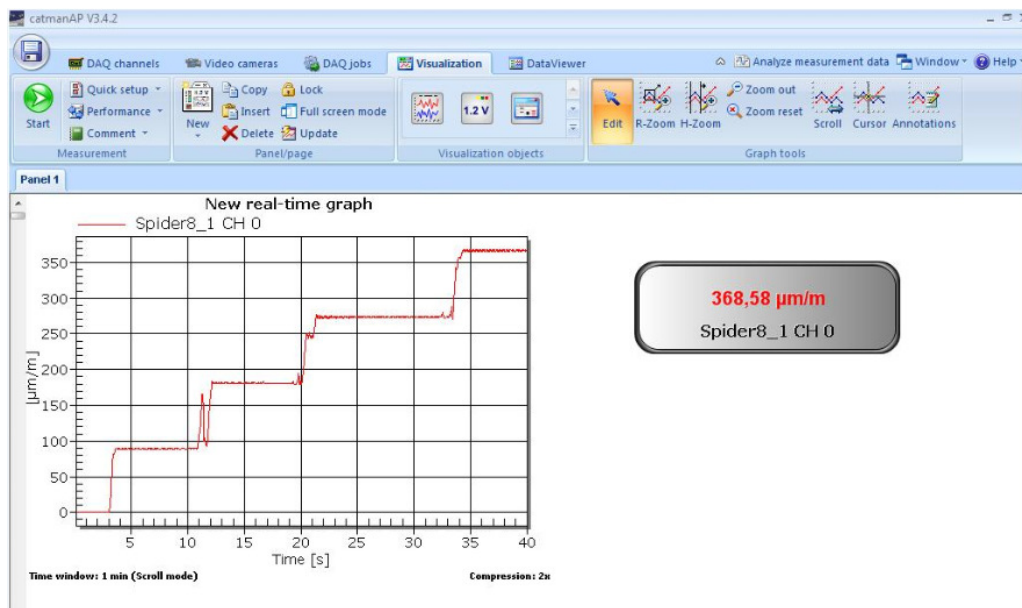
Figura 65 - Contato entre o transdutor e o protótipo com a esfera em destaque.



Fonte: Autor (2019).

Os sinais recebidos dos extensômetros são coletados pelo sistema de condicionamento de sinais do modelo HBM Spider8® e, em seguida analisados no software Catman®. O spider8 é um multicanal digital que é conectado ao computador por uma porta USB. O software Catman permite controlar e visualizar os dados medidos, relacionando a carga aplicada no transdutor com o sinal elétrico proveniente da ponte conforme Figura 66.

Figura 66 - Gráfico gerado pelo programa Catman® durante aquisição de dados.

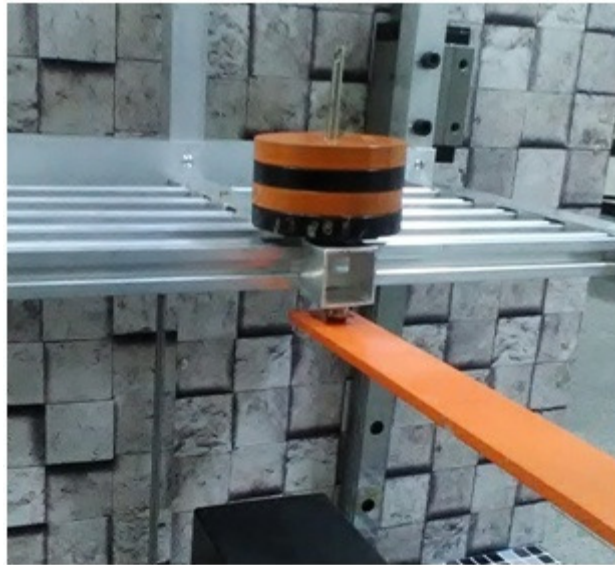


Fonte: Autor (2019).

O procedimento realizado no software Catman® iniciou se com a identificação dos canais vinculados aos *strain gages* e alteração dos nomes destes sensores. No segundo passo definiu se os valores da resistência dos extensômetros igual a  $120 \Omega$ , a configuração como ponte completa e o numero de cabos utilizados. No quesito *sensor adaptation* é alterado o *gauge factor* para 2,09. Na seção *computation channels create* na área *strain gauge analysis* o modulo de elasticidade e o coeficiente de poisson são definidos conforme a Tabela 10 e foi selecionada a opção *create computation channels for strain and stress* na direção X.

Os procedimentos de medições experimentais no transdutor foram realizadas acrescentando se os cilindros pausadamente e aguardando a estabilização do sistema para a obtenção do valor da deformação. Este procedimento foi realizado cinco vezes e calculou se a media dos dados obtidos. A plataforma foi carregada com quatro cilindros de aço conforme a Figura 67. Os valores dos carregamentos são listados na Tabela 11.

Figura 67 - Plataforma carregada com cilindros de aço.



Fonte: Autor (2019).

Tabela 11 - Carregamentos utilizados para a aquisição de dados no protótipo real.

Valores	Unidade
2,741	N
5,517	N
8,312	N
11,124	N

Fonte: Autor (2019).

### 3.13.2 Estudo numérico

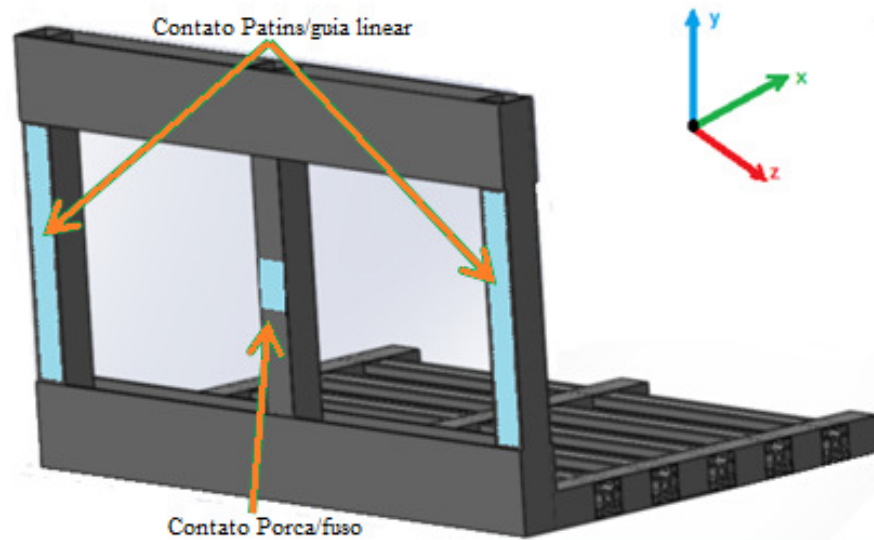
O protótipo em escala do elevador na configuração de elevação vertical foi desenvolvido e seu comportamento sob carregamento estudado com a ferramenta de análise estrutural no programa Autodesk Fusion®.

A escala utilizada nas dimensões da estrutura do elevador foi de 1:4. O material utilizado foi o alumínio 6061 disponível na biblioteca do programa com as características descritas na Figura 54, este material é o mesmo que o utilizado no modelo real.

Na Figura 68 são ilustradas as regiões onde foram fixadas as restrições estruturais do protótipo devido ao contato dos patins com as guias e do contato da porca com o fuso. Neste estudo para verificação de deslocamento, tensões e deformação atuantes as restrições no contato porca/fuso foram aplicadas nas três direções X, Y, e Z. Considerando que as

guias lineares atuam como trilhos e existe liberdade no movimento vertical as restrições atuantes no contato com os patins ocorrem nas direções X e Z.

Figura 68 - Regiões de aplicação das restrições no protótipo.

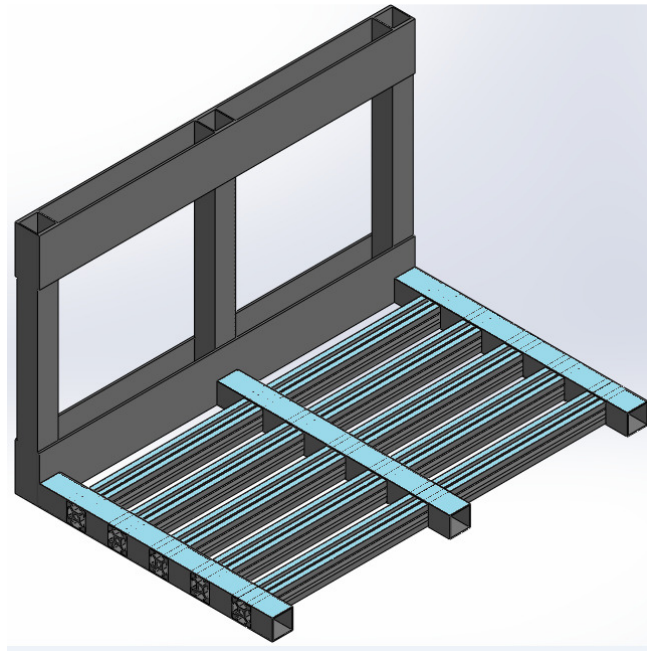


Fonte: Autor (2019).

Os carregamentos da simulação foram baseados nos quatro cilindros de aço utilizados no estudo experimental e ilustrados na Figura 67. Os valores dos carregamentos são listados na Tabela 11. A distribuição da carga foi realizada conforme ilustra a Figura 69.

As malhas foram geradas automaticamente pelo software seguindo os parâmetros ilustrados na Figura 52. Os resultados desta simulação foram comparados com o estudo experimental.

Figura 69 - Regiões de aplicação do carregamento no protótipo.



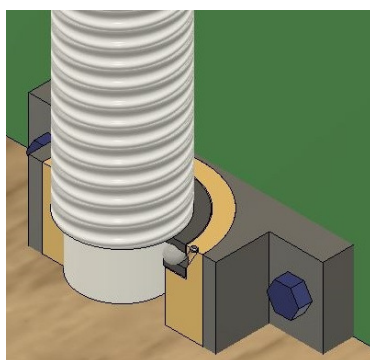
Fonte: Autor (2019).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 RESULTADOS OBTIDOS NOS ESTUDOS NUMÉRICOS E EXPERIMENTAIS

Durante a aplicação de cargas e restrições no fuso, o programa Autodesk fusion não exibiu (renderizou) os detalhes dos filetes de rosca do fuso mesmo ela existindo conforme a Figura 70 retirada da montagem do sistema.

Figura 70 - Fuso com detalhes dos filetes de rosca.



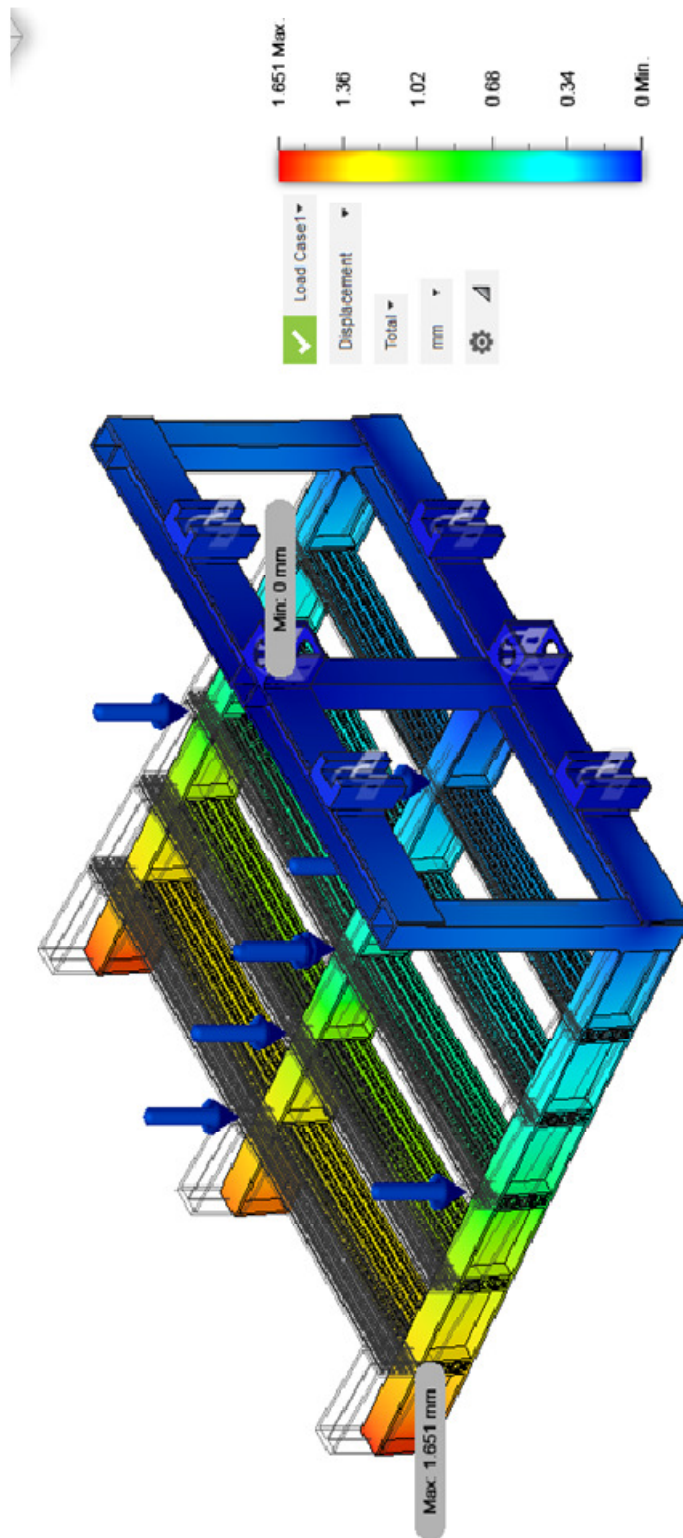
Fonte: Autor (2019).

A deflexão máxima da plataforma carregada resultou em 1,65 mm ilustrado na Figura 71 e um movimento rotacional de  $0,05^\circ$  na extremidade em balanço da plataforma em relação ao lado submetido a restrições. Este resultado confirma que o uso de perfis de alumínio na base da plataforma realmente ajudou com aumento do momento de inércia da estrutura.

Outro fator positivo obtido sobre a estrutura desenvolvida para o elevador foram os coeficientes de segurança alcançados demonstrando que as tensões as quais a estrutura foi submetida são inferiores as necessárias para o escoamento do material, fazendo com que esse equipamento seja seguro na faixa de carregamento em que foi projetado. Conforme as normas ABNT NBR ISO 9386-1(2013) e ABNT NBR ISO 9386-2(2013) os fatores de segurança da estrutura o valor mínimo esperado é de 1,6 e o obtido foi 3,84 conforme ilustrado na Figura 71.

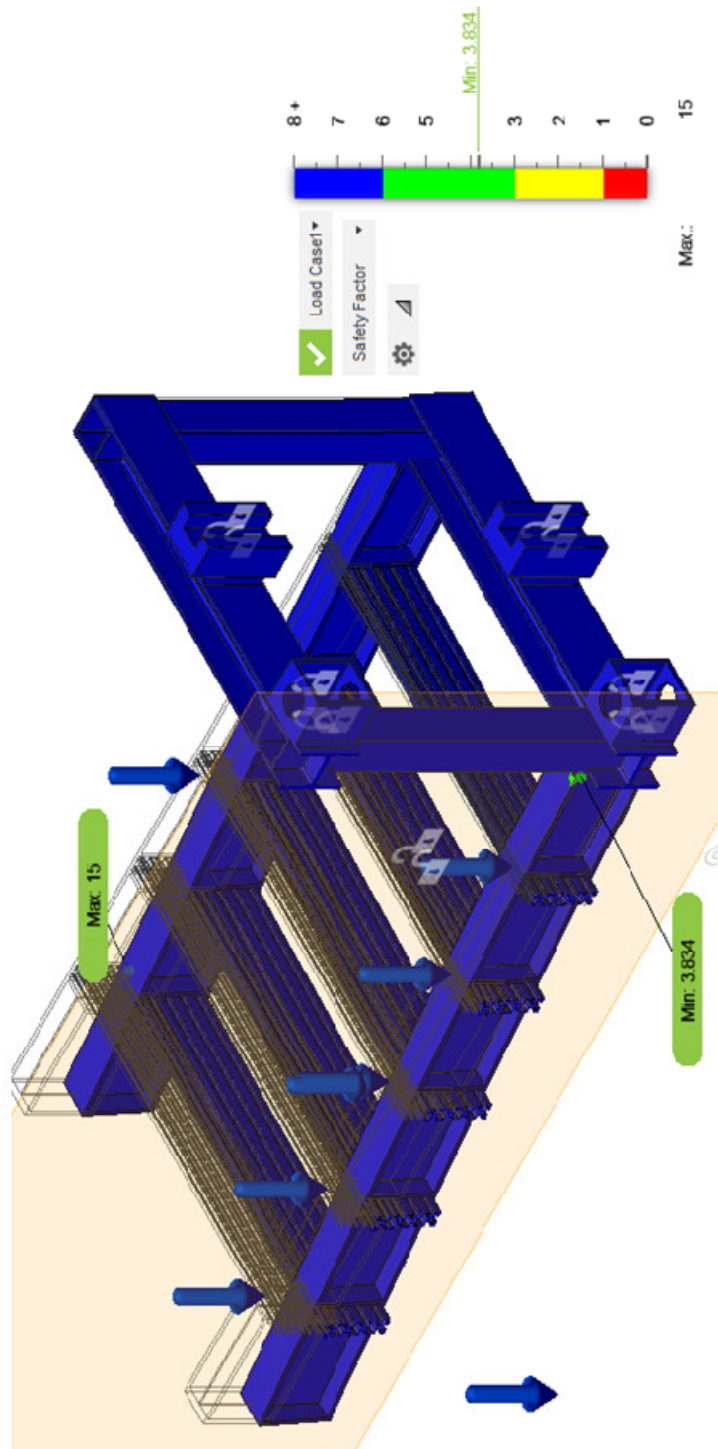
Na estrutura o ponto submetido à maior tensão conforme ilustrado na Figura 72 é a região de solda entre as vigas transversal central e o perfil viga "I" inferior. Esta região atua como engastamento da viga central e também é o ponto onde ocorre a região com maior deformação como ilustrado na Figura 73. Para redução destes resultados seria proposto aumentar o raio de contato entre os elementos estruturais citados e/ou aumentar o número de vigas transversais utilizadas distribuindo o carregamento.

Figura 71 - Deslocamento na base do elevador, estrutura em corte.



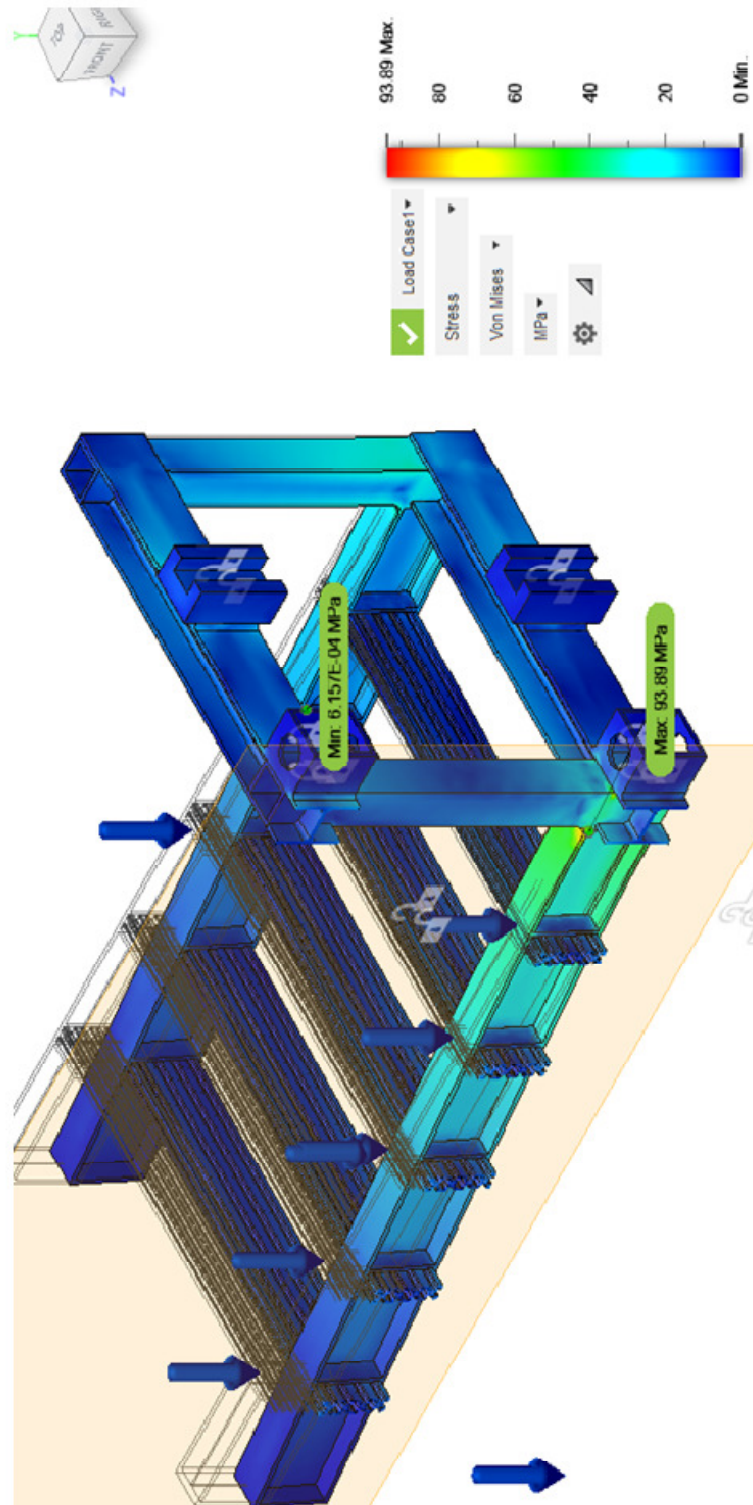
Fonte: Autor (2019).

Figura 72 - Coeficiente de segurança na base do elevador, estrutura em corte.



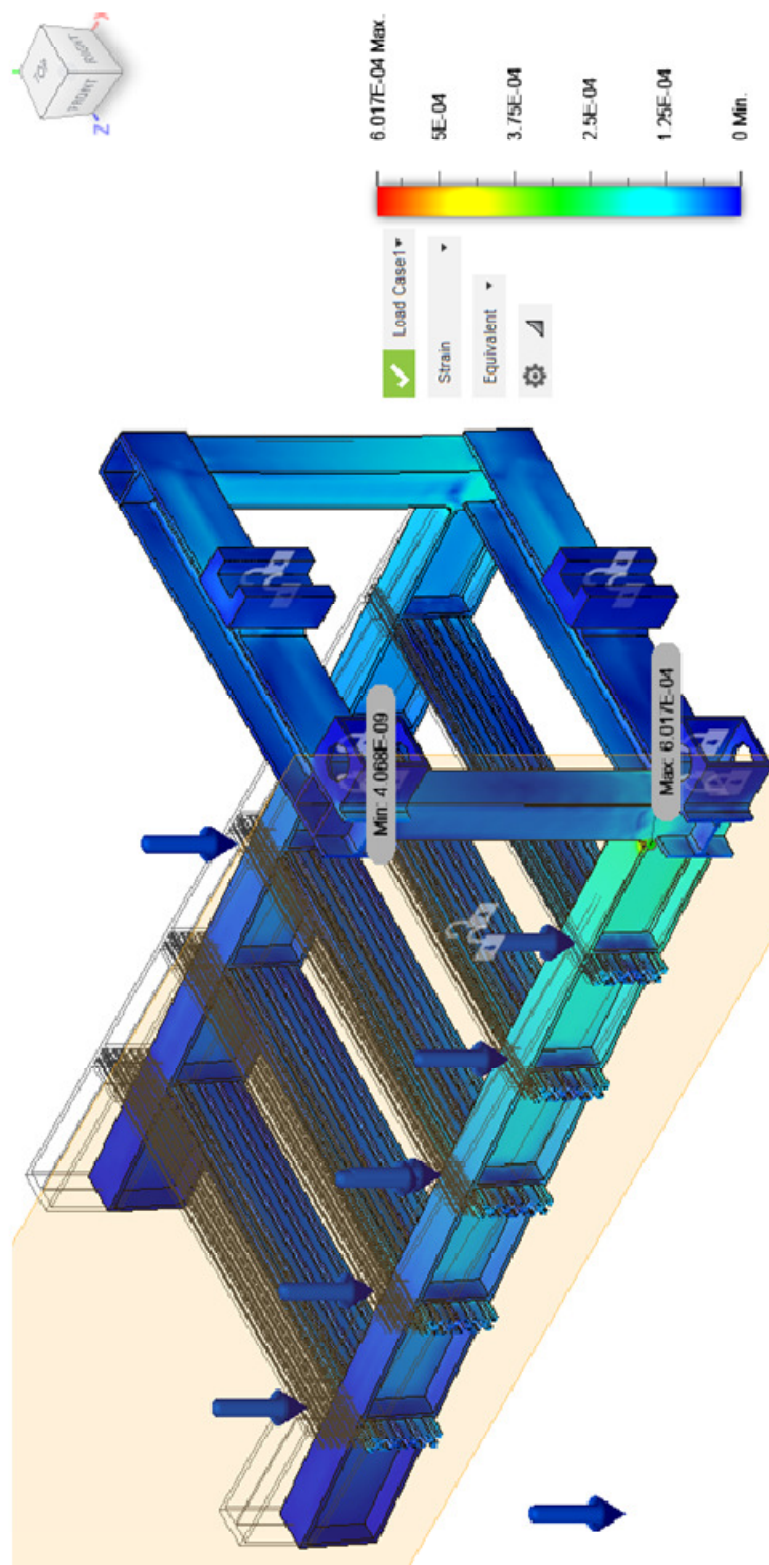
Fonte: Autor (2019).

Figura 73 - Tensões atuantes na base do elevador, estrutura em corte.



Fonte: Autor (2019).

Figura 74 - Deformações na base do elevador, estrutura em corte.



Fonte: Autor (2019).

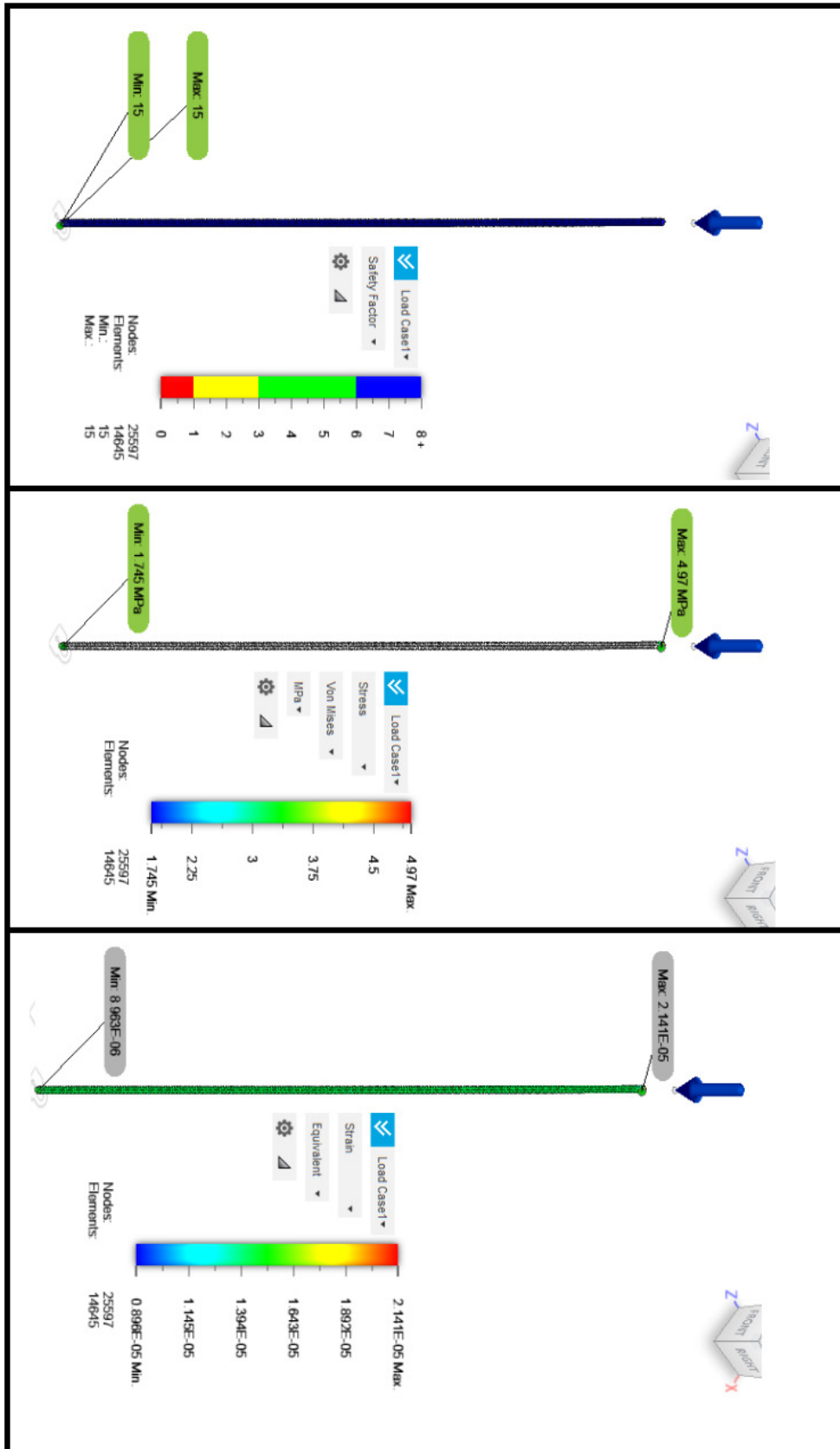
Os resultados obtidos das simulações nos elementos de transmissão são apresentados nas Figuras 75 para o fuso e Figura 76 para a porca. O fuso e a porca apresentaram altos coeficientes de segurança igual a 15 e 14 respectivamente, comparando com o mínimo valor recomendado nas normas ABNT NBR ISO 9386-1(2013) e ABNT NBR ISO 9386-2(2013) igual a 6. Com esta informação verifica se que não seria necessário o uso de duas porcas no sistema de transmissão do elevador, pois a tensão máxima atuante na porca é igual a 8,579 MPa muito inferior ao limite de escoamento igual a 124 MPa.

O máximo valor obtido de deformação devido ao carregamento compressivo do fuso é igual a  $2,141 \times 10^{-5}$  m/m, isto comprova a informação que o catalogo fornece que não ocorre risco de flambagem se a carga foi inferior a 4316,4 N e a rotação for menor que 270 rpm.

A tensão máxima obtida no fuso é igual a 4,97 MPa atuando na extremidade superior do fuso. Esse resultado é 41 vezes menor que o limite de escoamento do material de 206.8 MPa, isto comprova que o fuso é superdimensionado para este equipamento.

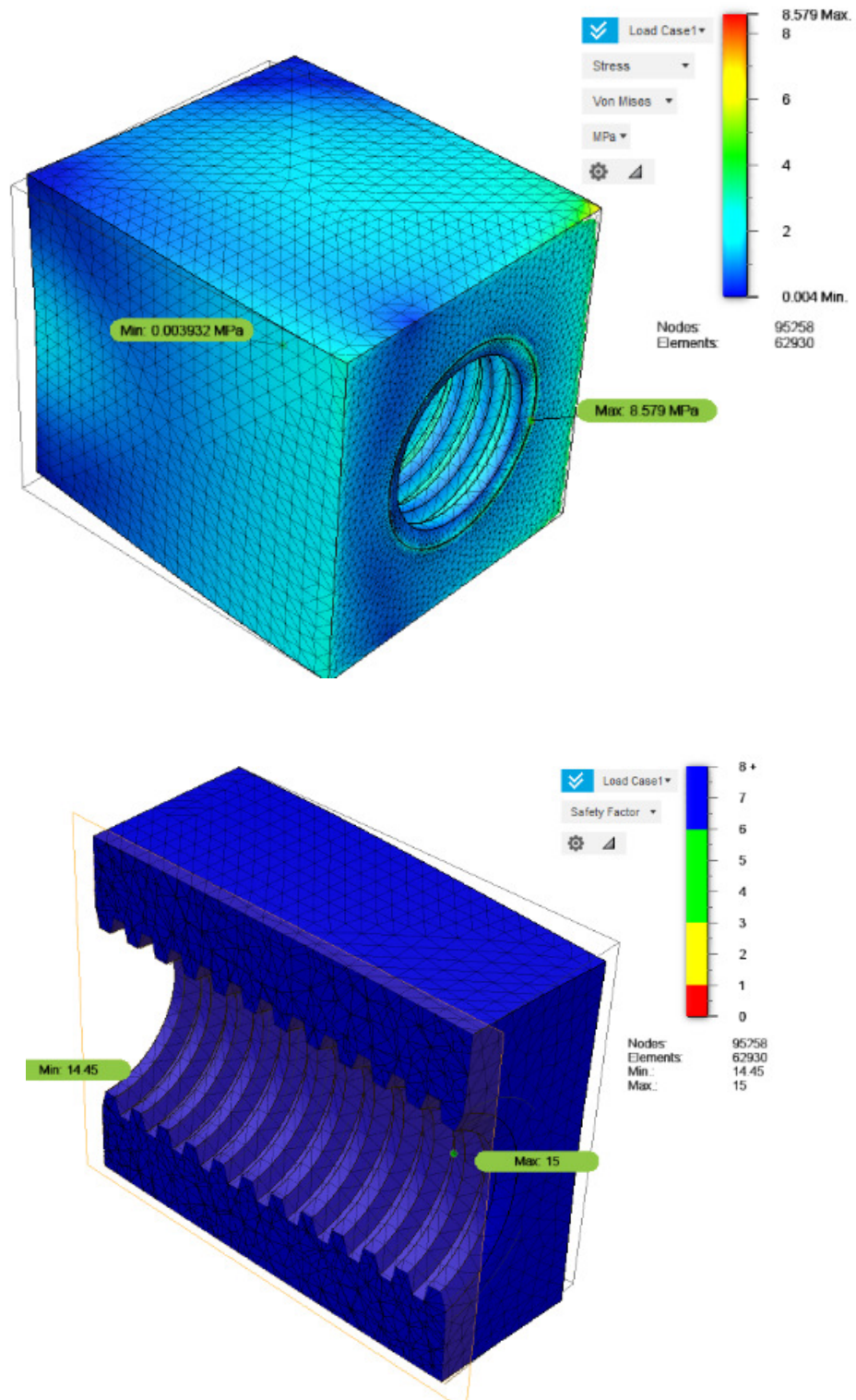
Os valores obtidos nos estudos numérico do protótipo de alumínio são listados na Tabela 12 e ilustrados na Figura 77. O resultado experimental é listado na Tabela 13. A comparação entre os estudos experimental e numérico com o transdutor demonstra que a proposta apresentada de não instrumentar a plataforma do elevador com vários sensores, mas utilizar um equipamento externo de medição do sistema é viável apresentando um erro máximo de 14,15% conforme a Tabela 14.

Figura 75 - Coeficiente de segurança, tensão, e deformação no fuso.



Fonte: Autor (2019).

Figura 76 - Coeficiente de segurança e tensão na porca.



Fonte: Autor (2019).

Tabela 12 - Valores obtidos na simulação do protótipo de alumínio.

Carregamento	Deslocamento	Tensão	Deformação
2,741 N	1,116 $\mu\text{m}$	0,008 MPa	0,127 $\mu\epsilon$
5,517 N	22,473 $\mu\text{m}$	0,175 MPa	2,552 $\mu\epsilon$
8,312 N	33,857 $\mu\text{m}$	0,264 MPa	3,845 $\mu\epsilon$
11,124 N	45,321 $\mu\text{m}$	0,354 MPa	5,146 $\mu\epsilon$

Fonte: Autor (2019).

Tabela 13 - Valores obtidos na medição experimental do protótipo de alumínio.

Carregamento	Deslocamento	Tensão	Deformação
2,741 N	1,358 $\mu\text{m}$	0,010 MPa	0,147 $\mu\epsilon$
5,517 N	25,351 $\mu\text{m}$	0,198 MPa	2,879 $\mu\epsilon$
8,312 N	38,457 $\mu\text{m}$	0,297 MPa	4,316 $\mu\epsilon$
11,124 N	50,732 $\mu\text{m}$	0,396 MPa	5,758 $\mu\epsilon$

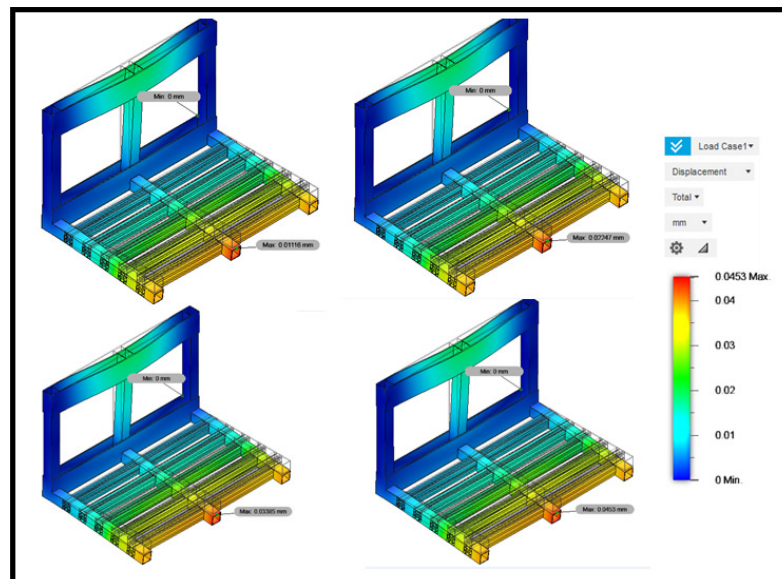
Fonte: Autor (2019).

Tabela 14 - Erro percentual entre os métodos de simulação e experimental.

Carregamento	Erro percentual
2,741 N	14,15%
5,517 N	11,36%
8,312 N	10,92%
11,124 N	10,65%

Fonte: Autor (2019).

Figura 77 - Resultados do estudo numérico no protótipo de alumínio.

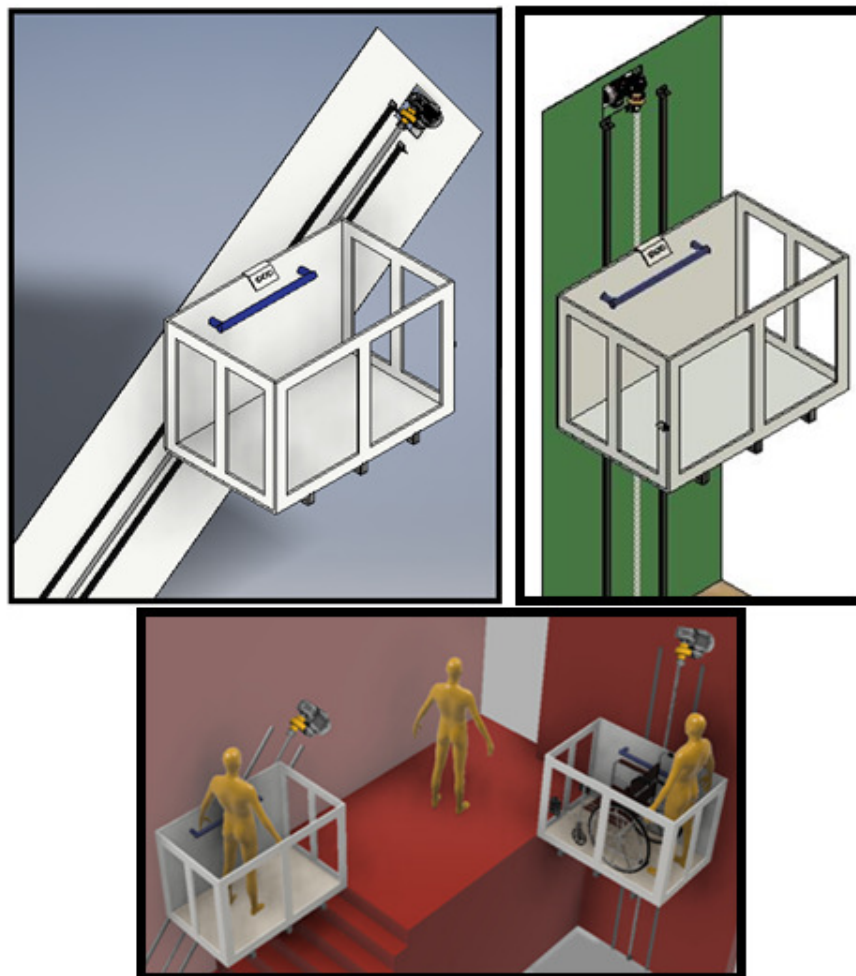


Fonte: Autor (2019).

#### 4.2 RESULTADOS OBTIDOS COM O DESENVOLVIMENTO DO ELEVADOR, COM A PLATAFORMA ARDUINO, E MONTAGEM DO PROTÓTIPO

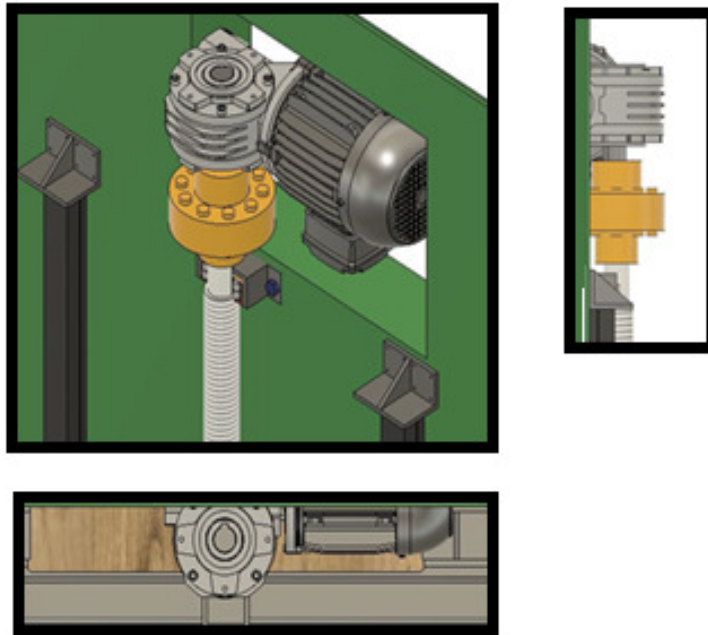
Neste estudo foi desenvolvido um equipamento que pode ser utilizados em duas configurações distintas conforme a Figura 78. A construção do elevador ou plataforma tipo plano inclinado não necessita de casa de máquinas e sua instalação é viável em residências e outros imóveis com menor área construída. Para o alojamento do motor redutor na parede é necessário a construção de um rebaixo na parede com comprimento de 40 cm, largura de 30 cm e profundidade de 9 cm conforme ilustrado na Figura 79. Os desenhos das peças desenvolvidas são apresentados no Apêndice D.

Figura 78 - Plataforma de plano inclinado e elevador.



Fonte: Autor (2019).

Figura 79 - Montagem do sistema motor nas vistas isométrica, lateral e superior.



Fonte: Autor (2019).

O uso dos módulos comandados por voz e por controle remoto demonstrou que é possível o uso de interfaces simples e de baixo custo para equipamentos assistivos automatizados destinados a usuários com diversas restrições físicas.

A plataforma arduino utilizada como recurso assistivo é viável, pois permite a integração com outros dispositivos como computadores e módulos específicos. Sendo uma plataforma livre isto possibilitou a edição e aperfeiçoamento dos programas disponibilizados pelos fabricantes.

A montagem do protótipo em escala em alumínio ilustrado na Figura 80 ajudou na percepção do projeto criando uma interação real com o sistema proposto, na visualização de possíveis problemas ou desafios de natureza técnica, nos testes estruturais e dos componentes eletrônicos utilizados. A construção do protótipo possibilitou uma forma mais rápida e de baixo custo para a instrumentação e experimentação do projeto validando as decisões tomadas no desenvolvimento estrutural da base no programa Autodesk Fusion®.

Figura 80 - Protótipo em escala.



Fonte: Autor (2019).

## 5 CONCLUSÕES

O objetivo deste estudo que consiste no dimensionamento de um elevador assistivo que também possa ser montado e utilizado como uma plataforma de acessibilidade tipo plano inclinado, que poderá ser comandado por voz utilizando o microcontrolador Arduíno, requerendo menor área de instalação, sem necessidade de casa de máquinas, e que seja de fácil aquisição por parte da população de baixa renda foi atendido.

O uso dos módulos comandados por voz e por controle remoto torna possível a mobilidade de pessoas com limitações de movimento dos membros superiores as quais não poderiam controlar o elevador ou plataforma exercendo pressão constante nos botões de acionamento.

As vantagens do uso da plataforma arduino são: a possibilidade de ser reprogramado; ser compacto; por ser uma plataforma livre existem diversos materiais gratuitos ensinando como utilizar e diversos programas compartilhados o que permite a integração com outros dispositivos e a interação com outros aparelhos; o custo das placas também é relativamente baixo, perto das possibilidades que a plataforma oferece, além disso, a forma de trabalhar com ela é bastante intuitiva.

O elevador assistivo é operado por um sistema motor redutor o qual utiliza um sistema de fuso e porca sextavados e desliza sob guias lineares. Todos os componentes mecânicos do elevador assistivos foram especificados segundo as normas técnicas ABNT ISO 9386-1(2013) e ABNT ISO 9386-2(2013). Os componentes da base do elevador foram estudados numericamente usando o software de modelagem e análise de estruturas por elementos finitos Autodesk Fusion®. As simulações confirmam que o elevador é seguro com alto coeficiente de segurança e não sofrerá altas deflexões quando carregado. O uso de perfis Openbuilds ajudou no aumento de inércia na estrutura. A altura máxima para o qual este elevador será utilizado são quatro metros e somente serão utilizados por PcD junto ou monitoradas por um acompanhante.

O estudo atende a proposta inicial que consiste em conceber um elevador assistivo que também possa ser montado e utilizado como uma plataforma de acessibilidade tipo plano inclinado, seguro e com custo acessível à população conforme os valores listados no Apêndice C, contribuindo com a redução de barreiras impostas as PcD.

Apresentam-se as vantagens deste projeto e entre as principais está o fato de ser um equipamento simples, seguro e de fácil manutenção periódica que consiste na inspeção e lubrificação dos rolamentos, guias e porcas. Outro fator que se destaca neste equipamento em

relação aos outros modelos, é que ele não necessita de casa de máquinas e sua instalação é viável em residências e outros imóveis com menor área construída.

## REFERÊNCIAS

- AALCO. **Aluminium Alloy 6063**. 2019. Disponível em [http://www.aalco.co.uk/datasheets/-Aalco-Metals-Ltd\\_Aluminium-Alloy-6063-T6\\_Extrusions\\_158.pdf.ashx](http://www.aalco.co.uk/datasheets/-Aalco-Metals-Ltd_Aluminium-Alloy-6063-T6_Extrusions_158.pdf.ashx). Acesso em 07 ago. 2019.
- ALVES FILHO, Avelino. **Elementos finitos: a base da tecnologia CAE**. São Paulo: Saraiva, 2018.
- ARDUINO. **Arduino uno rev3**. 2019. Disponível em <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>. Acesso em: 10 ago. 2019.
- ARDUINO. **Manual do arduino**. 2019. Disponível em <https://www.arduino.cc/reference/en/>. Acesso em: 10 ago. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050: acessibilidade à edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9386-1 (2013): Plataformas de elevação motorizadas para pessoas com mobilidade reduzida - Requisitos para segurança, dimensões e operação funcional Parte 1: Plataformas de elevação vertical**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9386-2 (2013): Plataformas de elevação motorizadas para pessoas com mobilidade reduzida - Requisitos para segurança, dimensões e operação funcional Parte 2: Elevadores de escadaria para usuários sentados, em pé, e em cadeira de rodas, deslocando se em um plano inclinado**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ATI DO BRASIL. **Catálogo de fusos trapezoidais**. 2019. Disponível em <https://www.atibrasil.com.br>. Acesso em: 20 ago. 2019.
- ATI DO BRASIL. **Catálogo de porcas trapezoidais**. 2019. Disponível em [https://www.atibrasil.com.br/69-thickbox\\_default/porca-quadrada-.jpg](https://www.atibrasil.com.br/69-thickbox_default/porca-quadrada-.jpg). Acesso em: 20 ago. 2019.
- BATHE, K. J. **Finite element procedures**. New Jersey: Klaus-Jurgen Bathe, 2006.
- BEER, F. P.; JOHNSTON J. E. R. **Mecânica vetorial para engenheiros: estática**. 5. ed. Rio de Janeiro: Makron Books, 1999.
- BERNARDI, Núbia. **A aplicação do conceito do desenho universal no ensino de arquitetura: o uso de mapa tátil como leitura de projeto**. 2007. 340p. Tese (doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2007. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258187>. Acesso em: 8 ago. 2018.
- BIXPOWER. **Inversor de tensão**. 2019. Disponível em <https://www.bixpower.com/product-p/xp1800ac-hl2454.htm>. Acesso em: 30 ago. 2019.

BRASIL. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Comitê de ajudas técnicas. **Tecnologia assistiva**. Brasília: CORDE, 2009. 138 p.

CIBSE. **Chartered institution of building services engineers guide d: transportation systems in buildings**. 2010. Disponível em <https://www.cibse.org/Knowledge/knowledge-items/detail?id=a0q20000008JecyAAC>. Acesso em: 12 ago. 2019.

CONCORD ELEVATOR. **Stairlifts and chairlifts**. 2019. Disponível em: <http://www.concordelevator.com>. Acesso em: 30 ago. 2019.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DE MINAS GERAIS. **Cartilha do elevador**. 2013. Disponível em <http://www.lifeelevadores.com.br/pdf/cartilha-do-elevador.pdf>. Acesso em 08 ago. 2019

CONTI. **Catálogo de fusos de precisão**. 2019. Disponível em <http://www.contigroup.it/-Catalogo/Catalogo-PT.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2019.

CORRÊA, R. M. **Avanços e desafios na construção de uma sociedade inclusiva**. 2008. Belo Horizonte: Sociedade Inclusiva/PUC-MG.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 15. ed. Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos, 2007.

ELECHOUSE. **Manual do módulo vr3**. 2019. Disponível em [https://www.elechouse.com/elechouse/-images/product/VR3/VR3\\_manual.pdf](https://www.elechouse.com/elechouse/-images/product/VR3/VR3_manual.pdf). Acesso em: 30 ago. 2019.

ELECHOUSE. **Módulo vr3**. 2019. Disponível em <https://www.elechouse.com/elechouse/-images/product/VR3/VoiceRecognitionV3.zip>. Acesso em: 30 ago. 2019.

EMMEL, M. L. G.; GOMES, G.; BAUAB, J. P. Universidade com acessibilidade: eliminando barreiras e promovendo a inclusão em uma universidade pública brasileira. **Revista Brasileira de Ciências da Saúde**, João Pessoa, v. 14, n. 1, p. 7-20, 2010.

FARIA, B. M.; REIS, L. P.; LAU, N. User modeling and command language adapted for driving an intelligent wheelchair. In: **2014 IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC)**, Espinho, IEEE, p. 158-163, 2014.

FISH, J. **Um primeiro curso em elementos finitos**. Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos, 2000.

GARAVENTA. **StairLifts and Inclinedplatform**. 2019. Disponível em <http://www.garaventa.ca>. Acesso em: 05 ago. 2019.

GERDAU. **Catálogo de perfis**. 2019. Disponível em <https://www2.gerdau.com.br/catalogos-e-manuais>. Acesso em: 30 ago. 2019.

GERE, J. M.; GOODNO, B. J. **Mecânica dos materiais**. São Paulo: Editora Cengage Learning, 2010.

GUIMARAES, A. C. F. **Concepção e dimensionamento de uma plataforma de acessibilidade do tipo plano inclinado para pessoas usuárias de cadeira de rodas**. 2008. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2008.

HARD. **Catalogo de Construção Metálica e Pré-moldado Hard**. 2019. Disponível em <https://hard.com.br/linha/produtos/ancoragens-mecanicas-produtos/>. Acesso em: 30 ago. 2019.

HWIN. **Linear guideways**. 2019. Disponível em [https://www.hiwin.com/-pdf/linear\\_guideways.pdf](https://www.hiwin.com/-pdf/linear_guideways.pdf). Acesso em: 30 ago. 2019.

IBR. **Catálogo de redutores**. 2019. Disponível em [http://redutoresibr.com.br/-cms/\\_uploads/9fc544a3-48e7-41f6-a636-4f109c193295.pdf](http://redutoresibr.com.br/-cms/_uploads/9fc544a3-48e7-41f6-a636-4f109c193295.pdf). Acesso em: 30 ago. 2019.

INDUFIX. **Catalogo de Chumbadores Indufix**. 2019. Disponível em <http://www.indufix.com.br/catalogo-de-parafusos/>. Acesso em: 30 ago. 2019.

JÚNIOR, F. M. S.; DE LIMA, V. M. F.; DE PINHO, A. L. S.; SANTA ROSA, J. G.; RAMOS, M. A. S.; DE SOUZA, C. B. M. Avaliação do centro histórico da cidade de Braga-Portugal a partir dos princípios de desenho universal. **Revista dos encontros internacionais Ergotrip Design**, Aveiro, n. 1, pg 198-209, 2015.

KUNDU, A. S., MAZUMDER, O., LENKA, P. K., & BHAUMIK, S. (2018). Hand gesture recognition based omnidirectional wheelchair control using IMU and EMG sensors. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, United States, v. 91, n.3, p. 529-541, 2018.

KYOWA. **Strain gages**. 2019. Disponível em [www.kyowa-ei.com/eng/technical/-strain\\_gages](http://www.kyowa-ei.com/eng/technical/-strain_gages) 2019. Acesso em: 28 ago. 2019.

LEAMAN, J., & LA, H. M. A comprehensive review of smart wheelchairs: past, present, and future. **IEEE Transactions on Human-Machine Systems**, United States, v. 47, n.4, p. 486-499, 2017.

LOUIS, E. F. **Electronic Circuits: Linear/Analog: The Building Blocks of Electronic Equipment. Electronics Explained**. 2.ed. Oxford: editora Newnes, 2018.

MALONEY, T. J. **Electrónica industrial moderna**. 5. ed. México: Editora Pearson Educación, 2006.

MERCADO LIVRE. **Carregador de baterias**. 2019. Disponível em <http://produto.mercadolivre.com.br/-mlb-689043707>. Acesso em: 28 ago. 2019.

MERCADO LIVRE. **Fechadura com solenóide**. 2019. Disponível em <https://produto.mercadolivre.com.br/-MLB-1268992995>. Acesso em: 28 ago. 2019.

MONK, S. **30 projetos com Arduino**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2014.

MOVE ELEVADORES. **Sistema movido por correntes**. 2019. Disponível em: [https://www.moveelevadores.com.br/produto/plataforma\\_para\\_escadas](https://www.moveelevadores.com.br/produto/plataforma_para_escadas). Acesso em: 28 ago. 2019.

MUNDO DA ELÉTRICA. **Componentes de um contator**. 2019. Disponível em: [www.mundodaeletrica.com.br/tag/como-funciona-um-contator](http://www.mundodaeletrica.com.br/tag/como-funciona-um-contator). Acesso em: 28 ago. 2019.

NAKAZATO, Anderson Zenken. **Desenvolvimento de máquina universal de ensaios mecânicos portátil de baixo custo para fins didáticos utilizando o conceito open-source**. 2019. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2019.

NORELEM. **Fuso trapezoidal**. 2019. Disponível em <https://www.norelem.com/DataSheet/-pt/24>. Acesso em: 30 ago. 2019.

NORTON, R. L. **Machine Design**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NSK. **Catálogo geral de rolamentos**. 2019. Disponível em <http://www.nsk.com/common/data/ctrpPdf/e1103a.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2019.

NSK. **Linear guides for industrial automation and equipment**. 2019. Disponível em <http://www.nsk.com.br/upload/file/e3329.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2019.

BERG, E.; JONES, F. D.; HORTON, H. L.; RYFFEL, H. H. **Machinery's Handbook**. 26. ed. New York: Industrial Press, 2000.

OLIVEIRA, G. C. R.; SILVA, F. A.; ROSADO, V. O. G.. Estudo de um novo sistema motor para plataformas assistivas de ônibus circulares. In: **II Congresso Brasileiro em Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologia Assistiva**. Tecnologia Assistiva: Pesquisa e Conhecimento I. Bauru: Canal 6 editora, 2018. v. 1. p. 35-46.

OPENBUILDS. **V-slot-20x80-linear-rail**. 2019. Disponível em <https://openbuildspartstore.com/v-slot-20x80-linear-rail/>. Acesso em: 30 ago. 2019.

PEREIRA, C. P. M. **Mecânica dos Materiais Avançada**. Rio de Janeiro: Editora Interciência 2004.

PRIYANAYANA, S.; BUDDHIKA, A. G.; JAYASEKARA, P. Developing a voice controlled wheelchair with enhanced safety through multimodal approach. In: **2018 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference R10-HTC**. Colombo, IEEE, 2018. p. 1-6.

PTI. **Catálogo de acoplamentos PTI**. 2019. Disponível em <http://www.pticorp.com.br/pt/ptihome/prodbytype/2>. Acesso em: 30 ago. 2019.

RAIYAN, Z.; NAWAZ, M. S.; ADNAN, A. A.; IMAM, M. H. Design of an arduino based voice-controlled automated wheelchair. In: **2017 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference R10-HTC**. Dhaka, IEEE, 2017. p. 267-270

REXNORD. **Catálogo de acoplamentos Rexnord**. 2019. Disponível em <http://www.rexnord.com.br/catproduto/acoplamentos-rexnord/>. Acesso em: 30 ago. 2019.

ROSADO, V. O. G (2004). Concepção e dimensionamento de equipamentos assistivos para pessoas portadoras de deficiência no ensino do curso de Engenharia Mecânica. In: Congresso brasileiro de ensino de engenharia. 2004. **Anais do COBENGE**. Brasília: Universidade de Brasília, 2004.

SOTERIS A. K. **Chapter 9 - Photovoltaic Systems. Solar Energy Engineering** 2.ed. United States: Academic Press, 2014, pg 481-540.

STANNAH, **Plataforma tipo plano inclinado**. 2019. Disponível em: <https://www.stannah.pt/mobilidade/equipamento/plataforma-elevatoria-para-escadas-retas>. Acesso em: 28 ago. 2019.

TETEFLEX. **Catálogo de acoplamentos elásticos**. 2019. Disponível em <http://wtsacoplamentos.com.br/catalogo/teteflex.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2019.

UMCHID, S.; LIMHAPRASERT, P.; CHUMSOONGNERN, S.; PETTHONG, T.; LEEUDOMWONG, Voice Controlled Automatic Wheelchair. In: **2018 11th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON)**. Chiang Mai, IEEE, 2018. p. 1-5.

WEG. **Catálogo WEG Light Screen Plex**. 2019. Disponível em <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h64/h92/WEG-10005811538-light-screen-plex-manual-do-usuario-pt.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2019.

WENDT, D. W.; PRENDERGAST SR, J. F.; LIU, H.; GISSKE, E. T.(1991).**U.S. Patent No.5,052,521**. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. Disponível em <https://patentimages.storage.googleapis.com/3e/16/79/dc40c9e87d0853/US5052521.pdf> Acesso em: 28 ago. 2019.

WILLIAMS, T; SCHEUTZ, M. The state-of-the-art in autonomous wheelchairs controlled through natural language: A survey. **Robotics and Autonomous Systems**, Netherlands, v.96, p. 171-183, 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **World report on disability 2011**. Geneva: World Health Organization, 2011.

## APÊNDICE A - Programa desenvolvido no Arduino

```

// controle de rele

#include <SoftwareSerial.h>
#include "VoiceRecognitionV3.h"

/**
Connection
Arduino  VoiceRecognitionModule
2 -----> TX
3 -----> RX
*/
VR myVR(2, 3); // 2:RX 3:TX,
uint8_t records[7]; // save record
uint8_t buf[64];

int rele_1= 13;      //sobe
int rele_2= 12;      //DESCE
int rele_3= 11;      //PARA

#define onRecord    (0)
#define offRecord   (1)
#define onnRecord   (2)
#define offfRecord  (3)
#define omRecord    (4)
#define ofRecord    (5)

void printSignature(uint8_t *buf, int len)
{
int i;
for (i = 0; i < len; i++) {
if (buf[i] > 0x19 && buf[i] < 0x7F) {
Serial.write(buf[i]);
}
else {
Serial.print("[");
Serial.print(buf[i], HEX);
Serial.print("]");
}}}

void printVR(uint8_t *buf)
{
Serial.println("VR Index\tGroup\tRecordNum\tSignature");

Serial.print(buf[2], DEC);
Serial.print("\t\t");

if (buf[0] == 0xFF) {

```

```

Serial.print("NONE");
}
else if (buf[0] & 0x80) {
Serial.print("UG ");
Serial.print(buf[0] & (~0x80), DEC);
}
else {
Serial.print("SG ");
Serial.print(buf[0], DEC);
}
Serial.print("\t");

Serial.print(buf[1], DEC);
Serial.print("\t\t");
if (buf[3] > 0) {
printSignature(buf + 4, buf[3]);
}
else {
Serial.print("NONE");
}
Serial.println("\r\n");
}
void setup()
{
/** initialize */
myVR.begin(9600);

Serial.begin(115200);
Serial.println("Elechouse Voice Recognition
V3 Module\r\nControl LED sample");

pinMode(rele_1, OUTPUT); //sobe
pinMode(rele_2, OUTPUT); //DESCE
pinMode(rele_3, OUTPUT); //PARA

if (myVR.clear() == 0) {
Serial.println("Recognizer cleared.");
} else {
Serial.println("Not find VoiceRecognitionModule.");
Serial.println("Please check connection and restart Arduino.");
while (1);
}
if (myVR.load((uint8_t)onRecord) >= 0) {
Serial.println("onRecord loaded");
}
if (myVR.load((uint8_t)offRecord) >= 0) {
Serial.println("offRecord loaded");
}

if (myVR.load((uint8_t)onnRecord) >= 0) {

```

```

Serial.println("onnRecord loaded");
}
if (myVR.load((uint8_t)offRecord) >= 0) {
Serial.println("offRecord loaded");
}
if (myVR.load((uint8_t)omRecord) >= 0) {
Serial.println("omRecord loaded");
}
if (myVR.load((uint8_t)ofRecord) >= 0) {
Serial.println("ofRecord loaded");
}}

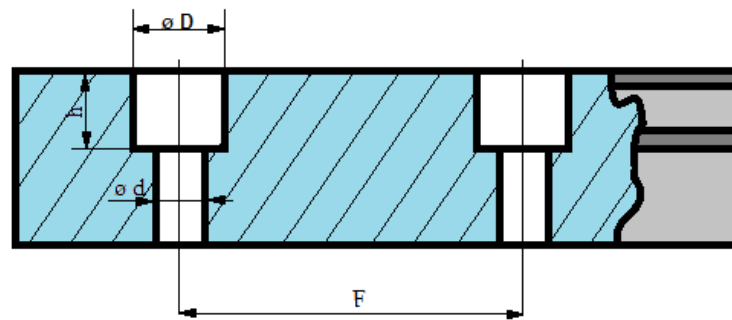
void loop()
{
int ret;
ret = myVR.recognize(buf, 50);
if (ret > 0) {
switch (buf[1]) {
case onRecord:
/** turn on LED */
digitalWrite(rele_1, HIGH); //sobe
break;
case offRecord:
/** turn off LED*/
digitalWrite(rele_1, LOW); //sobe
break;
case onnRecord:
/** turn on LED */
digitalWrite(rele_2, HIGH); //DESCE
break;
case offRecord:
/** turn off LED*/
digitalWrite(rele_2, LOW); //DESCE
break;
case omRecord:
/** turn on LED */
digitalWrite(rele_3, HIGH); //PARA
break;
case ofRecord:
/** turn off LED*/
digitalWrite(rele_3, LOW); //PARA
break;
default:
Serial.println("Record function undefined");
break;
}
/** voice recognized */
printVR(buf);
}}

```

## APÊNDICEB - Elementos de fixação das guias

A guia linear utilizada tem 50 furos para fixação dos parafusos. Na Figura 1 é ilustrada a configuração da furação do equipamento e as cotas são listadas na Tabela 1.

Figura 1. Configuração da furação da guia.



Fonte: Autor (2019)..

Tabela 1. Cotas dos furos.

Dados	Valores	Unidades
D	14	mm
d	9	mm
h	12	mm
F	80	mm

Fonte: Autor (2019).

No estudo do elevador assistivo as guias deverão ser fixadas na parede do imóvel. Os parafusos para alvenaria são denominados como chumbadores mecânicos conforme os catálogos Hard (2019) e Indufix (2019). A solução mais comum para fixação são os modelos Hardbolt e o Parabolt apresentados por estes fabricantes.

Figura 2. Modelos de chumbadores.



Fonte: Adaptado de catalogo Hard construção metálica e pré-moldado e Catalogo de Chumbadores Indufix (2019)

O Hardbolt é definido no Catalogo de Construção Metálica e Pré-moldado Hard (2019) como:

O Hardbolt é um chumbador mecânico estrutural, tipo parafuso, não expansível, de peça única e com cabeça sextavada. Devido ao seu desenho de rosca, não expande no furo podendo ser aplicado a distância reduzida da borda e entre ancoragens. De aplicação fácil e rápida, com o auxílio de uma chave de aperto manual ou chave de impacto elétrica. Atinge cargas elevadas e possibilita agilidade nos processos de montagem de estruturas.

As propriedades do Hardbolt são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Propriedades do Hardbolt.

Dados	Valores	Unidades
Diâmetro do parafuso	8	mm
Profundidade do furo	70	mm
Resistência a tração	645	kgf
Resistência ao cisalhamento	370	kgf

Fonte: Adaptado de catalogo Hard construção metálica e pré-moldado, (2019).

O Parabolt é definido no Catalogo de Chumbadores Indufix (2019) como:

Um chumbador de expansão controlada por torque, formado por prisioneiro, arruela, jaqueta e cone. Os chumbadores mecânicos têm bitolas e comprimentos variados e fixam por meio de expansão gerada por torque ou percussão. É basicamente um parafuso com arruela acoplado a uma camada externa, muito parecida com uma bucha, que ao se girar o parafuso, através de um sistema, faz essa camada externa se abrir aumentando o diâmetro do chumbador, fixando-o no furo onde o mesmo foi colocado.

As propriedades do Parabolt são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades do Parabolt.

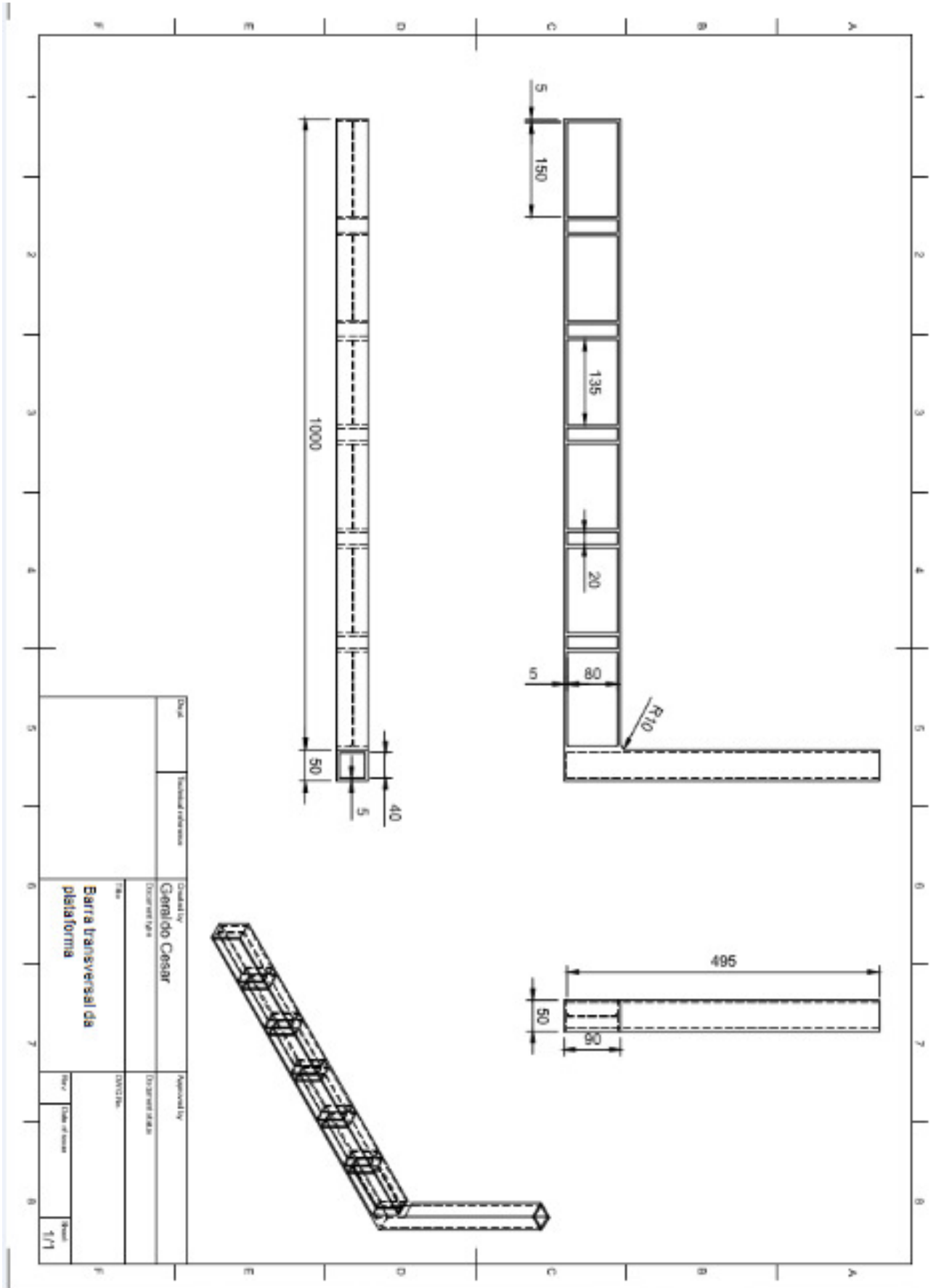
Dados	Valores	Unidades
Diâmetro do parafuso	8	mm
Profundidade do furo	75	mm
Carga ultima a tração	1840	kgf
Carga ultima ao corte	1195	kgf

Fonte: Adaptado de Catalogo de Chumbadores Indufix (2019)

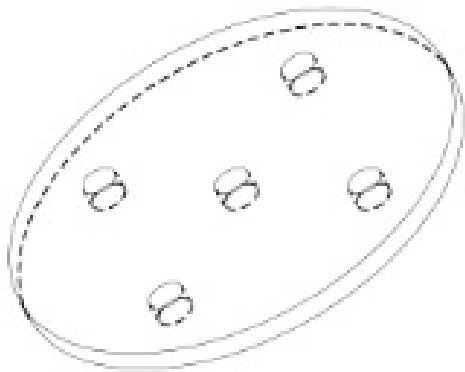
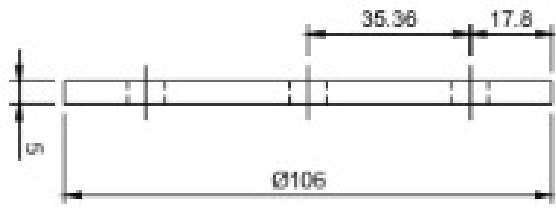
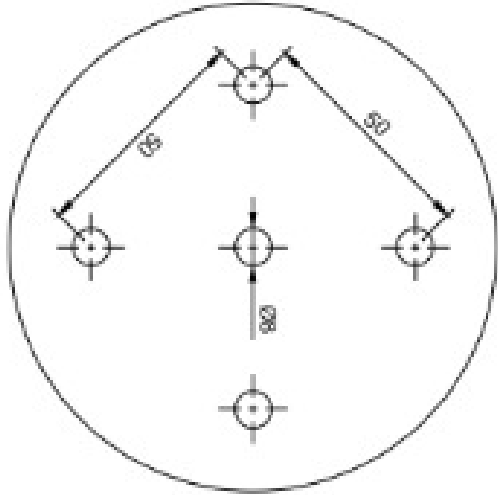
**APÊNDICE C - Orçamento dos equipamentos do elevador e do modelo**

Equipamento	Preço	Quantidade
Motor redutor modelo 050 com 1,5 CV	R\$ 440,86	1
Acoplamento elástico D3	R\$128,00	1
Arduino Uno R3 Atmega 328 Com Cabo USB	R\$ 38,90	1
Módulo de reconhecimento de voz V3	R\$ 120	1
Módulo Relé com 4 relés	R\$ 25	1
Modulo Relé 433mhz com Controle Remoto Rf	R\$ 74,75	1
Inversor de Potência com 2000w	R\$ 389,99	1
Chave Fim De Curso Micro Switch 4 un.	R\$ 29	1
Contator De Potência 2 Pólos 25a 1na 1nf	R\$ 55	3
Perfil De Alumínio Estrutural Vslot 20x20 com 50cm	R\$ 25	3m
Perfil Alumínio Estrutural Vslot 20x80 com 50 cm	R\$ 47	6 m
Tubo quadrado 2 pol. 6 metros	R\$ 190,13	3m
Perfil Viga "I" 2 pol. 6 metros	R\$ 341,49	3 m
Cortina De Luz de Segurança	R\$ 1.980	1
Perfil Viga "I" 4 pol. 6 metros	R\$ 554,79	2 m
Parafusos M8x30 mm Com Porca Zincada 100 un.	R\$ 62	1
Placas de madeira e folhas de aço	R\$100	1
Barras retangulares de alumínio	R\$ 120	1
Papel de parede	R\$40	1
Cabos e conexões elétricas	R\$100	1
Rodízios	R\$ 40	1
Botão Emergência com Trava Vermelho 1 Nf	R\$ 23	1
Fuso 8 mm com rolamentos e porca	R\$ 150	1
Fuso Ati 40 mm	R\$ 2310	1
Guias lineares L1H354000Z	R\$ 5940	2
Patins LAH34ANZ	R\$ 675,46	4
Rolamento 51206	R\$ 57,43	1
Rolamento 22206EJW33	R\$ 285,10	1
Botão verde e vermelho	R\$ 12	1
<b>Valor total:</b>	<b>R\$ 22.078,76</b>	

APÊNDICE D - Desenhos das peças da estrutura







Design	Technical reference	Created by	Approved by
		<b>Genildo Cesar</b>	
		Disciplinador	
		Proj.	
		<b>Espaçador para guia linear</b>	
		10002166	
		Rev. 1	
		Class of issue	
		Sheet	
			1/1

