

GERALDO CESAR ROSÁRIO DE OLIVEIRA

Dimensionamento de um elevador assistivo, com sistema de fuso, para usuários de cadeira de rodas.

Guaratinguetá - SP
2017

Geraldo Cesar Rosário de Oliveira

Título: Dimensionamento de um elevador assistivo, com sistema de fuso, para usuários de cadeira de rodas.

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Víctor Orlando Gamarra Rosado

Guaratinguetá - SP

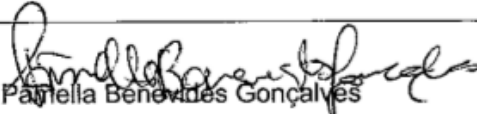
Oliveira, Geraldo Cesar Rosario de
O48d Dimensionamento de um elevador assistivo, com sistema de fuso, para
usuários de cadeira de rodas / Geraldo Cesar Rosario de Oliveira –
Guaratinguetá, 2017.
53 f : il.
Bibliografia: f. 46-47

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Victor Orlando Gamarra Rosado

1. Elevadores 2. Equipamentos de autoajuda para deficientes. 3.
Método dos elementos finitos - Programas de computador. 4. Cadeiras
de rodas I. Título


CDU 621.876


Patrícia Benedita Gonçalves
Bibliotecária CRB/8: 9203


GERALDO CESAR ROSÁRIO OLIVEIRA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

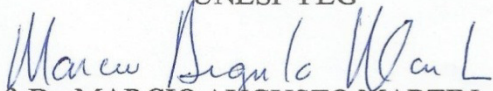
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM **ENGENHARIA MECÂNICA**

Prof. Dr.  **MARCELO SAMPAIO MARTINS**
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. **VICTOR ORLANDO GAMARRA ROSADO**
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. **FERNANDO DE AZEVEDO SILVA**
UNESP-FEG


Prof. Dr. **MARCIO AUGUSTO MARTIN**
UNESP-FEG

Outubro de 2017

AGRADECIMENTOS

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

ao meu orientador, Prof. Dr. Víctor Orlando Gamarra Rosado, que jamais deixou de me incentivar. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível.

aos funcionários da Faculdade de Engenharia do Campos de Guaratinguetá pela dedicação e alegria no atendimento.

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

RESUMO

Tecnologia assistiva é um termo que descreve a criação de recursos tecnológicos para ajudar no desempenho funcional ou ampliar a acessibilidade e habilidades de pessoas com mobilidade reduzida, tal como: cadeirantes, usuários de muleta, idosos e/ou pessoas com deficiência (PcD). Esta tecnologia é de grande importância para a integração desses indivíduos com a sociedade e consequentemente melhorias em sua qualidade de vida. O objetivo deste trabalho consiste no dimensionamento de um elevador assistivo de uso pessoal, seguindo as normas atualizadas de acessibilidade da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR ISO 9386-1 e ABNT NBR 9050, com custo acessível no mercado para pessoas usuárias de cadeira de rodas. O elevador proposto e dimensionado será operado por um motor elétrico com sistema de fuso e castanha, poderá atingir a altura máxima de quatro metros (4 m) e ser utilizado por um usuário de cadeira de rodas junto com um acompanhante, levando em consideração as normas técnicas. E finalmente, se realiza uma breve análise estrutural com ferramentas computacionais de elementos finitos (EF) junto à base da cabina e os esforços atuantes.

PALAVRAS-CHAVE: Elevador assistivo. Usuário de cadeira de rodas. PcD. Tecnologia assistiva.

ABSTRACT

Assistive technology is a term that describes the creation of technological resources to aid in functional performance or to increase the accessibility and skills of people with reduced mobility, such as: wheelchairs, crutch users, seniors and or people with disabilities. This technology is of great importance for the integration of these individuals with society and consequently improvements in their quality of life. The objective of this work is the design of an assistive elevator for personal use, following the updated standards of accessibility of the Brazilian Association of Technical Standards ABNT NBR ISO 9386-1 and ABNT NBR 9050, with affordable cost in the market for people who use wheelchairs. The proposed and dimensioned lift will be operated by an electric motor with a spindle and chestnut system, it can reach the maximum height of four meters (4 m) and be used by a wheelchair user together with a companion, taking into account the rules techniques. Finally, a brief structural analysis with finite element computational tools (FE) is carried out near the base of the car and the actuating forces.

KEYWORDS: Assistive lift. Wheelchair user. PwD. Assistive technology..

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Elevador Hidráulico.....	15
Figura 2 – Casa de Máquinas.....	16
Figura 3 – Máquina de tração sem redutor.....	17
Figura 4 – Máquina de tração com redutor.....	18
Figura 5 – Sistema de elevação com tambor.....	19
Figura 6 – Perspectiva da base do elevador movimentado pelo fuso.....	21
Figura 7 – Desenho de duas propostas utilizando fusos.....	27
Figura 8 – Dimensões cotadas junto ao acoplamento tipo MADEFLEX GR	34
Figura 9 – Desenho em corte do Rolamento axial de esferas.....	35
Figura 10 – Desenho da montagem do Rolamento axial de esferas.....	36
Figura 11 – Esquema simplificado dos esforços atuantes no fuso.....	37
Figura 12 – Simulação e deflexão na base da cabina.....	40
Figura 13 – Base da cabina modificada durante simulação.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensões mínimas da plataforma.....	23
Tabela 2 – Fusos disponíveis e suas características.....	24
Tabela 3 – Dimensões normalmente não variáveis dos fusos.....	25
Tabela 4 – Diâmetro " <i>TR</i> ", Comprimento " <i>L</i> ", e Peso dos fusos.....	26
Tabela 5 – Características do motor selecionado.....	30
Tabela 6 – Fator de serviço <i>F_s</i> em função do tipo de máquina acionadora e acionada.....	31
Tabela 7 – Fator de serviço <i>F_t</i> em função do número de horas que a máquina trabalha por dia.....	32
Tabela 8 – Fator de serviço <i>F_p</i> em função do número de partidas por hora.....	32
Tabela 9 – Fator Seleção de Acoplamentos tipo MADEFLEX GR.....	33
Tabela 10 – Dimensões dos Acoplamentos tipo MADEFLEX GR.....	33
Tabela 11 – Coeficientes de Vida <i>f_h</i> e de Velocidade <i>f_n</i>	35
Tabela 12 – Medidas de referência do Rolamento axial de esferas.....	35
Tabela 13 – Propriedades do material, Aço 1020.....	39
Tabela 14 – Deslocamento na cabina durante simulação.....	41
Tabela 15 – Propriedades da base e material utilizado	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ADA – American with Disabilities Act.

CAD – Computer Aided Design

EF – Elementos Finitos

PcD – Pessoas com deficiência

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MR – Módulo de Referência

TA – Tecnologia Assistiva

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	OBJETIVO.....	12
1.2	METODOLOGIA.....	12
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	13
2	ELEVADORES DISPONÍVEIS NO MERCADO NACIONAL.....	15
2.1	ELEVADORES HIDRÁULICOS.....	15
2.2	ELEVADORES QUE UTILIZAM CABO DE AÇO.....	17
2.2.1	Máquinas sem redutores.....	17
2.2.2	Máquinas com redutores.....	18
2.2.3	Máquinas de tração direta com tambor.....	18
2.2.4	Princípio de funcionamento.....	19
2.3	ELEVADOR ACIONADO POR FUSO.....	20
3	PROJETO DO ELEVADOR ASSISTIVO.....	22
3.1	PARÂMETROS DO PROJETO.....	22
3.2	DIMENSIONAMENTO DO FUSO.....	24
3.3	DIMENSIONAMENTO DO MOTOR.....	28
3.4	DIMENSIONAMENTO DO ACOPLAMENTO.....	31
3.5	DIMENSIONAMENTO DO ROLAMENTO.....	34
4	RESULTADOS DA ANÁLISE ESTRUTURAL.....	37
4.1	TENSÕES ATUANTES NO FUSO.....	37
4.2	DEFLEXÃO NA CABINA.....	39
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	43
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
	ANEXO A – Custo dos componentes e equipamentos.....	47
	ANEXO B – Desenhos técnicos do elevador assistivo	48

1 INTRODUÇÃO

Razões socioeconômicas e sociais definiram em todas as partes do mundo a preocupação com a política de acessibilidade. O assunto é bem desenvolvido nos países europeus, alguns países asiáticos e americanos, como por exemplo: Estados Unidos e Canadá, com maior destaque. O número de pessoas com deficiência (PcD) tem crescido em todo mundo e no Brasil este índice é alarmante. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) aponta os acidentes da construção civil e das estradas como os maiores fatores para essa estatística.

De acordo com os dados do censo do IBGE, em 2010, observa-se que 23,9% da população brasileira (45,6 milhões) declararam que possuem pelo menos um tipo de deficiência e a maioria dessas pessoas aproximadamente 38,5 milhões moram em áreas urbanas. Existem leis municipais, estaduais e federais que regulam e determinam padrões de acessibilidade nas cidades e no interior das edificações, entre as quais o Artigo 4 da Legislação brasileira sobre pessoas portadoras de deficiência que determina:

Os Estados-Partes se comprometem a assegurar e promover o pleno exercício de todos os direitos humanos e liberdades fundamentais por todas as pessoas com deficiência, sem qualquer tipo de discriminação por causa de sua deficiência. Para tanto, os Estados-Partes se comprometem a realizar ou promover a pesquisa e o desenvolvimento de produtos, serviços, equipamentos e instalações com desenho universal, que exijam o mínimo possível de adaptação e cujo custo seja o mínimo possível, destinados a atender às necessidades específicas de pessoas com deficiência, a promover sua disponibilidade e seu uso e a promover o desenho universal quando da elaboração de normas e diretrizes; (BRASIL, 2013)

Entretanto, as limitações de locomoção impostas às pessoas com algum tipo de restrição, à capacidade de mobilidade ou pessoas com dificuldade de locomoção (PDL) ainda é algo impactante na realidade brasileira. Poucos são os locais projetados ou adaptados visando facilitar o acesso das pessoas com deficiência (PcD).

Segundo Cohen e Duarte (1995) as barreiras ocasionadas pela dificuldade de acesso no espaço urbano, privam as PcD de seu direito de ir e vir, da interação com a sociedade, o que gera gerando desigualdade e exclusão dos mesmos.

Muitas das limitações e incapacidade das pessoas com deficiência de locomoção não se devem a uma falta de habilidade de se adequarem ao ambiente, mas a uma deficiência do espaço construído de abrigar diversidades. Neste caso a deficiência em si não é o fator da imobilidade e sim a falta de adequação do meio (COHEN; DUARTE, 2005)

Logo é imprescindível intermediar por meio de recursos, serviços ou ferramentas, e obter soluções e/ou infraestruturas na busca da integração dos indivíduos à sociedade, estes recursos são denominados tecnologia assistiva(TA):

O termo *Assistive Technology*, traduzido no Brasil como Tecnologia Assistiva, foi criado oficialmente em 1988 como importante elemento jurídico dentro da legislação norte-americana, conhecida como *Public Law 100-407*, que compõe, com outras leis, o *ADA – American with Disabilities Act*. Este conjunto de leis regula os direitos dos cidadãos com deficiência nos EUA, além de prover a base legal dos fundos públicos para compra dos recursos que estes necessitam. Houve a necessidade de regulamentação legal deste tipo de tecnologia, a TA, e, a partir desta definição e do suporte legal, a população norte-americana, de pessoas com deficiência, passa a ter garantido pelo seu governo o benefício de serviços especializados e o acesso a todo o arsenal de recursos que necessitam e que venham favorecer uma vida mais independente, produtiva e incluída no contexto social geral. (BERSCH, 2005)

Entre os obstáculos encontrados com maior frequência estão as 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. Perante esta situação a ferramenta indicada para inclusão é o elevador assistivo.

No mercado nacional se encontram 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 (CONCORD Elevator, 2001; GARAVENTA, 2001). 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. Neste sentido existe um esboço preliminar de uma plataforma dobrável de acessibilidade, acionada por motor elétrico e que se locomove sobre trilhos ao longo de uma escada (GAMARRA ROSADO, 2004; e GAMARRA ROSADO e GUIMARÃES FILHO, 2007).

O elevador assistivo que se desenvolve neste estudo se caracteriza por ter uso exclusivo para acessibilidade. E segundo as Normas Técnicas ABNT NBR 9050 e principalmente a norma ABNT NBR ISO 9386-1 o desenvolvimento deste projeto deve especificar a periodicidade de uso do elevador pelo usuário de cadeira de rodas. Assim, este elevador não será utilizado para atender o trânsito normal de pessoas do recinto e, portanto, os parâmetros do tráfego não devem ser utilizados no dimensionamento (MONTELE, 2017). Além disso, este desenvolvimento se caracteriza por exigir a menor área para sua instalação e, portanto,

viabilidade em adaptações em imóveis, ocasionando menor custo de inserção.

Acompanhado do caráter social, acessibilidade, confiabilidade e segurança dos usuários de cadeira de rodas, o desenvolvimento deste elevador assistivo proporcionará uma grande oportunidade de utilizar os conhecimentos adquiridos no curso de engenharia.

1.1 OBJETIVO

O principal objetivo deste desenvolvimento consiste no dimensionamento de um elevador assistivo de uso pessoal (ABNT NBR ISO 9386-1) para pessoas usuárias de cadeira de rodas, e que seja de fácil aquisição por parte da população de baixa renda. O elevador assistivo proposto será basicamente operado por um motor elétrico o qual utiliza um sistema de fuso e castanha. Além de especificar todos os componentes mecânicos do elevador assistivos, segundo normas técnicas, será realizada uma análise estrutural da base da cabina usando *software* de Elementos Finitos (EF). A altura máxima a ser considerada são quatro metros (4m) e somente ser utilizado por um usuário de cadeira de rodas junto de um acompanhante.

1.2 METODOLOGIA

No início deste trabalho, realiza-se uma ampla pesquisa bibliográfica com o objetivo de levantar dados técnicos, e de custos de mercado, referente a este tipo de equipamento.

E a seguir, obter as possíveis soluções e concepções de forma a desenvolver um equipamento de elevação assistivo e de acessibilidade para usuários de cadeira de rodas junto com um acompanhante, e ser dimensionada segundo as normas técnicas ABNT NBR 9050 e ABNT NBR ISO 9386-1.

Para efeitos dos cálculos estruturais e o projeto mecânico propriamente dito, utilizam-se conhecimentos principalmente das disciplinas, Resistência dos Materiais, Elementos de máquinas, Desenho técnico e Projeto mecânico, catálogos dos fabricantes, bem como os *softwares* CAD (*Computer Aided Design*) e *Inventor* para a confecção dos desenhos e detalhes técnicos do conjunto. Também, foi possível o dimensionamento e especificação dos componentes, sejam o acoplamento e rolamentos, o fuso e a motorização do elevador assistivo.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No Capítulo 1, apresenta-se uma breve 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 Tecnologia assistiva (TA). Também, apresentam-se os objetivos e a metodologia a ser usada neste estudo, e desenvolvimento deste equipamento, e destaca-se a importância, e as justificativas para o desenvolvimento deste trabalho.

No Capítulo 2, se apresentam os diferentes elevadores utilizados e disponíveis no mercado nacional, se descrevem suas características de funcionamento, se apresentam as vantagens e desvantagens com relação ao objetivo traçado neste estudo, que são, acessibilidade e uso específico para usuários de cadeira de rodas.

No Capítulo 3, se apresentam os parâmetros e restrições do projeto do elevador assistivo, assim como, o dimensionamento e especificação dos componentes, conforme a seguir,

- Adotam-se inicialmente neste estudo, dados relacionados com a velocidade da cabina, área máxima da base e a carga mínima do elevador segundo as normas técnicas ABNT NBR ISO 9386-1 e ABNT NBR 9050;
- Segundo o catalogo do fabricante, se seleciona e especifica o fuso a ser utilizado. Adota-se, segundo as normas técnicas um fuso com rosca trapezoidal por causa da característica de auto travamento, e que melhor se adéqua neste equipamento.
- Para o dimensionamento e especificação do motor elétrico também se utiliza catálogos do fabricante, assim como, dados de entrada determinados pelas características obtidas do fuso selecionado para obter a potência e especificação do atuador.
- E finalmente, os cálculos, especificação e seleção do tipo de acoplamento utilizado para unir o motor ao fuso, o qual vai reduzir vibrações e impactos no sistema, assim como, evitar possíveis desalinhamentos na junção. E cálculos relacionados com a carga atuante para a seleção e especificação dos rolamentos axiais.

O Capítulo 4 trata da análise dos esforços atuando no fuso e estudo da deflexão na cabina do elevador, gerado pelo peso da cabina e a torção gerada pelo motor. Com uma

ferramenta computacional a qual utiliza elementos finitos se realiza um estudo junto à cabina, o que leva a uma distribuição ótima das vigas da base reduzindo a deflexão.

E no Capítulo 5, apresentam-se as conclusões e possíveis outras soluções e propostas de trabalho com a finalidade de obter melhoras neste equipamento.

2 ELEVADORES DISPONÍVEIS NO MERCADO NACIONAL

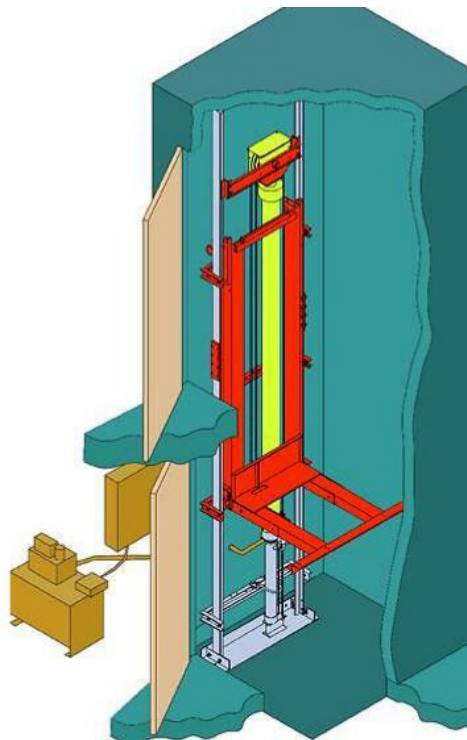
Após levantamento bibliográfico tem se encontrado uma variedade de elevadores com diversos sistemas de operação. Os elevadores podem ser adaptados ao uso assistivo, entretanto, o mais comum é o modelo hidráulico e de fuso, o qual é utilizado em residências.

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.

2.1 ELEVADORES HIDRÁULICOS

O elevador hidráulico, conforme a Fig. 1, é aquele acionado por um motor elétrico o qual aciona uma bomba hidráulica, aumentando a pressão do óleo o qual sai do reservatório através de mangueiras que suportam alta pressão, até um cilindro que é expandido e assim movimentando a cabina.

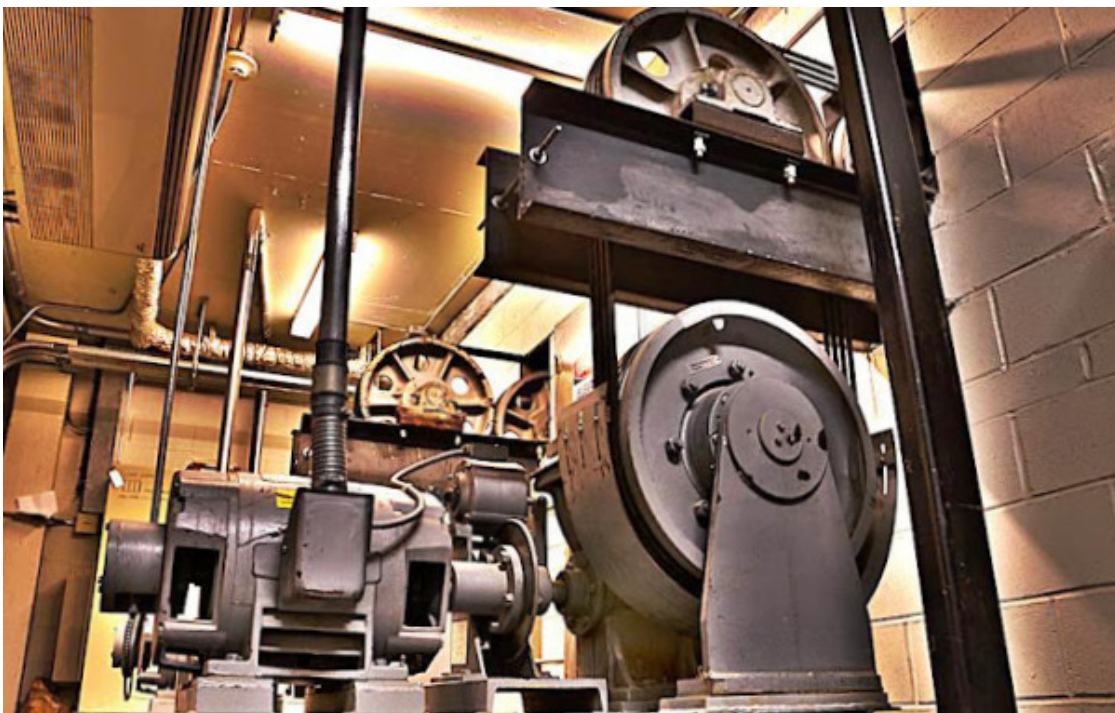
Figura 1. Elevador Hidráulico.



Fonte: EHLS, 2004.

Entre as vantagens do modelo hidráulico estão, a localização da unidade hidráulica, pois pode ser conectada por mangueiras e ficar distante da cabina do elevador propriamente dito, ao contrário dos outros modelos que necessitam de uma casa de máquinas acima do local de instalação, conforme a Fig. 2. Isto, faz com que possa ser instalado em lugares não acessíveis para os outros modelos, ele é o mais utilizado em pequenos cursos e com maiores opções no mercado.

Figura 2. Casa de Máquinas



Fonte: EHLS, 2004.

Entre as desvantagens tem-se, o maior consumo de energia em relação aos outros modelos por causa das perdas de carga nas mangueiras e perdas mecânicas que ocorrem na bomba, a qual necessita de uma grande quantidade de óleo para o funcionamento. Por exemplo, uma unidade hidráulica de pequeno porte utiliza 42 litros de óleo sem considerar o volume necessário para o resto do sistema. Também, deve-se considerar a manutenção e a substituição periódica do óleo e mangueiras o que gera resíduos e prováveis impactos ambientais se o descarte principalmente do óleo for incorreto.

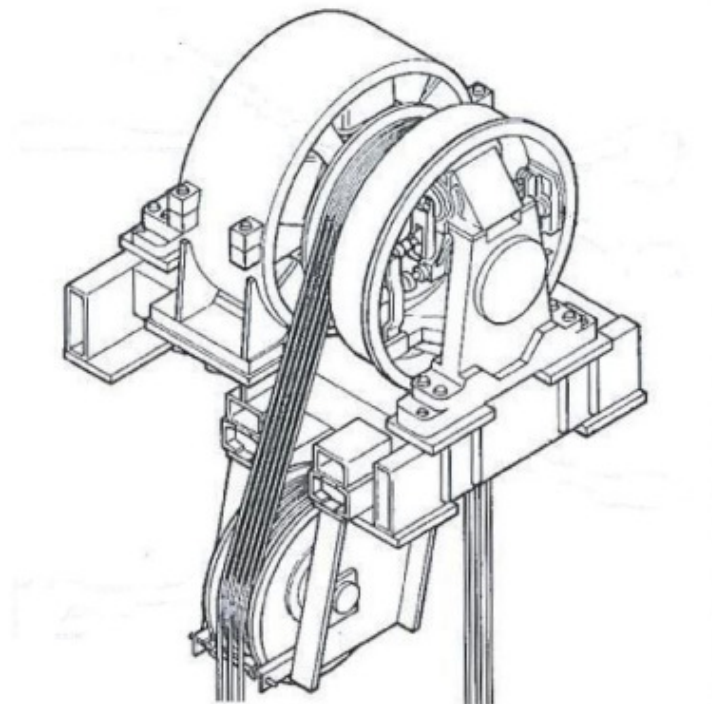
2.2 ELEVADORES QUE UTILIZAM CABO DE AÇO

Nos elevadores que se utilizam cabo de aço, a cabina é presa e suspensa por este cabo. Nestes modelos se utilizam um sistema de roldanas por onde passa o cabo, e acionados por um motor elétrico. Também existem modelos, com redutor, sem redutor e tração direta com tambor.

2.2.1 Máquinas sem redutores

Observa-se que, máquinas sem redutores são geralmente usadas em elevadores de altas velocidades, que variam entre 2,5 m/s e 10 m/s, respectivamente (Fig. 3). Também, eles são usados em aplicações de grande elevação, em que o motor de acionamento e a roldana de transmissão são conectados em linha em um eixo comum, sem nenhuma unidade mecânica de redução.

Figura 3. Máquina de tração sem redutor.

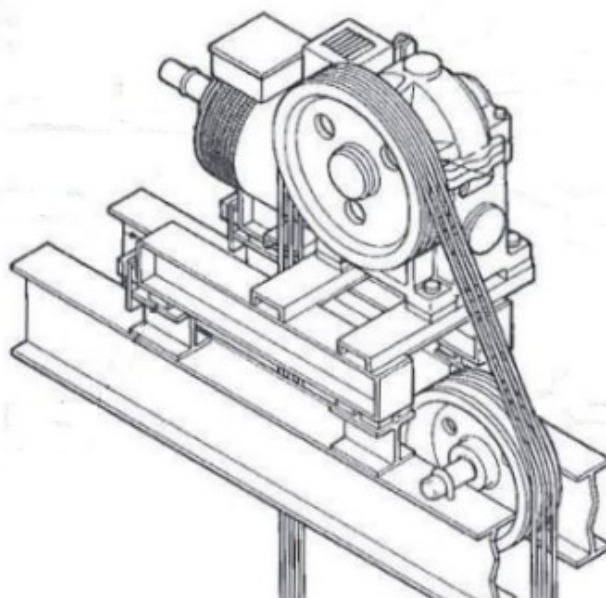


Fonte: Electrical Knowhow, 2013.

2.2.2 Máquinas com redutores

Máquinas com redutor, conforme a Fig. 4, são usadas em aplicações de baixa e média elevação. Esta concepção utiliza um conjunto de engrenagens para reduzir as rotações do motor de acionamento, para reduzir a velocidade de entrada e se adequar à velocidade requerida da roldana de acionamento e do elevador, a velocidade de saída. Geralmente, este sistema utiliza engrenagens para obter velocidades entre 0,1 m/s e 2,5 m/s, e adequadas para cargas de até 50.000 kg.

Figura 4. Máquina de tração com redutor.



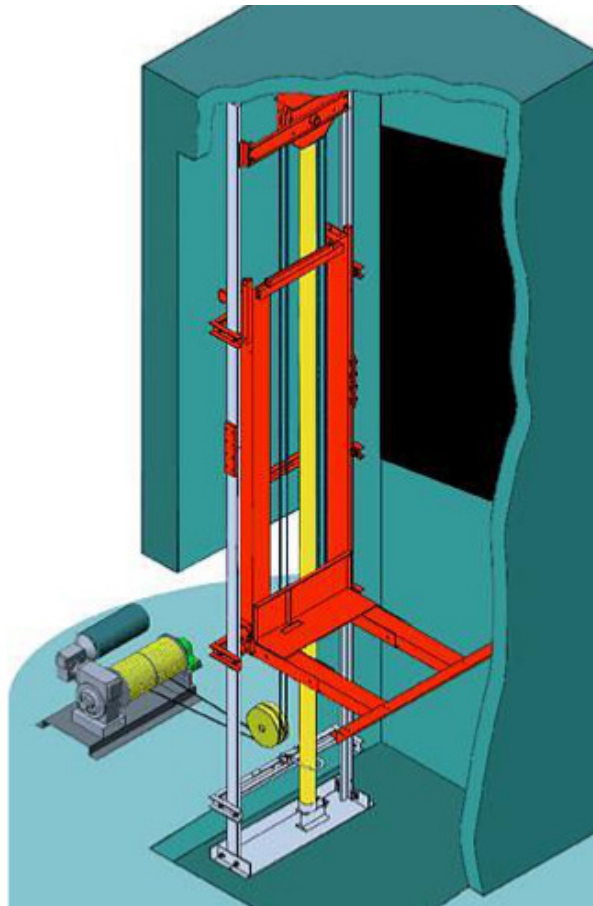
Fonte: Electrical Knowhow, 2013.

2.2.3 Máquinas de tração direta com tambor

As máquinas que utilizam sistema de tração do tambor têm uma extremidade do cabo de aço fixada nele. O sistema permite o cabo enrolar ou desenrolar sobre a superfície externa de sua roldana, dependendo da direção de movimento da cabina (Fig. 5). Neste modelo de

elevador a cabina é movida sem auxílio de contrapeso, isso significa que é necessário um sistema mais robusto para elevar o peso total da cabina em cada ciclo de operação.

Figura 5. Sistema de elevação com tambor.



Fonte: EHLS, 2004.

2.2.4 Princípio de funcionamento

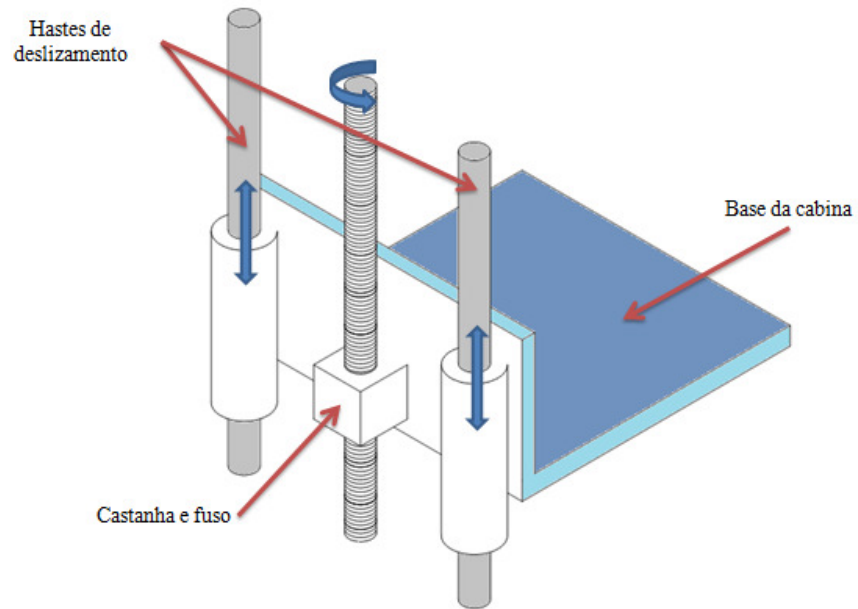
Todos os modelos de elevadores com cabo de aço, com exceção do tambor de tração, se caracterizam pelo seguinte: uma das extremidades do cabo fica fixa na cabina e a outra extremidade fixa no contrapeso, que é o peso igual ao da cabina acrescido de 40% de sua carga. Isto, faz com que o motor não tenha 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 esta operação.

Outros itens em comum são as desvantagens do sistema com cabo de aço. Eles têm sistemas de segurança mais complexos e com custo elevado, principalmente o freio e o sensor que detecta a falta de tração do sistema. O funcionamento deste sistema é complexo, assim como, a obrigatoriedade de espaço para a instalação da casa das máquinas na parte de cima do elevador, gerando limitação física. Também, a necessidade de manutenção e troca periódica dos cabos devido ao desgaste por falta de lubrificação ou possível oxidação. A necessidade de manutenção nos sistemas com redutores porque as engrenagens devem ser fabricadas com material com elevada resistência mecânica elevando o custo. Sistemas sem redução também necessitam de manutenção periódica nos freios, como por exemplo, na roldana (Fig. 3) que tem freio de tambor (PROVENZA, 1996; SHIGLEY e MISCHKE, 2005).

2.3 ELEVADOR ACIONADO POR FUSO

Um elevador acionado por um sistema de fuso se diferencia dos outros modelos principalmente, porque tem menor número de componentes na transmissão (Fig. 6). 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. O elevador não apresenta movimentos de elevação ou recuos nas paradas, devido ao travamento automático gerado pelo atrito do sistema fuso-castanha característico dos perfis quadrado e trapezoidal. Assim, este sistema dispensa o uso de freio no motor. O acionamento do elevador ocorre por meio de moto redutores, motores elétricos, hidráulicos, pneumáticos ou manualmente.

Figura 6. Perspectiva da base do elevador movimentado pelo fuso.



Fonte: Autor, 2017.

3 PROJETO DO ELEVADOR ASSISTIVO

Neste capítulo se definem os parâmetros e restrições exigidos no desenvolvimento deste estudo. Assim como, seguem-se orientações e normas técnicas da ABNT NBR 9050 e especificamente a ABNT NBR 9386-1 que trata da motorização de plataformas de elevação para acessibilidade em espaços urbanos e residenciais.

Apresentam-se o dimensionamento e a especificação do fuso a ser utilizado, assim como, as características e especificação do atuador elétrico. E também, se especificamos acoplamentos elásticos e os rolamentos.

O modelo proposto do elevador assistivo é conforme a Figura 6. Os esboços, a perspectiva dos componentes do elevador, sejam, os suportes das laterais da cabina, o suporte da base da cabina, e a placa traseira da cabina (onde se fixará a castanha e os tubos onde deslizam as hastes do elevador), se apresentam no Anexo B.

3.1 PARÂMETROS DO PROJETO

O dimensionamento do elevador assistivo pessoal segue as normas técnicas segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 9050 (2004): Acessibilidade à edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos; e ABNT NBR 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.

Assim, os primeiros parâmetros a serem considerados são os antropométricos conforme o Módulo de referência (MR) da norma ABNT NBR 9050 (2004), item 4.2.2, que diz: "Considera-se como MR a projeção de $(0,80\text{ m} \times 1,20\text{ m})$ no piso, neste caso igual a $0,96\text{ m}^2$, ocupada por uma pessoa utilizando cadeira de rodas". O MR é a área mínima necessária para a base da cabina do elevador para um cadeirante, mas levando-se em conta a necessidade de mais um acompanhante, a área deve ser modificada segundo o item 9.2.1.2 da norma ABNT ISO 9386-1 (2013), que diz:

- "É recomendado que as dimensões planas do piso da plataforma, para acomodar uma cadeira de rodas padrão ISO, sejam iguais ou maiores que aquelas definidas conforme a Tabela 1"; e
- "A área da base da plataforma não pode ser maior que 2 m^2 ".

Tabela 1. Dimensões mínimas da plataforma.

Uso principal	Dimensões planas mínimas [mm] (largura x comprimento)	Área [m^2]
Quando as portas estão localizadas a 90° entre si (acompanhante ao lado da cadeira de rodas)	1.100 x 1.400	1,54
Acompanhante em pé atrás do usuário em cadeira de rodas	800 x 1.600	1,82
Usuário só, tanto em pé como em cadeira de rodas	800 x 1.250	1,0

Fonte: ABNT ISO 9386-1:2013, p.42

Das orientações dadas pelas normas ABNT e da Tabela 1, adota-se como base do elevador as dimensões, $1,4\text{ m} \times 1,4\text{ m}$. O que corresponde a uma área igual a $1,96\text{ m}^2$, menor que 2 m^2 , conforme requisito, área suficiente e mínima para o deslocamento de um cadeirante mais um acompanhante,

Outros dois fatores importantes para o projeto são adotados, conforme os itens 4.7 e 4.8 da norma ABNT ISO 9386-1 (2013), que diz: "a Velocidade nominal da plataforma deve ser menor ou igual a 0,15 m/s" e a Carga nominal do elevador não poderá ser inferior a 250 kg.

Assim, adotam-se os seguintes parâmetros:

- **Velocidade** do elevador: **0,15 m/s**.
- **Carga** mínima: **250 kg**.
- **Área** da base do elevador: **$1,4\text{ m} \times 1,4\text{ m}$** , igual a **$1,96\text{ m}^2$** .

3.2 DIMENSIONAMENTO DO FUSO

Para o dimensionamento e especificação do fuso se utiliza o Catálogo do fabricante de Fusos trapezoidais A.T.I. (2017), conforme as Tabela 2 e 3, respectivamente. Nota-se, que a Tabela 3 é uma continuação da Tabela 2, na horizontal, onde se ilustram as especificações dos fusos.

Primeiro, adota-se a altura máxima de deslocamento do elevador, como sendo de quatro metros (4m). Isto é, a distância máxima do chão ao teto (comumente denominado “pé-direito”). E depois, considera-se a Capacidade de carga acima de 300 kg, como sendo o peso da estrutura da cabina (aproximadamente 150 kg), acrescida da carga nominal do projeto (250 kg, previsto na norma), i.é., por volta dos 400 kg. Assim, adota-se a **Carga máxima de 440 kg** (Tab. 2).

Tabela 2. Fusos disponíveis e suas características.

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

(Continua)

Da mesma Tabela 2 (sublinhado em vermelho), também se obtém,

Torque máximo de 33,28 Nm. (ou seja, 3,47 kgf.m).

Tabela 3. Dimensões normalmente não variáveis dos fusos.

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

.....

(Continua)

Fonte: Catálogo de Fusos trapezoidais A.T.I. Brasil, 2017.

Também, da Tabela 3 (continuação da Tab. 2), sublinhado em vermelho, tem-se o,

Fuso TR40x7 (Diâmetro = 40 mm, e Rendimento = 0,37)

Portanto, seleciona-se um único Fuso TR40x7, com rosca trapezoidal, o qual satisfaz os requisitos do projeto. E as características dele são,

Diâmetro: 40 mm,

Rendimento: 0,37,

Carga máxima: 440 kg,

Momento torçor necessário na subida: 33,28 Nm, e

Comprimento: 4 m.

Tabela 4. Diâmetro "TR", Comprimento "L", e Peso dos fusos.

CÓDIGO		TR (mm)	Passo (mm)	L (mm)	Peso (kg)
DIREITA	ESQUERDA				
BMTR10X1500	BMTR10X1500SX	10	3	1500	0,67
BMTR12X1500	BMTR12X1500SX	12	3	1500	1,02
BMTR14X1500	BMTR14X1500SX	14	4	1500	1,33
BMTR16X1500	BMTR16X1500SX	16	4	1500	1,80
BMTR18X1500	BMTR18X1500SX	18	4	1500	2,37
BMTR18X2000	BMTR18X2000SX	18	4	2000	3,16
BMTR20X2000	BMTR20X2000SX	20	4	2000	3,90
BMTR25X2000	BMTR25X2000SX	25	5	2000	6,16
BMTR30X2000	BMTR30X2000SX	30	6	2000	8,80
BMTR30X4000	BMTR30X4000SX	30	6	4000	17,60
BMTR36X2000	BMTR36X2000SX	36	6	2000	12,54
BMTR36X4000	BMTR36X4000SX	36	6	4000	26,48
BMTR40X2000	BMTR40X2000SX	40	7	2000	16,14
BMTR40X4000	BMTR40X4000SX	40	7	4000	32,28
BMTR45X2000	BMTR45X2000SX	45	8	2000	20,60

Fonte: Catálogo de Fusos trapezoidais A.T.I. Brasil, 2017.

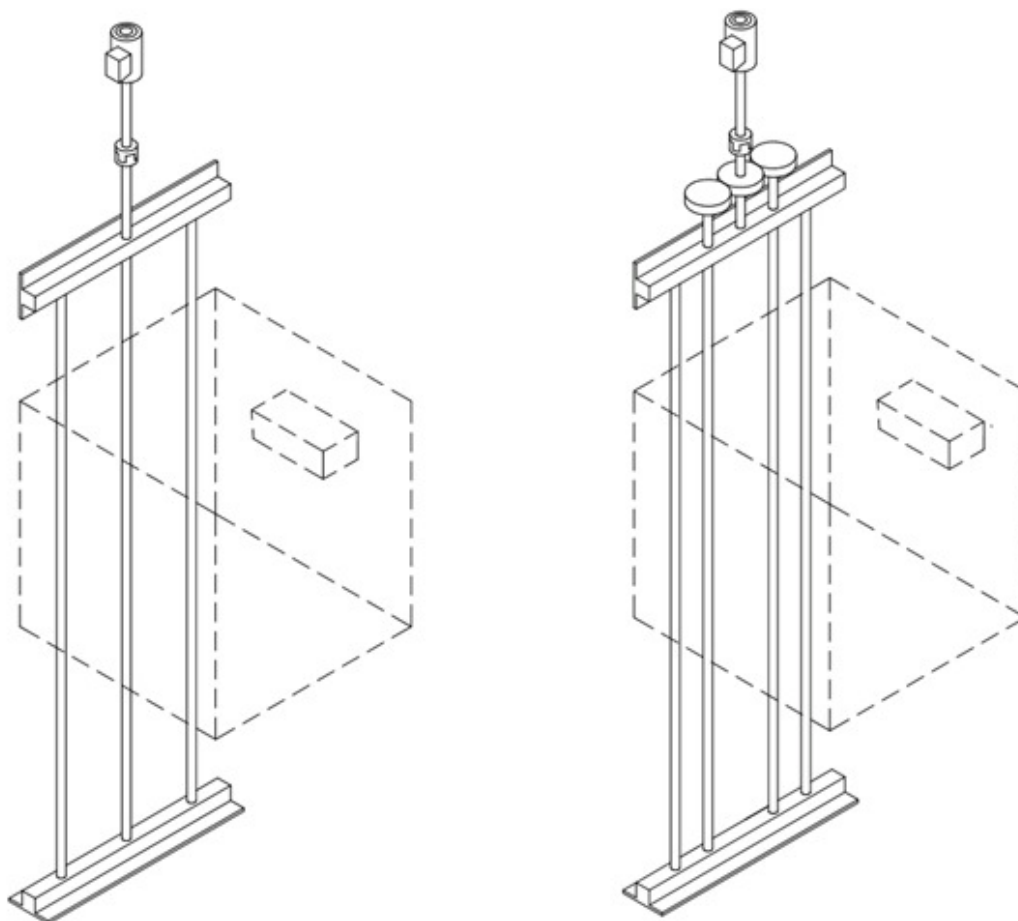
Com o diâmetro do fuso (40 mm) e o Catálogo de Fusos trapezoidais, é possível indicar o Código de compra BMTR40X4000 (sublinhado com vermelho na Tab. 4), o qual tem o sentido da rosca à direita (comumente utilizada) e as especificações: Diâmetro TR = 40mm, Passo = 7mm, Comprimento L = 4m, e Peso = 32,28kg. Estas características atendem os requisitos do projeto. Junto com a Tabela 4, também, se encontram dados da fabricação do fuso especificado, o qual é Aço 11SMnPb37 com resistência de 460 MPa e Dureza HB120.

Também se especifica a Porca ou Castanha para realizar o movimento linear da cabina. Para isto, se utiliza o diâmetro e o passo do fuso especificado. Assim, segundo a norma técnica, a porca deve ser de material com desgaste maior do que o fuso, e por este motivo, seleciona-se o material da porca como sendo, Bronze (CuSn12) UNI 701372.

A principal característica do fuso adotado é o Auto-travamento. O que se verifica segundo a expressão (Norton, 2013): $\mu \geq \left(\frac{La}{\pi \cdot d_p} \right) \cos \alpha$. Onde, o coeficiente de atrito (μ) deve ser maior ou igual ao produto dado pelo avanço La, o diâmetro primitivo d_p , e o ângulo da rosca α . Nota-se, que "o coeficiente de atrito entre fuso e a porca lubrificada por óleo é 0,15±0,05". Substituindo os valores tem-se, $0,15 \geq \left(\frac{7mm}{\pi \times 30,703mm} \right) \times \cos 14,5^\circ$.

Assim, o resultado $0,15 \geq 0,058$ verifica a característica de auto-travamento do fuso especificado.

Figura 7. Desenho de duas propostas utilizando fusos.



Fonte: Autor, 2017.

Outra proposta no sistema de elevação da cabina e que satisfaz os requisitos do projeto, seria a utilização de dois (02) fusos, conforme se mostra no esboço da Figura 7. Este seria um sistema complexo e que requer sincronia elevada na rotação dos fusos. Objetivo um tanto difícil de ser atingido devido às folgas geradas tanto na transmissão com polias ou nas engrenagens entre os dois fusos; e/ou folgas entre cada fuso e as castanhas; assim como, possíveis desalinhamentos dos fusos na montagem.

3.3 DIMENSIONAMENTO DO MOTOR

Para o dimensionamento do atuador se utiliza o Catálogo de motores WEG (2017) junto com os dados que caracterizam o fuso já especificado. Os dados são, a Carga máxima (440kg) dada na Tabela 2 e o Comprimento total (4m) dado na Tabela 4.

Assim, calcula-se o Trabalho realizado na movimentação da carga conforme a seguir,

$$W = f \times d \quad (1)$$

onde,

$$f = \text{Carga máxima} = 440 \text{ kg} * (10\text{m/s}^2) = 4.400\text{N}$$

$$d = \text{Comprimento do fuso} = 4\text{m}$$

$$W = 4.400\text{N} \times 4\text{m} = 17.600\text{Nm}$$

Também, da expressão da Potência mecânica (trabalho realizado na quantidade de tempo),

$$P_{mec} = \frac{f \times d}{t} \quad (2)$$

E os dados da Tabela 4: Comprimento do fuso “ L ”= 4m ,Velocidade= $0,15 \text{ m/s}$, e o Rendimento da transmissão com fuso “ η ”= $0,37$ obtém-se:

O tempo gasto para a porca percorrer o fuso na velocidade dada,

$$t = \frac{4\text{m}}{0,15\text{m/s}} = 27 \text{ segundos} \quad (3)$$

Substituindo o tempo na equação (2) e considerando o rendimento da transmissão, obtém-se,

$$P_{mec} = \frac{17600\text{Nm}}{27\text{s}} = 652 \text{ W}$$

$$P_{mec} = \frac{11\,140\text{W}}{\eta} = \frac{652}{0,37} = 1.763 \text{ W}$$

Assim, a potência do motor é,

$$\frac{1763w}{736} = 2,4 \text{ cv}$$

E o valor mais próximo da potência conforme o catálogo da WEG é 3 cv.

Também, outra forma de se verificar esta especificação, é utilizando a equação a seguir, a qual está em função do Momento torçor necessário para a subida da porca no fuso com a carga máxima ($33,28Nm = 339,4kgf.cm$, Tabela 2), e a rotação do fuso ($217rpm$, Tabela 2), assim,

$$Mt (kgf.cm) = \frac{71.620 \times p (cv)}{r (rpm)} \quad (4)$$

onde,

Mt = Momento torçor no fuso

p = Potência do motor

r = Rotações por minuto do fuso

$$339,4kgf.cm = \frac{71.620 * P}{217}$$

$$P = 1,02 \text{ cv}$$

Considerando-se as perdas na transmissão, com rendimento de 0,37 obtido da Tabela 3:

$$P = \frac{1,02cv}{\eta}$$

obtem-se,

$$P = \frac{1,02}{0,37} = 2,76cv$$

Desta forma, obtém-se novamente um valor próximo a 3 cv.

Portanto, com este valor da potência e usando o Catálogo da WEG, se especifica e seleciona o motor, **Modelo TFVE – B14D** (sublinhado com a cor verde na Tabela 5).

Tabela 5. Características do motor selecionado.

W22 IR2 3 cv 8P 132S 3F 220/380 V 60 Hz IC411 - TFVE - B14D			
DETALHES DO PRODUTO CENTRAL DE DOWNLOADS PRODUTOS RELACIONADOS			
Motores Elétricos			
Carcça	132S	Corrente a vazio	5.40/3.13 A
Potência	2.2 kW (3 HP-cv)	Conjugado nominal	2.48 kgfm
Número de polos	8	Conjugado de partida	200 %
Frequência	60 Hz	Conjugado máximo	229 %
Rotação nominal	865 rpm	Tempo de rotor bloqueado	86s (frio) 48s (quente)
Escorregamento	3.89 %	Momento de inércia (J)	0.0740 kgm²
Tensão nominal	220/380 V	Categoria	N
Corrente nominal	9.36/5.42 A	Classe de isolamento	F
Corrente de partida	55.2/32.0 A	Fator de serviço	1.15
Ip/In	5.9	Elevação de Temperatura	80 K

Fonte: Catálogo de motores WEG, 2017.

Com a Potência obtida de 3cv, especifica-se o motor modelo TFVE – B14D (Tab. 5, e se destacam as características sublinhadas com a cor vermelha:

Conjugado nominal (Torque) = 2,48 kgf.m, o que corresponde a 100%; e
 Conjugado / Torque máximo = 229%

Como a Carga máxima é $33,28Nm = 3,47kgf.m$, o que corresponde à 140% do conjugado, valor que se encontra dentro da faixa de operação e atende muito bem os requisitos do projeto.

Assim, o modelo TFVE – B14D é o motor especificado com as características,

- Potência: 2.2 kW (3 cv);
- Conjugado nominal: 2,48 kgf.m o que corresponde a 100%.
- Torque requerido para a subida do elevador: 3,47 kgf.m resulta em 140%.
- Motor pode gerar um momento torçor máximo de 5,62 kgf.m ou 229%.

3.4 DIMENSIONAMENTO DO ACOPLAMENTO

Para efetuar a transmissão de potência entre o motor e o fuso deve se utilizar acoplamentos, principalmente elásticos, elemento mecânicos que servem para absorver e/ou reduzir sobrecargas e vibrações. Neste desenvolvimento, devem-se absorver cargas causadas na partida ou parada do elevador devido a inércia do sistema. Desta forma, evitam-se danos do fuso, assim como, resistir a um mínimo grau de desalinhamento do sistema. Dentre os vários modelos de acoplamentos no mercado será selecionado o de mandíbula (MADEFLEX, 2017).

Os acoplamentos de mandíbula têm dois cubos (frequentemente idênticos) com mandíbulas salientes. Estas mandíbulas se sobrepõem axialmente e se entrelaçam torcionalmente através de um separador complacente de borracha ou material metálico brando. As folgas permitem desalinhamento axial, angular e paralelo, mas podem também permitir golpes indesejáveis (NORTON, 2013, 4 ed, p. 606).

Conforme o Catálogo de acoplamentos elásticos MADEFLEX GR com garras, Primeiro, selecionar o Fator de serviço F_s em função do tipo de máquina acionadora e a máquina acionada (Tabela 6). Depois, selecionar o Fator de serviço F_t em função do número de horas que a máquina trabalha por dia (Tabela 7). E finalmente, seleciona-se também o Fator de serviço F_p em função do número de partidas por hora (Tabela 8).

Tabela 6. Fator de serviço F_s em função do tipo de máquina acionadora e acionada.

Máquina acionadora, motor de combustão interna, 1 a 3 cilindros				
Máquina acionadora, motor de combustão interna, 4 a 6 cilindros				
Máquina acionadora, motor elétrico, turbina a gás e turbina vapor				
TIPO DE CARGA	TIPO DE MÁQUINA ACIONADA	F_s	F_s	F_s
Leve	Alimentadores, Agitadores, Bombas centrífugas, Compressor de parafuso, Cortadoras de metais, Decantadores, Classificadores, Clarificadores, Dinamômetros, Geradores, Filtros de ar, Máquinas de engarrafar, Ventiladores centrífugos,	1	1,5	2
Moderado	Agitadores, Betoneiras, Bobinadeiras, Compressor de lóbulos, Correias transportadoras, Cozinheiros de cereais, Desbobinadeiras, Eixos de transmissão, Elevadores de carga e canecas, Escadas rolantes, Esticadores, Filtros rotativos e de prensa, Fornos rotativos, Impressoras, Máquinas Ferramentas, Máquinas para madeira, Máquinas para massas, Máquinas Têxteis, Mesa de transferência, Misturadores, Secadores, Puxador de carros, Ventiladores de minas,	1,5	2	2,5
Pesado	Aeradores, Bomba de poço profundo, Bomba para petróleo, Calandras, Cortadora de papel, Descascadores, Desfibradeiras, Desempenadeiras, Dragas, Elevadores de passageiros, Extrusoras, Fornos rotativos, Guinchos, Guindastes, Impressoras, Lavadoras, moinos, máquinas de lavanderia, Moendas, Pontes Rolantes, Pressas, Secadores, Trefiladores, Torres de resfriamento, Transportadores,	2	2,5	3
Muito pesado Alta inércia Inversão de rotação	Basculadores de vagões, Britadores, Bombas alternativas ou recíprocas, Compressores alternativos ou recíprocos, Geradores para solda, Laminadoras, Máquina de fabricação de pneus, Misturadores de borracha, Peneira vibradora, Trituradores,	2,5	3	3,5

Fonte: Catálogo de acoplamentos elásticos MADEFLEX GR com garras, 2017.

Tabela 7. Fator de serviço F_t em função do número de horas que a máquina trabalha por dia.

Nº de horas de trabalho por dia	F_t
≤ 2	0,9
3 - 12	1
13 - 16	1,1
17 - 24	1,2

Fonte: Acoplamentos elásticos MADEFLEX GR com garras, 2017.

Tabela 8. Fator de serviço F_p em função do número de partidas por hora.

Nº de partidas por hora	F_p
< 5	1,0
5 - 20	1,2
20 - 40	1,3

Fonte: Acoplamentos elásticos MADEFLEX GR com garras, 2017.

Estes fatores de serviço, dados nas Tabelas 6, 7, e 8, respectivamente, são utilizados no Fator de serviço F_c dada pela equação, $F_c = F_s \cdot F_t \cdot F_p$.

Depois, na Tabela 9, seleciona-se e especifica-se o acoplamento, com a potência do motor (cv) e com o Fator de serviço (F_c) calculado: $F_c = 2 \times 0,9 \times 1 = 1,8$

Na Tabela 9, referente ao motor com 08 polos, o valor do fator de serviço F_c está entre 1,5 e 2. Assim, escolhe-se o valor $F_c=2$, e junto com a potência do motor $3cv$, adota-se o acoplamento **GR 82**, conforme sublinhado em vermelho (Tab. 9).

Tabela 9. Fator Seleção de Acoplamentos tipo MADEFLEX GR.

Motor 860 rpm – 8 Pólos					
Menor acoplamento para acomodar o eixo do motor					
Motor Cv	Fator de serviço Fc				
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
0,25	GR 50	GR 50	GR 50	GR 50	GR 50
0,33	GR 50	GR 50	GR 50	GR 50	GR 50
0,50	GR 67	GR 67	GR 67	GR 67	GR 67
0,75	GR 67	GR 67	GR 67	GR 67	GR 67
1,00	GR 67	GR 67	GR 67	GR 67	GR 67
1,50	GR 67	GR 67	GR 67	GR 67	GR 82
2,00	GR 67	GR 67	GR 67	GR 82	GR 82
3,00	GR 82	GR 82	GR 82	GR 82	GR 82
4,00	GR 82	GR 82	GR 82	GR 97	GR 97
5,00	GR 82	GR 82	GR 97	GR 97	GR 97
6,00	GR 97	GR 97	GR 97	GR 97	GR 97
7,50	GR 97	GR 97	GR 97	GR 97	GR 112
10,0	GR 97	GR 97	GR 112	GR 112	GR 112

Fonte: Acoplamentos elásticos MADEFLEX GR com garras, 2017.

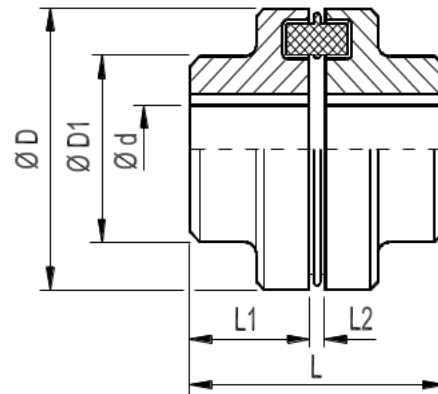
Entretanto, da Tabela 10 e a Figura 8, observa-se que as dimensões do acoplamento adotado GR 082 tem diâmetro $\varnothing_{m\acute{a}x}=38mm$. E o diâmetro do fuso já especificado é igual a $40mm$. Assim, adota-se o **Modelo de acoplamento GR 097**, o qual aceita diâmetros até, $\varnothing_{m\acute{a}x}=45mm$, e, portanto, satisfaz os parâmetros do projeto já especificados.

Tabela 10. Dimensões dos Acoplamentos tipo MADEFLEX GR.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	D	D1	$\varnothing_{m\acute{a}x}$	L	L1	L2	Torque Nominal kgf•m	rpm máx.
9.15	GR 050	50	33	22	54	26	$2,0 \pm 0,5$	2,3	12500
9.16	GR 067	67	46	30	64,5	31	$2,5 \pm 0,5$	4,0	10000
9.17	GR 082	82	57	38	85	41	$3,0 \pm 1,0$	9,0	8000
9.18	GR 097	97	68	45	105	51	$3,0 \pm 1,0$	18,9	7000
9.19	GR 112	112	79	50	125,5	61	$3,5 \pm 1,0$	30,0	6000
9.20	GR 128	128	90	60	145,5	71	$3,5 \pm 1,0$	48,2	5000
9.21	GR 148	148	107	70	165,5	81	$3,5 \pm 1,0$	75,0	4500

Fonte: Acoplamentos elásticos MADEFLEX GR com garras, 2017.

Figura 8. Dimensões cotadas junto ao acoplamento tipo MADEFLEX GR.



Fonte: Acoplamentos elásticos MADEFLEX GR com garras, 2017.

Desta forma, pode-se solicitar à fabricante a entrega do fuso especificado com uma extremidade com $\varnothing=45mm$ e rasgo de chaveta de $51mm$. Outra solução poderia ser sextavar a extremidade do fuso e utilizar um acoplamento com furo sextavado, e assim, evitar a chaveta, isto é, predefinir a forma sextavada do conjunto eixo-acoplamento.

3.5 DIMENSIONAMENTO DO ROLAMENTO

Para especificar o rolamento, utiliza-se o Catálogo geral de rolamentos (NSK, 2017) junto da equação da Capacidade de carga básica C dado por,

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

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, obtém-se a Carga máxima que atuará no rolamento axial, a qual é dada pela carga máxima do fuso ($440kg$, Tab. 2) mais o peso do fuso ($32,28kg$, Tab. 4), sendo o total igual a $4.722N$. O Coeficiente de vida fh é obtido da Tabela 11 em função da aplicação, conforme destacado em vermelho, sendo neste caso adotado o valor 4. O Coeficiente de velocidade fn é determinado a partir do número de rotações máxima do fuso 217 rpm (Tab. 2) e o tipo de rolamento de esferas (Tab. 11), sendo aproximadamente o valor de $fn=0,55$.

Tabela 11. Coeficientes de Vida f_h e de Velocidade f_n .

Condições de Trabalho	Valores de f_h e Aplicações			
	~3	2~4	3~5	4~7
Uso esporádico ou curto período	<ul style="list-style-type: none"> Pequenos motores para aspiradores e máquinas de lavar domésticos Ferramentas elétricas 	<ul style="list-style-type: none"> Máquinas agrícolas 		
Uso ocasional mas requer funcionamento seguro		<ul style="list-style-type: none"> Motores para aparelhos de ar condicionado doméstico Máquinas de construção civil 	<ul style="list-style-type: none"> Roletes de correias transportadoras Elevadores 	

n f_n
(rpm)

300 — 0,5
200 —
150 — 0,6

Rolamento de Esferas

Fonte: Catálogo geral de rolamentos NSK, 2017.

Assim, obtém-se a Capacidade de carga dada por,

$$C = \frac{4 \times 4722}{0,55} = 34348N$$

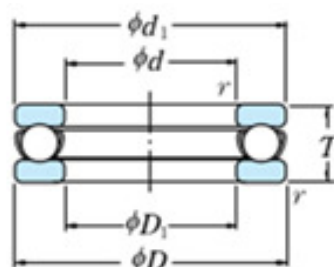
Tabela 12. Medidas de referência do Rolamento axial de esferas.

d	Dimensões (mm)					Capacidade de Carga Básica (N) {kgf}				Limite de Rotação (rpm)		Com Assento Plano
	D	T	T_3	T_4	r mín.	C_a	C_{0a}	C_a	C_{0a}	Graxa	Óleo	
40	60	13	—	—	0.6	27 100	63 000	2 770	6 400	3 600	5 300	51108
	68	19	20.3	23	1	47 500	98 500	4 850	10 000	2 800	4 300	51208
	78	26	28.5	31	1	70 000	135 000	7 100	13 700	2 200	3 400	51308
	90	36	38.2	42	1.1	103 000	188 000	10 500	19 100	1 700	2 600	51408

Fonte: Catálogo geral de rolamentos NSK, 2017.

Com a Capacidade de carga (34.348N) mais o diâmetro interno (40mm), conforme Tabela 12 e a Figura 9, respectivamente, especifica-se o **Rolamento axial de esferas 51208**, o qual apresenta capacidade de carga o suficiente para atender os requisitos do projeto.

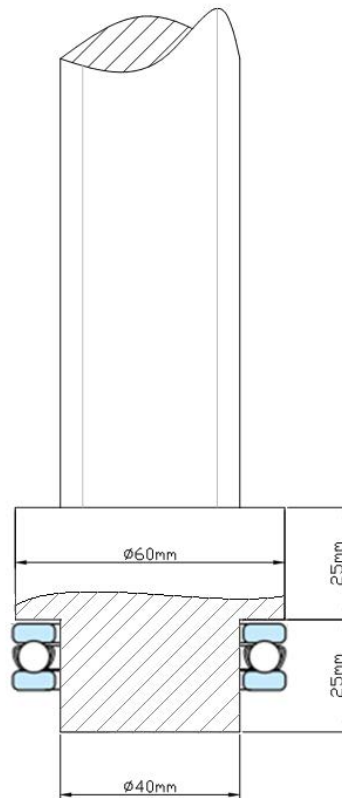
Figura 9. Desenho em corte do Rolamento axial de esferas.



Fonte: Catálogo geral de rolamentos NSK, 2017.

A seguir, apresenta-se um esboço da montagem do rolamento axial de esferas na extremidade do fuso, conforme as dimensões especificadas. Os fabricantes fornecem vários formatos para a extremidade do fuso, e a configuração que melhor pode-se adotar no projeto é aquela mostrada conforme a Figura 10.

Figura 10. Desenho da montagem do Rolamento axial de esferas.



Fonte: Autor, 2017.

4 RESULTADOS DA ANÁLISE ESTRUTURAL

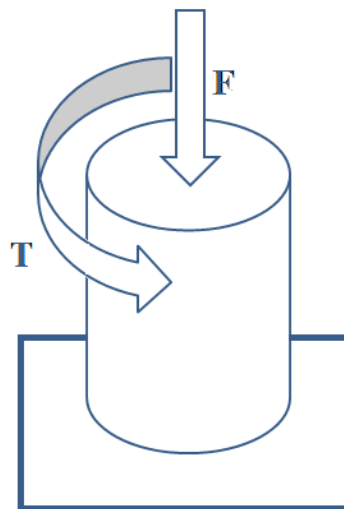
Depois de especificados os componentes mecânicos e equipamentos é realizado um breve estudo estrutural levando em conta os carregamentos na cabina do elevador, verificando os esforços realizados no fuso e o comportamento da base em relação à deflexão.

Utiliza-se o Critério de Falha de *Von Misses* no estudo do fuso e na base da cabina, assim como, verificam-se os resultados com a ferramenta de simulação do *Solidworks* (FIALHO, 2012).

4.1 TENSÕES ATUANTES NO FUSO

O fuso está sujeito a dois tipos de esforços simultaneamente: a compressão gerada pelo carregamento da cabina e a torção gerada pelo motor para o movimento do sistema, conforme o esquema da Figura 11.

Figura 11. Esquema simplificado dos esforços atuantes no fuso.



Fonte: Autor, 2017.

A tensão de compressão é calculada a partir dos dados carga máxima 440 kg e peso do fuso $32,28\text{ kg}$, conforme tabelas apresentadas. Assim, utiliza-se a equação a seguir,

$$\sigma_{\text{compressão}} = \frac{4 \times F}{\pi \times d^2} \quad (6)$$

Onde,

F = forças de compressão (carga mais peso próprio fuso);

d = diâmetro do fuso.

$$\sigma_y = \frac{4 \times 4722,8N}{\pi \times (0,04m)^2}$$

$$\sigma_y = -3,8 \text{ Mpa}$$

A tensão de cisalhamento (τ) é obtida substituindo o maior momento torçor realizado no fuso na equação 7, que ocorre na subida da carga especificado na tabela do fabricante com o valor de $33,28 \text{ Nm}$.

$$\tau_{xy} = \frac{16 \times T}{\pi \times d^3} \quad (7)$$

Onde,

T = momento torçor atuante no fuso;

d = diâmetro do fuso.

$$\tau_{xy} = \frac{16 \times 33,28Nm}{\pi \times (0,04m)^3}$$

$$\tau_{xy} = 2,7 \text{ MPa}$$

Se utilizam os valores obtidos da tensão de compressão (σ_y) no eixo y, e a tensão de cisalhamento (τ_{xy}) no plano xy, para determinar as tensões máximas (BEER e JOHNSTON, 1999), conforme a equação a seguir,

$$\sigma_1, \sigma_2 = \left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + (\tau_{xy})^2} \quad (8)$$

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{-3,8}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{-3,8}{2} \right)^2 + (2,7)^2}$$

$$\sigma_1 = 1,4 \text{ MPa e } \sigma_2 = -5,2 \text{ MPa}$$

Considerado o Critério de Falha de *Von Misses*, da Máxima Energia de Distorção (SHIGLEY e MISCHKE, 2005), tem-se:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 - (\sigma_1 \times \sigma_2) + \sigma_2^2} \quad (9)$$

$$\sigma' = \sqrt{1,4^2 - (1,4 \times -5,2) + 5,2^2}$$

$$\sigma' = 6 \text{ MPa}$$

Após calcular a tensão de *Von Misses* obtém-se o Fator de segurança do fuso, onde *Se* é a tensão de escoamento do material fornecido pelo fabricante e *n* é o fator de segurança. Assim:

$$\sigma' = \frac{Se}{n} \quad (10)$$

$$n = \frac{460 \text{ MPa}}{6 \text{ MPa}} = 76,7$$

Portanto, o resultado mostra que o elevador será operado com margem de segurança o suficiente, relacionado aos esforços no fuso, e em operações normais de funcionamento.

4.2 DEFLEXÃO NA CABINA

Apresenta-se um breve estudo relacionado com a deflexão da base da cabina, a qual pode ocorrer devido aos esforços atuantes no elevador. Assim, da Mecânica dos Materiais sabe-se que, quando uma viga com eixo longitudinal reto está sujeita a esforços laterais, o eixo pode-se deformar e se denomina, curva de deflexão da viga (GERE e GOODNO, 2010).

Assim, como se considera a base da cabina como uma viga engastada e em balanço, é necessário verificar a deflexão durante o carregamento.

As deflexões nas vigas, além das tensões e das deformações devem fazer parte das considerações básicas em suas análises e dimensionamento. Uma viga pode ser forte o suficiente para carregar uma gama de carregamentos estáticos ou dinâmicos, mas se ela deflexiona demais ou vibra sobre carregamentos aplicados, ela falha no quesito "utilidade" (GERE e GOODNO, 2010).

Para efeitos de simulação e análise estrutural se utiliza o *software Solidworks* (FIALHO, 2012). Também se utiliza como material as propriedades da Liga de Aço 1020 (Tabela 13), conhecido comercialmente como *Metalon*. Assim como, se aplica na base da cabina em repouso o carregamento de 250 kg, e desta forma obtêm-se as tensões resultantes na estrutura.

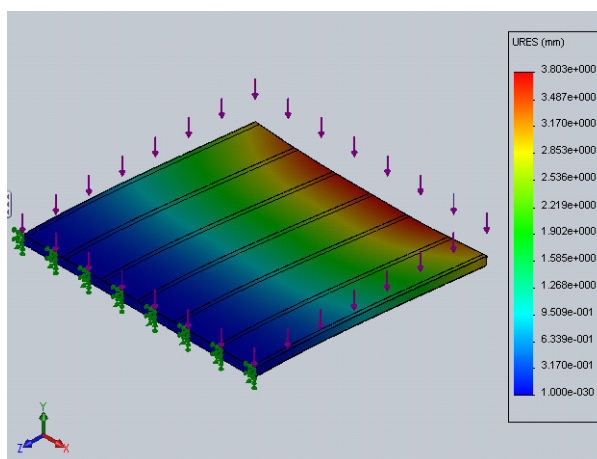
Tabela 13. Propriedades do material, Aço 1020.

Nome da propriedade	Valor	Unidades
Módulo elástico	2e+011	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.29	NA
Módulo de cisalhamento	7.7e+010	N/m ²
Massa específica	7900	kg/m ³
Resistência à tração	4.2051e+008	N/m ²
Limite de escoamento	3.5157e+008	N/m ²
Coefficiente de expansão térmica	1.5e-005	/Kelvin
Condutividade térmica	47	W/(m.K)
Calor específico	420	J/(kg.K)

Fonte: Autor, 2017.

Como esperado, observa-se que quanto maior o número de elementos de barras de *Metalon* com perfil retangular (50mm x 30mm) afixadas na base da cabina, menor a deflexão das extremidades, opostas ao engastamento das barras. Assim, por tentativas decide-se adotar um número de sete (07) barras na base da cabina, e mesmo assim, observa-se que ocorre uma deflexão de 3,80mm (Figura 12).

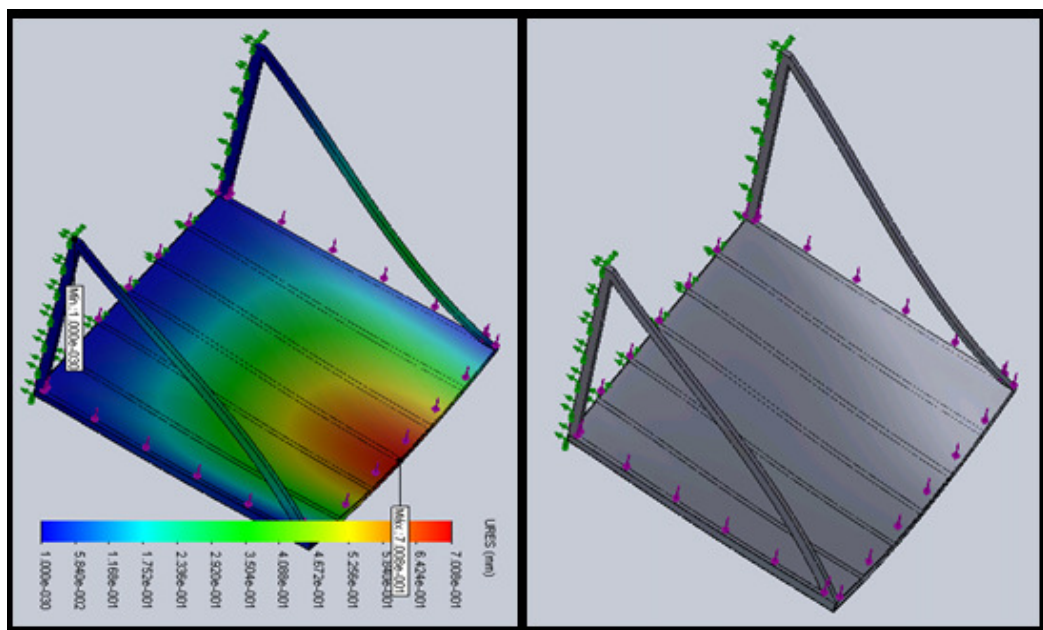
Figura 12. Simulação e deflexão na base da cabina.



Fonte: Autor, 2017.

Destaca-se que quanto mais elementos de barras na base, maior será o peso da cabina. E a carga máxima no fuso não pode passar de 440 kg, conforme especificações. Assim, a solução foi adicionar à base, duas barras verticais de *Metalon* aumentando a área de fixação da base da cabina (Suporte lateral da cabina, Fig. B2, Anexo B). Observa-se que, as hastes de deslizamento em conjunto com o fuso auxiliam e restringem a deflexão da extremidade da cabina (Fig. 13).

Figura 13. Base da cabina modificada durante simulação.



Fonte: Autor, 2017.

Tabela 14. Deslocamento na cabina durante simulação.

Tipo	Min	Local	Máx.	Local
URES: Deslocamento resultante	0 mm	(-79.5731 mm, -46.1554 mm, 5 mm)	0.700762 mm	(670.451 mm, -149.355 mm, -1499.42 mm)

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 15. Propriedades da base e material utilizado.

Material	Massa	Volume
AISI 1020	133.951 kg	0.0169559 m ³

Fonte: Autor, 2017.

As modificações realizadas na base da cabina, e da simulação usando o material especificado, resultam em um deslocamento (deflexão) próximo de $0,7\text{ mm}$, conforme a Tabela 14.

A massa para a base da cabina, utilizando Aço 1020, é de aproximadamente 134 kg (Tabela 15). Considerando o carregamento da cabina: $250\text{ kg} + 134\text{ kg} = 384\text{ kg}$, equivalente a $87,3\%$ do limite máximo do fuso de 440 kg .

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O objetivo deste estudo que consiste no dimensionamento de um elevador assistivo de uso pessoal (ABNT NBR ISO 9386-1) para pessoas usuárias de cadeira de rodas, e que seja de fácil aquisição por parte da população de baixa renda foi atendido. O elevador assistivo é operado por um motor elétrico o qual utiliza um sistema de fuso e castanha. Todos os componentes mecânicos do elevador assistivos foram especificados segundo normas técnicas. Também, tem-se realizado uma análise estrutural da base da cabina usando *software* de Elementos Finitos (EF). E a altura máxima para o qual este elevador será utilizado são quatro metros (4m) e somente serão utilizados por um usuário de cadeira de rodas junto de um acompanhante.

O estudo atende a proposta inicial que consiste em conceber um elevador assistivo seguro e com custo acessível à população (Anexo A), contribuindo com a redução de barreiras impostas as PcD. Apresentam-se as vantagens deste projeto e entre as principais está o fato do elevador assistivo pessoal para usuários de cadeiras de rodas ser simples, seguro e de fácil manutenção.

O único elemento com manutenção e inspeção periódica é a Porca como prevista na norma técnica, a qual protege o fuso e sofre desgaste, entretanto, pode ser trocada. Outro fator que se destaca neste elevador 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.

Junto da análise estrutural realizada com o *software SolidWorks* foi obtida uma estimativa da massa da cabina, o que justifica o material de construção a ser utilizado. E verifica a importância destes fatores na especificação da carga máxima do fuso e o custo de produção relacionado aos tubos utilizados na estrutura da cabina. Existe a possibilidade de uso de outros materiais, tais como, alumínio, plástico ou acrílico na construção da cabina tendo em vista a redução de peso que restringe o torque e a potência necessária para a movimentação do elevador.

Também se evidencia que o preço de fabricação e instalação do elevador se mostra competitivo, conforme a estimativa do orçamento (Anexo A), visto os custos elevados dos possíveis concorrentes.

Para trabalhos futuros propõe se:

- O estudo de um circuito de controle auxiliar para o caso de falta de energia seguindo as normas ABNT. Este circuito teria a capacidade de verificar a parada anormal do

elevador, e através de uma bateria realizar o retorno automático do elevador ao primeiro andar, evitando incomodo aos usuários.

- O estudo por meio da teoria dos elementos finitos na estrutura da cabina, a qual poderia utilizar Liga de Alumínio ao invés de Aço 1020, com intuito de obter aumento de resistência mecânica e redução de peso da cabina.
- O estudo de viabilidade de projeto utilizando um conjunto de fuso com esferas, para a redução tanto do atrito na transmissão e da potência do motor. Entretanto, este fuso não teria a característica do auto-travamento. Tendo a necessidade de desenvolvimento do freio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050**: acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9386-1**: 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, 2013.

ATI BRASIL. **Artigos técnicos industriais**. Disponível em: <<http://www.atibrasil.com.br/categoria-produto/fusos-e-porcas-trapezoidais/barras-rosca-trapezoidal>>. Acesso em: 08 ago. 2017.

BEER, F. P.; JOHNSTON JUNIOR, E. R. **Mecânica vetorial para engenheiros**: estática. 5. ed. Rio de Janeiro: Makron Books, 1999. 793 p.

BERSCH, R. **Introdução à tecnologia assistiva**. Disponível em: <http://www.cedionline.com.br/artigo_ta.html>. Acesso em: 04 set. 2017.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Legislação brasileira sobre pessoas portadoras de deficiência**. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 2013.

COHEN, R.; DUARTE, C. R. Segregação e exclusão socio-espacial: a questão dos portadores de deficiência física. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR, 4., 1995, Brasília. **Anais...** Brasília: ANUPUR, 1995.

CONCORD ELEVATOR. **Stairlifts and chairlifts**. Disponível em: <<http://www.concordelevator.com>>. Acesso em: 04 set. 2017.

DUARTE, C. R.; COHEN, R. Afeto e lugar: a construção de uma experiência afetiva por pessoas com dificuldade de locomoção. In: SEMINÁRIO ACESSIBILIDADE NO COTIDIANO. 2004, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.proacesso.fau.ufrj.br/artigos/afeto%20e%20acesso%20%20acessibilidade%20no%20cotidiano.pdf>>. Acesso em: 06 set. 2017.

EHLS. **Elevators, lifts, accessibility**. Disponível em: <<http://www.tothetopelevators.com/residential-elevators-lifting-systems>> Acesso em: 08 ago. 2017

ELECTRICAL. **Knowhow**. Disponível em <<http://www.electrical-knowhow.com/2012/04/elevator-machine-and-drive-system.html>> Acesso em: 08ago. 2017

FIALHO, A. B. **SolidWorks Premium 2012**: teoria e prática no desenvolvimento de produtos industriais. São Paulo: Érica, 2012.

FRENCH, T.E. **Desenho técnico e tecnologia gráfica**. 7.ed. São Paulo: Globo, 2002. 1094 p.

GARAVENTA. **StairLiftc:** inclined platform Disponível em <<http://www.garaventa.ca>>. Acesso em 05 fev. 2017

GERE, J. M.; GOODNO, B. J. **Mecânica dos materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2010. 862 p.

MADEFLEX. **Acoplamento.** Disponível em: <<http://pt.scribd.com/document/328396633/Catalogo-Acoplamento-MADEFLEX>> Acesso em: 10 mar. 2017.

MONTELE ELEVADORES. **Elevadores e normas de acessibilidade.** Disponível em: <<http://www.montele.com.br>> Acesso em: 05 fev. 2017.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas**. Rio de Janeiro: Bookman Editora, 2013. 1017 p.

NSK - Motion and Control. **Rolamentos.** Disponível em: <[http://www.nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK\(1\).pdf](http://www.nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK(1).pdf)>. Acesso em: 10 fev. 2017.

PROVENZA, F. **Projeto de máquinas**. 71. ed. São Paulo: Pro-tec, 1996.

ROSADO, V. O. G. 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, 32., 2004, Brasília. **Anais...** Brasília, 2004.

ROSADO, V. O. G.; GUIMARÃES FILHO, A. C. Concepção preliminar de uma plataforma de acessibilidade para usuários de cadeira de rodas. In: WORKSHOP COOPERAÇÃO UNIVERSIDADE EMPRESA, 3., 2007, Taubaté. **Anais...** Taubaté: UNITAU, 2007.

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R. **Projeto de engenharia mecânica**. Rio de Janeiro: Bookman, 2005, 982 p.

WEG. **Motores.** Disponível em: <<http://www.weg.com.br>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

ANEXO A. Custos dos componentes e equipamentos.

Apresenta-se o valor total estimado do elevador assistivo.

Mostram-se na Figura A1 e na Tabela A2, o valor total aproximado dos equipamentos, componentes e peças necessárias para a montagem, por volta dos R\$ 7.000,00 (sete mil reais). Nesta conta, deve-se considerar ainda o custo da mão de obra para a alvenaria, instalação e construção da cabina que estaria por volta dos R\$ 3.000,00 (três mil reais). Sendo assim, o valor total aproximado do elevador assistivo estaria por volta dos R\$ 10.000,00 (dez mil reais).

Figura A1. Imagens retiradas e editadas dos pedidos de orçamento.



**FUSO TRAPEZOIDAL P.7
TR40X4000 SX**

R\$ 2.310,00

FUSO TRAPEZOIDAL | Passo 7 TR40 SX



Tubo retangular metalon 50 x 30 2,65 fina quente (6mts)

Marcas: **Aladim - Metalon**
Modelo: **4050100**
Disponibilidade: **estoque permanente**
Referência: **4050100**

Por:
R\$ 93,36

Seq	Qtde	Un	Descrição	Vlr.Unit.	Vlr.Total	NCM	Prev.Entrega
1	1,000	UN	W22 IR2 3CV 8P 2T B3D 132S IP55 W22 MOTOR ELETRICO TRIFASICO 3 CV 08 132S 220/380 C/ 6 TERM 60HZ B3D IP55 IE2 ALTO RENDIMENTO W22 REFRIGERACAO: TFVE TOTAL F ECH VENTIL EXTERNA PLANO DE PINTURA: 207A COR ACABAMENTO: RA L 5009 APLICACAO MOTOR: W22 CHAVETA: CHAVETA A DRENO: DRENO BORRACHA AUTOMATICO MATERIAL EIXO: ACO CARBONO SAE 1040/45 T IPO E FORMA BALANCEAMENTO: NORMAL 1/2 CHAVETA SENTIDO DE ROT ACAO: AMBOS TIPO GRAXA: MOBIL POLYREX EM MATERIAL INVOLUCRO: FERRO MATERIAL VENTILADOR: PLASTICO TIPO ATERRAMENTO: INTER	2.382,57	2.382,57	85015210	Imediato



**INVERSOR ABB ACS150-01E-09A8-2 (2,2KW-3CV-
220V) - 68581991**

- Inversor de frequência CA/CA microprocessado com tecnologia de controle e modulação por largura de pulso (PWM) e controle PID;
- Alimentação monofásica 200/240V, saída trifásica 200/240V;
- Potência elétrica: 3CV ou 2,2kW;
- entrada fixa com iluminação interna, para sua parametrização;
- 1 entrada analógica programável (tensão/corrente);
- 5 entradas digitais programáveis: 0-12-24 V.C.C. (NPN ou PNP);
- 1 saída a rede programável;
- Possui filtro EMC incorporado para aplicações em ambiente industrial.

R\$ 1.526,79

Fonte: Autor, 2017.

Tabela A1. Custos dos equipamentos (R\$).

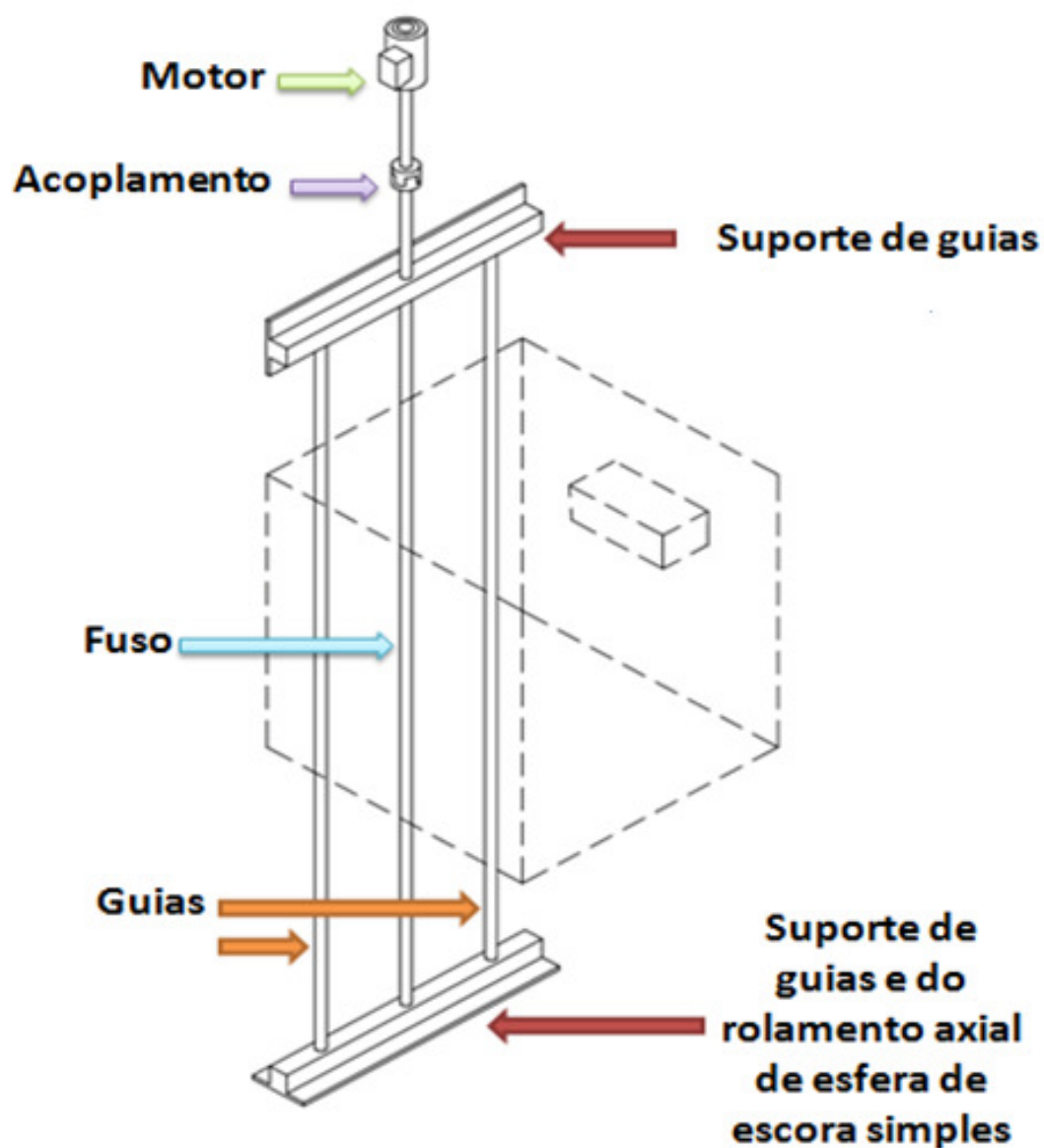
Equipamento	Motor	Inversor	Tubos Metalon	Fuso	Total
Custo	2.382,57	1.526,79	933,6	2.310	6.312,72

Fonte: Autor, 2017.

ANEXO B. Desenhos técnicos do elevador assistivo.

Apresentam-se a seguir, a perspectiva do elevador, assim como, os desenhos e dimensões dos componentes e suporte da cabina (FIALHO, 2012).

Figura B1. Perspectiva esquemática do elevador assistivo.



Fonte: Autor, 2017.

Figura B2. Perspectiva do suporte lateral da cabina.

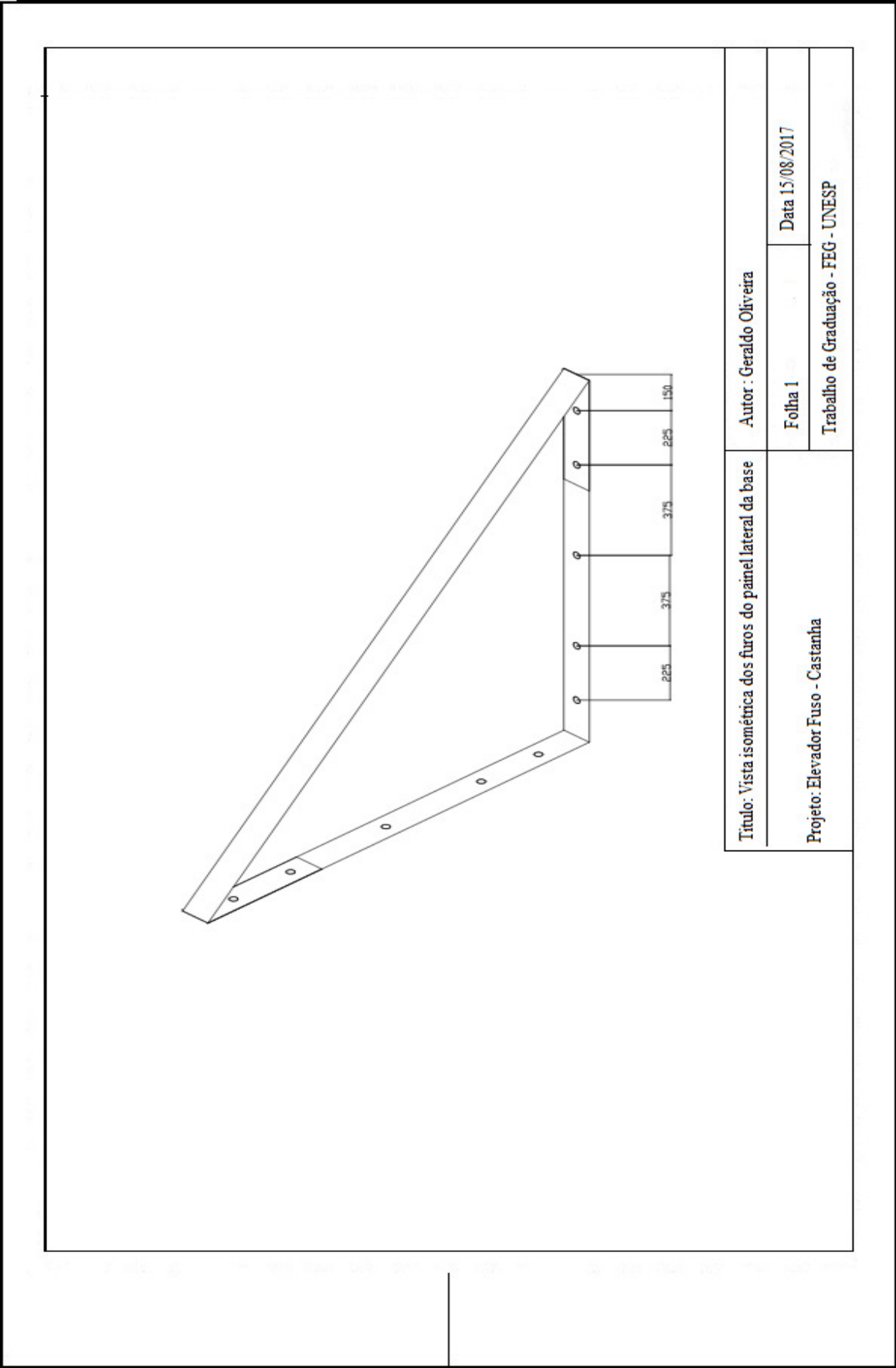


Figura B3. Vistas do suporte da base da cabina.

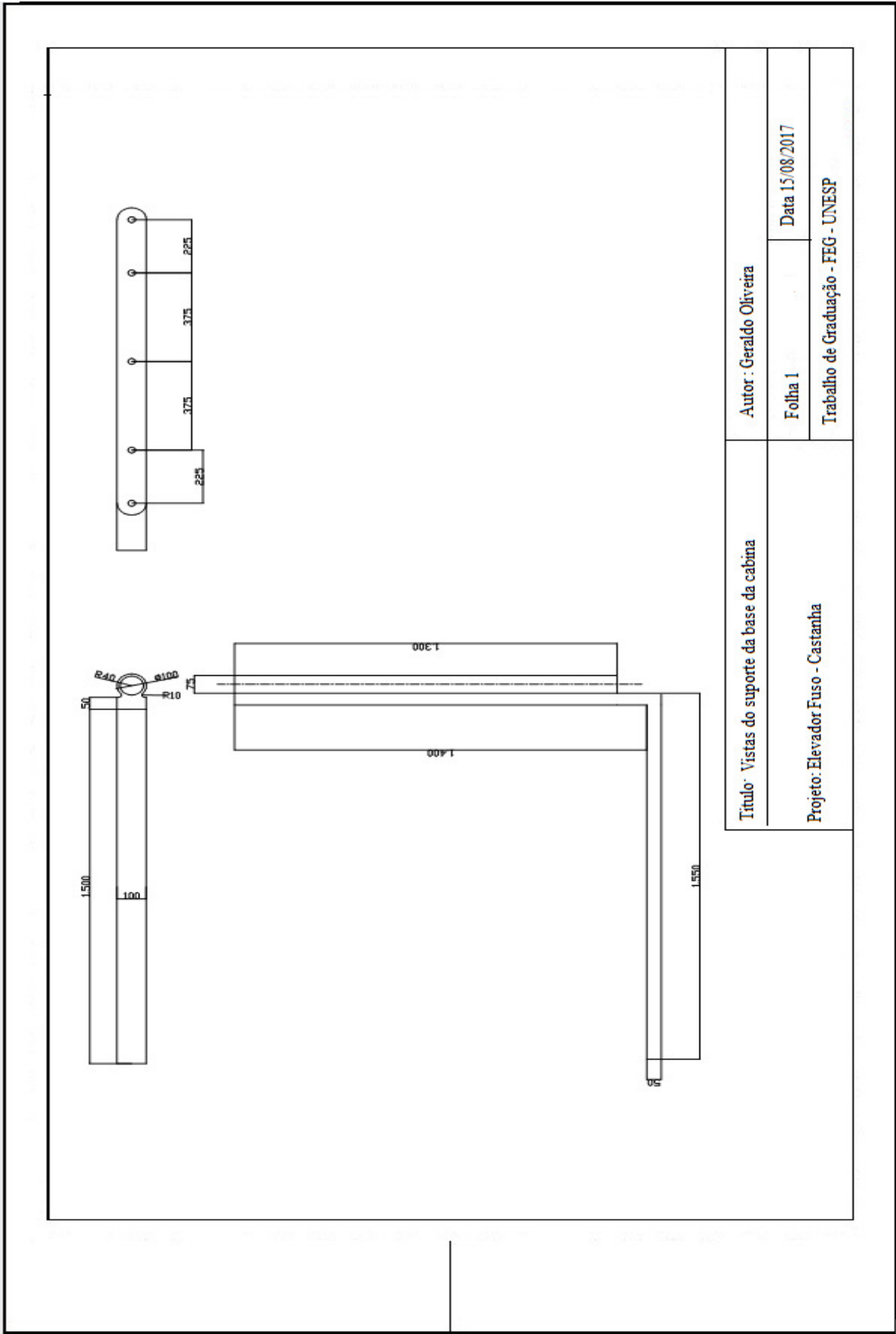


Figura B4. Placa traseira para suporte da cabina.

