

**UNIVERSIDADE IGUAÇU  
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**GLEICON DURÃES AZEVEDO**

**PROJETO DA ESTRUTURA DE UM ELEVADOR MONTA CARGA**

**NOVA IGUAÇU - RJ**

**2020**

**GLEICON DURÃES AZEVEDO**

**PROJETO DA ESTRUTURA DE UM ELEVADOR MONTA CARGA**

Monografia submetida ao Curso de  
Graduação em Engenharia Mecânica, da  
Universidade Iguaçu - UNIG, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Mecânica.  
Orientador: Prof. M. Telmo Viana

**NOVA IGUAÇU - RJ**

**2020**

A994p      Azevedo, Gleicon Durães.

Projeto da estrutura de um elevador monta carga /  
Gleicon Durães Azevedo. - 2020.

106f. : il.

Graduação (Engenharia Mecânica). Universidade  
Iguaçu, Nova Iguaçu, 2020.

Bibliografia: f.: 99-100.

·      Monta-cargas. 2. Elevador de carga. 3. Sistemas  
de  
elevação de carga. I. Título.

CDD 621.877

### **Gleicon Durães Azevedo**

#### **PROJETO DA ESTRUTURA DE UM ELEVADOR MONTA CARGA.**

Monografia submetida à  
Coordenação do Curso de Engenharia  
Mecânica, da Universidade Iguaçu -  
UNIG, com requisito parcial para obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia  
Mecânica.

Data de aprovação: 24/06 /2020.

Banca Examinadora:

Presidente: \_\_\_\_\_

Professor M. Sc. Erick de Sousa Marouço  
Universidade Iguaçu – UNIG

1º. Examinador: \_\_\_\_\_

Professor Orientador M. Sc. Telmo Viana.  
Universidade Iguaçu – UNIG

2o. Examinador: \_\_\_\_\_

Professor M. Sc. Jorge Diniz  
Universidade Iguaçu – UNIG

### **Dedicatória**

Dedico esse trabalho aos meus familiares principalmente a meus pais, minha avó e minha namorada que me deram apoio em todas as escolhas e ajuda financeira para financiar o curso, e por sempre estarem ao meu lado.

Quando pensei em desistir, me incentivaram e me ajudaram a continuar, onde aprendi a compartilhar ensinamentos e aprendizado.

## **Agradecimento**

Primeiramente agradeço a Deus porque se não fosse a mão dele me sustentando até o fim eu não conseguiria, dedico esse trabalho e agradeço aos meus familiares e minha namorada que me incentivaram, motivaram e sempre me apoiaram em meio a tantas dificuldades e me motivaram a não desistir, aos meus amigos que compartilharam comigo esses anos de graduação e me ajudavam compartilhando ensinamentos e companheirismo na profissão e quando pensei em desistir me deram suporte necessário para manter firme até o fim do curso.

ssores e orientador pela paciência e pelos ensinamentos ao longo de todo o curso, onde aprendi muito e foi fundamental na minha formação profissional.

Porque sou eu que conheço os planos que tenho para  
você, diz o Senhor, planos de fazê-los prosperar e  
não de causar dano, planos de dar a você esperança  
e um futuro. Então você clamará a mim, virá orar a  
mim, e eu os ouvirei. Você me procurará e me  
achará quando me procurarem de todo o coração.

Jeremias 29:11-13

## RESUMO

O presente projeto visa à construção de uma estrutura para um elevador de monta-cargas em um armazém industrial, para isso, tem como objetivo o dimensionamento para os principais mecanismos e estruturas necessários a este projeto. O estudo realizado tem como intuito a criação de uma estrutura metálica como cabine para um elevador monta-carga, que pode transportar cargas, facilitar, agilizar e evitar acidentes em um armazém industrial. O presente estudo também tem por objetivo criar uma estrutura da cabine do elevador e conhecer os pontos críticos da estrutura, tais como: cargas a serem suportadas, tensões que irão atuar na estrutura, assim como verificação da tensão nas juntas de solda e dimensionamento de mecanismos de elevação. Com essa finalidade será realizada a modelagem das vigas, das juntas e da composição da estrutura através do software de modelagem inventor para assim ter uma previsão do projeto final. Serão realizados cálculos e simulações numéricas de tensões da própria estrutura e das tensões ocasionadas pelas cargas a serem dispostas sobre toda a estrutura. A análise realizada a partir dessa moldagem e os cálculos, serão realizados na finalidade de responder os objetivos propostos por esse estudo e a concepção do projeto.

***Palavras-Chave:*** Monta-cargas, elevador de carga, sistemas de elevação de carga.

## **ABSTRACT**

The present project seeks to build a structure for a freight elevator in a supermarket shed. For this, it seeks to dimension the major mechanisms and structures necessary for this project. The study aims creating a metallic structure as a cabin for a elevator which can transport cargo, facilitate, speed up and avoid accidents in an industrial shed. The present study also aims to create a structure of the elevator car and to know the critical points of the structure, such as: freights to be supported, voltage that will operate in the structure, as well as checking the voltage in the solder joint and dimensioning mechanisms lifting. Therefore, the beams, joints and structure composition will be modeled using the inventor's modeling software to have a forecast of the final project. Numerical calculations and simulations of voltage of the structure and of the voltage caused by the cargo to be placed over the entire structure will be performed. The analysis performed from this molding and the calculations, will be held for answer the objectives proposed by this study and the design of the project.

Keywords: *freight elevator, load lift, load lifting systems.*

## LISTA DE SIGLAS

A - Área

$A_d$  - área de diâmetro maior do conector

AISC - *American Institute of Steel Construction*

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

$A_T$  - Área da sessão resistente da junta

$A_t$  - área de tensão de tração

$A_w$  - Área efetiva

F - Força

FCAW - *Flux-cored arc welding*

$F_j$  - Força na junta

$F_p$  - Força no parafuso

$F_s$  - Fator de segurança

$F_y$  - Limite de escoamento

GMAW - *Gas Metal Arc Welding*

K - Coeficiente de mola

$K_b$  - Rigidez efetiva

Kg - Kilograma

kN – Kilograma Newton

Ksi - kilopound per square inch

L.S.F - Light Steel Framing

$l_d$  - comprimento da porção sem rosqueamento

$l_t$  - comprimento porção rosqueada

m - Metro

MAG - Metal Active Gas

Mf - Momento fletor

MIG - Metal Inert Gas

MPa - Mega pascal

N - Newton

NBR - Norma Brasileira

R - Abertura da raiz

r - raio do chanfro

SAE - Society of Automobile Engineers

SAW - *Submerged arc welding*

SMAW - Shielded Metal Arc Welding

TIG - tungsten inert gas

$\alpha$  - profundidade de chanfro

$\sigma_a$  - tensão admissível

$\sigma_{eq}$  - Tensão equivalente de Von Mises

$\tau$  - Tensão

$\tau_a$  - Cisalhamento admissível

## **LISTA DE FIGURAS**

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| Figura 1: Elevador Lacerda                    | 8  |
| Figura 2: Elevador Plano inclinado            | 9  |
| Figura 3: Elevador shopping Light-SP          | 10 |
| Figura 4: Esquema de montagem do elevador     | 12 |
| Figura 5: Elevador cabo de aço                | 14 |
| Figura 6: Elevador cremalheira C3             | 15 |
| Figura 7: Comportamento das ligações          | 17 |
| Figura 8: Tipos de Ligação Conforme a Rigidez | 17 |
| Figura 9: Soldagem por Eletrodo               | 19 |
| Figura 10: Soldagem por Arco Submerso         | 20 |
| Figura 11: Solda MIG e TIG                    | 20 |
| Figura 12: Tipos de Soldagem Manual           | 23 |
| Figura 13: Solda de Entalhe                   | 24 |
| Figura 14: Solda Filete                       | 24 |
| Figura 15: Solda Filete (Perna)               | 25 |
| Figura 16: Solda Filete (Garganta)            | 25 |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 17: Solda Filete (Comprimento Efetivo)                      | 25 |
| Figura 18: Folder Thyssenkrupp Corrediça                           | 27 |
| Figura 19: limites fim de curso.                                   | 28 |
| Figura 20: Estrutura da cabine do elevador                         | 33 |
| Figura 21: DCL esforços devido ao peso próprio                     | 37 |
| Figura 22: Gráfico esforço cortante peça 1 devido ao peso próprio. | 39 |
| Figura 23: Gráfico momento fletor peça 1 devido ao peso próprio.   | 40 |
| Figura 24: DCL peça 1 devido a carga.                              | 40 |
| Figura 25: Gráfico esforço cortante peça 1 devido a carga.         | 42 |
| Figura 26: Gráfico momento fletor peça 1 devido a carga.           | 43 |
| Figura 27: DCL peça 2 devido ao peso próprio.                      | 44 |
| Figura 28: Gráfico esforço cortante peça 2 devido ao peso próprio. | 46 |
| Figura 29: Gráfico momento fletor peça 2 devido ao peso próprio.   | 47 |
| Figura 30: DCL peça 2 devido ao peso próprio.                      | 47 |
| Figura 31: Gráfico esforço cortante peça 2 devido a carga.         | 49 |
| Figura 32: Gráfico momento fletor peça 2 devido a carga.           | 50 |
| Figura 33: Gráfico esforço cortante peça 3 devido ao peso próprio. | 53 |
| Figura 34: Gráfico momento fletor peça 3 devido ao peso próprio.   | 54 |
| Figura 35: DCL peça 3 devido a carga                               | 54 |
| Figura 36: Gráfico esforço cortante peça 3 devido a carga.         | 56 |
| Figura 37: Gráfico momento fletor peça 3 devido a carga            | 57 |
| Figura 38: Vista frontal perfil U 3 polegadas                      | 59 |

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| Figura 39: Junção das Peças Soldadas                     | 59 |
| Figura 40: Parâmetros da peça 1                          | 62 |
| Figura 41: Simulação da tensão de Von Mises da peça 1    | 63 |
| Figura 42: Parâmetros da peça 2                          | 64 |
| Figura 43: Simulação da tensão de Von Mises da peça 2.   | 64 |
| Figura 44: Parâmetros da peça 3.                         | 65 |
| Figura 45: Von Mises da peça 3                           | 66 |
| Figura 46: Parâmetros de carga da estrutura da cabine    | 67 |
| Figura 47: Simulação da tensão de Von Mises Estrutura    | 68 |
| Figura 48: Colocação correta de grampos em cabos de aço. | 70 |
| Figura 49: Peça 1                                        | 80 |
| Figura 50: Peça 2                                        | 81 |
| Figura 51: Peça 3                                        | 82 |
| Figura 52: Peça 4                                        | 83 |
| Figura 53: Peça 5                                        | 84 |
| Figura 54: Desenho da estrutura da cabine                | 85 |

### **Lista de tabelas**

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Limite de volume do monta-carga                               | 13 |
| Tabela 2: Compatibilidade do Metal de Base e do Metal de Solda          | 22 |
| Tabela 3: Dados do Projeto.                                             | 28 |
| Tabela 4: Classe de utilização                                          | 29 |
| Tabela 5: Classificação do estado de carga                              | 30 |
| Tabela 6: Classificação da estrutura dos equipamentos                   | 30 |
| Tabela 7: Coeficiente de majoração.                                     | 31 |
| Tabela 8: Coeficiente dinâmico                                          | 32 |
| Tabela 9: Catálogo de Chapas Galvanizadas                               | 34 |
| Tabela 10: Fórmulas para chapas com arestas retas e espessura constante | 35 |
| Tabela 11: Perfis U                                                     | 36 |
| Tabela 12: Propriedades Mecânicas dos Aços Estruturais                  | 36 |
| Tabela 13: Classificação dos Aços para Fins Estruturais Serie ASTM      | 36 |

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| Tabela 14:Tensão Resistente do Metal de Solda | 60 |
| Tabela 15: Classes de funcionamento           | 69 |
| Tabela 16: Grupos de mecanismos               | 69 |
| Tabela 17 : Estados de Solicitação            | 69 |
| Tabela 18: Catálogo de cabos de aço           | 71 |
| Tabela 19: Grupos de mecanismos               | 72 |
| Tabela 20: Grupos de mecanismos               | 73 |
| Tabela 21: Grupos de mecanismos               | 73 |
| Tabela 22: Catálogo de motores elétricos.     | 75 |

## **Sumário**

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 1 INTRODUÇÃO                       | 1  |
| 1.1 Justificativa                  | 3  |
| 1.2 OBJETIVOS                      | 4  |
| 1.2.1 Objetivo Geral               | 4  |
| 1.2.2 Objetivos Específicos        | 5  |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA            | 6  |
| 2.1 Pesquisa normativa             | 6  |
| 2.2 História do elevador           | 7  |
| 2.2.1 O elevador no brasil         | 8  |
| 2.2.2 Tipos de elevadores          | 11 |
| 2.2.2.1 Elevador de passageiro     | 11 |
| 2.2.2.2 Elevadores de carga        | 11 |
| 2.2.2.3 Elevador De Cabo De Aço    | 13 |
| 2.2.2.4 Elevador Tipo Cremalheira  | 14 |
| 2.2.2.5 Elevadores a cintas de aço | 15 |

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| 2.3 Mecanismos de segurança                                  | 16 |
| 2.3.1 Freios                                                 | 16 |
| 2.3.2 Guias                                                  | 16 |
| 2.3.3 Corrediças                                             | 17 |
| 2.3.4 Interruptores limites                                  | 17 |
| 2.4 Estruturas de elevadores de carga                        | 18 |
| 2.5 Tipos de ligações.                                       | 18 |
| 2.5.1 Ligações e Seu Comportamento                           | 19 |
| 2.5.2 Classificação das Ligações                             | 20 |
| 2.5.3 Classificação Segundo a Rigidez                        | 21 |
| 2.5.4 Ligas soldadas                                         | 21 |
| 2.5.4.1 Vantagens e Desvantagens das Ligações Soldadas       | 23 |
| 2.5.4.2 Compatibilidade Entre Material de Soldagem e Metais  | 25 |
| 2.5.4.3 Tipos de Eletrodos de Utilização                     | 25 |
| 2.5.4.4 Tipos de Solda Manual                                | 26 |
| 2.5.4.5 Solda de Entalhe                                     | 26 |
| 2.5.4.6 Solda em Filete                                      | 27 |
| 3 DESENVOLVIMENTO                                            | 30 |
| 3.1                                                          |    |
| Projeto.....                                                 | 30 |
| 3.1.1 Estado de carga das Estrutura:                         | 31 |
| 3.1.2 Classificação dos elementos da estrutura:              | 32 |
| 3.1.3 Coeficiente de majoração:                              | 33 |
| 3.1.4 Coeficiente dinâmico de carga vertical:                | 33 |
| 3.1.5 Tensão admissível:                                     | 34 |
| 3.1.6 Cabine                                                 | 34 |
| 3.1.7 Chapas:                                                | 36 |
| 3.2 Calculo analítico                                        | 37 |
| 3.2.1 Cálculos de Momento Fletor, Esforço Cortante e Tensões | 37 |
| 3.2.2 Análise da peça 1 devido ao peso próprio.              | 39 |

|                                                                            |        |
|----------------------------------------------------------------------------|--------|
| 3.2.2.1 Análise da peça 1 devido a carga.                                  | 42     |
| 3.2.2.2 Verificação contra o escoamento:                                   | 45     |
| 3.2.3 Análise da peça 2 devido ao peso próprio.                            | 46     |
| 3.2.3.1 Análise da peça 2 devido a carga.                                  | 49     |
| 3.2.3.2 Verificação contra o escoamento                                    | 52     |
| 3.2.4 Análise da peça 3 devido ao peso próprio.                            | 53     |
| 3.2.4.1 Análise da peça 3 devido a carga.                                  | 56     |
| 3.2.4.2 Verificação contra o escoamento:                                   | 59     |
| 3.2.5 Vigas da colunas:                                                    | 60     |
| 3.3 Resistência da Ligação Soldada                                         | 60     |
| 3.4 Análise através do método de elementos finitos                         | 63     |
| 3.4.1 Geometria das malhas                                                 | 63     |
| 3.4.2 Análise da tensão por elementos finitos das vigas do fundo da cabine | 64     |
| 3.4.3 Análise de Tensões por elementos finitos na estrutura da cabine      | 68     |
| 3.5 Solicitação devido a carga de serviço:                                 | 70     |
| 3.5.1 Dimensionamento dos mecanismos de elevação                           | 70     |
| 3.5.2 Cabo de aço                                                          | 72     |
| 3.5.3 Dimensionamento das polias:                                          | 74     |
| 3.5.4 Dimensionamento do contra peso:                                      | 75     |
| 3.5.5 Dimensionamento das guias:                                           | 76     |
| 3.5.6 Dimensionamento do motor:                                            | 76     |
| <br>4 CONCLUSÃO                                                            | <br>78 |
| <br>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS                                           | <br>80 |
| <br>6 ANEXO                                                                |        |

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho destina-se ao estudo de uma estrutura para um elevador monta carga, montado a partir de vigas metálicas únicas de tamanhos e formas iguais e seus devidos equipamentos, podendo assim transportar 1000 kg, para atender as mais diversas categorias de armazéns industriais como: supermercados, galpões indústrias, aeroportos, lojas com estoque em outro andar, hospitais, residências e entre outros lugares onde haja necessidade de transporte de mercadorias.

Através da história vemos que sempre houve a necessidade de produzir e melhorar equipamentos de deslocamento sejam eles para cargas ou para pessoas. Hoje em dia possuímos uma grande variedade de tipos e aplicações, indo desde deslocamento de pessoas ao deslocamento de minérios, tanto horizontal, como vertical, e até mesmo em planos inclinados.

Não iremos abordar o deslocamento de fluidos, pois estes incluem aspectos muito diferentes dos propostos pelo tema.

Para o deslocamento horizontal tem equipamentos como: carros, barcos, ônibus, trens para pessoas, caminhões, barcos e trens para cargas, isso apenas falando em transporte de grandes distâncias. Considerando o deslocamento para pequenas distâncias, por exemplo: dentro de um aeroporto, de uma fábrica, um shopping ou até mesmo um canteiro de obras temos poucas opções para pessoas como esteiras rolantes, por exemplo, e para cargas: esteiras, empilhadeiras, pontes rolantes, pórticos, guindastes, etc. Quando tratamos de deslocamento vertical, o que vem logo a mente são os elevadores, sejam eles de cargas em edifícios (garagem) e indústrias, ou de pessoas (edifícios residenciais e comerciais). No entanto, para deslocamentos verticais de cargas, também temos os guindastes, pórticos, pontes rolantes, etc.

O elevador de carga foi concebido pela necessidade de instalação de elevadores em galpões, tanto para agilidade de estoque, quanto para a segurança e saúde física de seus colaboradores.

Este projeto tem o intuito de dimensionar essa estrutura do elevador visando, alcançar a necessidade de transporte. De modo a tais objetivos sejam alcançados, serão analisadas as tensões nas vigas da cabine na totalidade para saber o peso total da estrutura sendo aqui dimensionado para suportar 1000 kg, também serão analisadas as tensões recorrentes nos cordões de solda, tensão nas guias do elevador.

Será feito também a modelação e as simulações numéricas das estruturas através do método da modelagem e análise por elementos finitos, para se conhecer todas as limitações dos materiais e da estrutura, e desta maneira poder alcançar os requisitos de adequação das normas para melhor utilização do equipamento e visando sempre a segurança do elevador e seus usuários.

### **1.1 Justificativa**

Devido à necessidade de transportar os materiais de uma construção essa pesquisa se justifica através da aplicação do elevador de carga em galpões tem como alvo a vantagem de agilizar o transporte das matérias e evitar acidentes, elevadores aumenta a quantidades de itens a serem transportados e a velocidade de transporte de mercadorias em locais que exigem esse equipamento, e com essa proposta obteremos um elevador que atenda a essas limitações onde poderá se atender a uma alta carga.

Esse projeto tem a intenção de criar um elevador que possa ocupar um determinado local em um galpão e com isso ter a capacidade de agilizar o armazenamento.

A realização desse estudo tem como intuito desenvolver um elevador, que consigam atender as necessidades que muitos galpões hoje em dia enfrentam. Para isso é preciso estabelecer os limites necessários para atender aos requisitos das normas quanto as seguintes solicitações: solicitações de cargas e os tipos de deformações, aos quais o elevador poderá suportar e para estabelecer esse limite é preciso definir que tipo de perfil e material será empregado, utilizando cálculos e modelamento para verificar tensões e deformações na estrutura do elevador e dimensionamento dos equipamentos utilizados. Assim, a partir deste ponto o projeto poderá atender as mais diversificadas solicitações de empresas ou qualquer cliente que desejar fazer a utilização do elevador com base na segurança dos cálculos e simulações do software de elementos finitos.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Com vista ao exposto, o presente estudo tem por objetivo demonstrar a partir de cálculos e modelamento de uma estrutura de elevador de carga de forma a ser aplicado em um supermercado, onde o estoque se encontra no terceiro andar do estabelecimento. Esse elevador visa transportar diversos tipos de cargas onde estas somadas cheguem até 1000 kg, de forma a facilitar a sua movimentação no estabelecimento entre a entrada do depósito da loja e o estoque. Dessa forma, diminuirá os riscos físicos aos funcionários, agilizando a movimentação e assim otimizará o tempo gasto nessa etapa do trabalho.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- a) Calcular as tensões na estrutura;
- b) Calcular as tensões nas juntas soldadas;
- c) Fazer a modelagem da estrutura em software de modelagem com intuito de detalhamento da mesma;
- d) Realizar análise numérica através de software de elementos finitos;
- e) Desenvolver o desenho de fabricação para a criação do projeto.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.2 Pesquisa normativa

· NBR 14712 – Elevadores elétricos (elevadores de carga, monta-cargas e elevadores de maca). Requisitos de segurança para projeto, fabricação e instalação. Essa NBR estabelece os procedimentos de segurança para instalação e construção de elevadores elétricos de carga, elevadores de maca e monta-cargas novos, instalados permanentemente, servindo aos pavimentos definidos, suspensos por cabos e movendo-se entre guias inclinadas em, no máximo, 15° com a vertical. A norma não se aplica a elevadores dos tipos hidráulico, pinhão, cremalheira fuso e plano inclinado. Essa norma definirá as diretrizes para o esse projeto, fornecendo requisitos de segurança para o equipamento do monta-carga.

· NBR 8400 – Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de carga. Essa norma fixa as diretrizes básicas para o cálculo das partes estruturais e componentes mecânicos dos equipamentos de levantamento e movimentação de cargas, independentemente do grau de complexidade ou do tipo de serviço do equipamento, determinando solicitações e 8 combinações de solicitações a serem consideradas, condições de resistência dos diversos componentes do equipamento em relação às solicitações consideradas e condições de estabilidade a serem observadas.

· NBR 16042 – Elevadores elétricos de passageiros. Requisitos de segurança para construção e instalação de elevadores sem casa de máquinas. É uma norma mais geral sobre elevadores elétricos de passageiros. Será utilizada quando não houver parâmetros específicos para monta-cargas detalhados por normas desse equipamento

· NM 196 - Elevadores de passageiros e monta-cargas. Guias para carros e contrapesos. Nessa norma MERCOSUL são especificadas: a fabricação, o acabamento superficial, as características dimensionais e as tolerâncias das guias, talas de junção e boleto.

## 2.3 História do elevador

De acordo com Antas (2019), Com o auxílio de guindastes primitivos com cordas e apoios, há 1500 anos antes do nascimento de Cristo, os egípcios estavam elevando as pirâmides e elevando as águas do Nilo. Elevadores rudimentares, ou guinchos, estavam em uso durante a Idade Média e desde o terceiro século A.C na antiga Roma. Esses primeiros elevadores eram abertos, em vez de fechados, e consistiam de uma plataforma com guinchos que permitiriam que o carro se movesse verticalmente. Os guinchos eram normalmente trabalhados manualmente, por pessoas ou animais ou rodas de água. Os romanos utilizaram esses elevadores simples por muitos anos, comumente para mover água, materiais de construção ou outros itens pesados de um lugar para outro. Já bem mais para a frente, em 1743, foi instalado no Palácio de Versalhes um dos primeiros elevadores projetados especificamente para uso de passageiros, conhecido como “cadeira voadora”. Feito por Blaise-Henri Arnoult para o rei Luís XV, este elevador não era muito mais adiantado tecnologicamente do que os usados em Roma. Mas foi só depois da Revolução Industrial, no século XIX, com a máquina a vapor, que foi imaginável a construção de elevadores fixos para carregar materiais e, especialmente, pessoas. Para se ter uma ideia, os primeiros elevadores a vapor demoravam cerca de 2 minutos para elevar-se 8 andares. Hoje existem elevadores que cursam 100 andares em 1 minuto.

Em 1853, Elisha Graves Otis introduziu o primeiro dispositivo de segurança para elevadores na exposição do New York Crystal Palace, confirmando um elevador com “segurança” para evitar a queda da cabine em caso de falha do cabo, um momento decisivo no incremento do elevador. Esse foi um grande passo para que o uso de elevadores como meio de transporte de passageiros começasse a se difundir.

Em 1857, o primeiro elevador de passageiros Otis estava em operação em uma loja de Nova York e, dez anos depois, os filhos de Elisha fundaram a Otis Brothers and Company em Yonkers, NY, para conseguir a produção em massa de elevadores. (DANTAS, Tiago. "História do Elevador")

Werner von Siemens construiu o primeiro elevador elétrico em 1880.

O elevador foi movido por um motor arquitetado sob a plataforma e levantou-o usando um sistema de engrenagens fundamentado no princípio dínamo-elétrico.

O elevador provou ser um enorme sucesso. Desde então os elevadores foram se tornando cada vez mais modernos e inteligentes, com grande foco em redução de energia e melhoria de performance. (Arbache, Rodrigo, 2019)

### **2.3.1 O elevador no brasil**

De acordo com a Vetra elevadores (2007) dezesseis anos após a instalação do primeiro elevador no mundo. Foram instalados em Salvador na Bahia, em 1873, os primeiros elevadores no Brasil. Os elevadores foram alojados em uma torre arquitetada para receber dois elevadores hidráulicos com competência para transportar até 20 pessoas entre os bairros localizados em níveis diferentes, é o chamado Elevador Lacerda.

Com 73,5 metros de altura, o elevador Lacerda é o primeiro elevador público do país e também considerado o primeiro do mundo. Na armação inicial, que operava com duas cabines, os passageiros tinham de ser pesados individualmente e o peso total a ser carregado era calculado até chegar o limite máximo de segurança. Depois das melhoras foram acrescentadas mais duas cabinas e o sistema hidráulico foi substituído pelo eletromecânico com competência para carregar até 32 pessoas cada. Abaixo na figura 1 estrutura do elevador em 1929.

**Figura 1:** Elevador Lacerda



Fonte: Vetra elevadores, 2007.

Segundo a Vetra elevadores (2007) muitas alterações foram introduzidas ao longo da história do primeiro elevador do Brasil. A eletrificação surgiu em 1906, mas somente em 1930 colocaram mais duas cabines e uma nova torre, e de 1950 a 1961 houve uma reforma total na sua parte mecânica. Além disso aconteceram reformas em 1980 com uma revisão na estrutura de concreto e, em 1997 foi feita a revisão de todo o maquinário elétrico e eletroeletrônico. A seguir do elevador Lacerda surgiu em 1889 ainda na Bahia, o elevador em plano inclinado, chamado Plano Inclinado Isabel, situado próximo ao Elevador Lacerda, e que justamente no momento da inauguração mudava seu nome para Plano Inclinado Gonçalves, em virtude da mudança de sistema de governo monárquico para republicano com o destronamento da Princesa Isabel demonstrado na figura 2.

**Figura 2:** Elevador Plano inclinado



Fonte: Vetra, 2007.

Na sequência vieram outros exemplos como o elevador do Palácio das Laranjeiras instalado em 1906, hoje residência oficial do governo do Rio de Janeiro.

Para situarmo-nos historicamente, a instalação do elevador no Palácio das Laranjeiras aconteceu no mesmo ano em que Alberto Santos Dumont realizou o seu primeiro voo com o 14-Bis, no campo de Bagatelle, em Paris na França. Este elevador ainda se encontra até hoje preservado como exemplar de conservação, com suas características estéticas originais mantidas. Assim como o que foi instalado em 1910 no antigo prédio da Light, e atualmente Shopping Light, no centro de São Paulo. Desta forma, os primeiros elevadores instalados no Brasil foram importados de outros países. Assim vão surgindo os primeiros negócios nesta área que mais tarde atrairia a atenção de fabricantes estrangeiros no sentido de instalarem-se no Brasil.

Em 1918 surge a Elevadores Atlas S/A em São Paulo, inicialmente como numa pequena oficina nacional destinada à instalação e manutenção de elevadores importados. Já neste mesmo ano começaram a ser produzidos de maneira artesanal os primeiros elevadores no Brasil, um tipo de elevador ainda bastante rudimentar, mas moderno para a época, como por exemplo, o comando de abertura e

fechamento das portas era executado manualmente com a ajuda de um ascensorista, através da utilização de uma manivela conforme a figura 3.

**Figura 3:** Elevador shopping Light-SP



Fonte: Vetra elevadores, 2019.

Em 1926 é instalado no Rio de Janeiro, no prédio do jornal “A Noite”, o primeiro elevador de alta velocidade no país. Na sequência, em 1928 a Elevadores Atlas S/A dá continuidade a instalação de elevadores de alta velocidade.

Neste período outras fábricas vão surgindo no país, na verdade, multinacionais.

Até 1934 as multinacionais deste setor atuavam no Brasil apenas como importadoras de seus componentes, a partir daí uma empresa americana neste ano e outra suíça em 1937 instalaram suas fábricas no RJ, mais tarde, ambas se mudariam para o estado de SP.

Em 1935 a oficina de Elevadores Atlas se transforma em uma indústria, e o ano de 1940 marca o início da exportação de produtos do Brasil para os países da América Latina e América Central.

Em 1943 é iniciada a fabricação completa de elevadores no Brasil pela Villares.

Em 1952 é inaugura a primeira garagem automática produzida no Brasil.

Em 1971 são instalados os primeiros elevadores panorâmicos no Brasil, no Eron Brasília Hotel e no Edifício Sir Wiston Churchill, em São Paulo, proporcionando uma visão interna ou externa do edifício. (Vetra elevadores, 2019)

Em 1997 é inaugurada no Paraná a primeira fábrica de escadas rolantes da América Latina, sendo que a instalação de seu primeiro produto ocorreu 4 anos após em 2001, e em 2003 inicia a fabricação de esteiras rolantes na única fábrica do gênero na América Latina. (Vetra elevadores, 2019)

É estimado que o uso de monta-cargas (objeto de estudo deste projeto) começou no início do século XIX. Em 1834, a “Encyclopedia of College, Farm and Villa Architecture and Furniture” chamou um monta-carga em Londres de “Armário de içamento” (The Old House Journal, 1981).

### **2.3.2 Tipos de elevadores**

#### **2.3.2.1 Elevador de passageiro**

Segundo o Diário de São Paulo, em matéria do dia 14 de dezembro de 2013, informa que naquele ano houve um único acidente de elevador contra quatro de avião que é considerado um meio de transporte bastante seguro.

O projeto de elevadores para passageiros tende a utilizar um fator de segurança muito alto, por isso algumas pessoas avaliam o elevador como "o meio de transporte mais seguro do mundo", pela quantidade de viagens de um elevador, a percentagem de falha do mesmo é muito pequena.

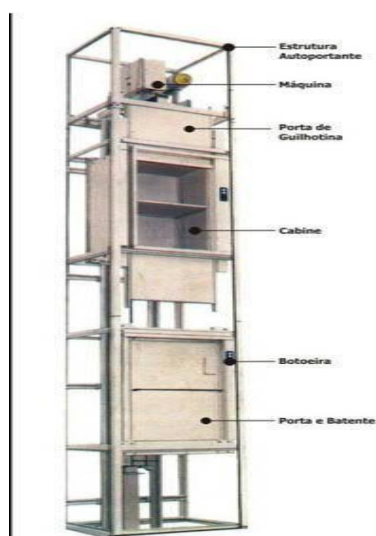
#### **2.3.2.2 Elevadores de carga**

Segundo a empresa AD (2019) Elevadores são um dos equipamentos mais utilizados para auxiliar na elevação de materiais e operários em canteiros de obras, segundo a norma NBR 16.200 não pode ser transportado ao mesmo tempo, passageiros e materiais. O único que é transportado juntamente dos materiais no elevador é o operador do mesmo, que deve possuir uma cabine separada do local da carga.

De acordo com a NBR 14.712, os elevadores monta-carga podem utilizar fatores de segurança menores que os elevadores de passageiro, visto que uma falha em seu funcionamento não ter resultados tão trágicos quanto em elevadores de passageiro.

Suas dimensões podem ser das mais diversas, com amplas aplicabilidades, como em restaurantes, hospitais, hotéis, aeroportos, academias e supermercados. A Figura 4 ilustra o esquema de um monta-carga.

**Figura 4:** Esquema de montagem do elevador



Fonte: AD Elevadores, 2019.

De acordo com a norma da ABNT NBR 14.712, não há limites de percurso, nem de número de paradas para este tipo de elevador. Portanto, um monta-carga pode ser dimensionado para qualquer tamanho de edifício, desde que a estrutura seja dimensionada corretamente e consiga suportar as cargas aplicadas. A carga nominal máxima que um elevador desse tipo pode transportar é de 300 kgf. Acima desse valor, deve ser utilizado um elevador de carga. O volume interno máximo da cabine é apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1:** Limite de volume do monta-carga

|               | Altura [mm] | Largura [mm] | Profundidade [mm] |
|---------------|-------------|--------------|-------------------|
| Volume máximo | 1000        | 1000         | 1200              |

A cabina do elevador deve possuir uma placa onde conste a carga útil, em quilogramas, e, na face externa das portas em todos os pavimentos, devem constar os dizeres: “PROIBIDO O TRANSPORTE DE PESSOAS” segundo a norma da ABNT NBR 14.712. Um extintor de incêndio deve ser colocado no máximo a 1,0 metro de distância do acesso do compartimento da casa de máquinas.

### **2.3.2.3 Elevador De Cabo De Aço**

Os elevadores a cabo de aço possuem estrutura independente são utilizados tanto para obras quanto em elevadores de passageiros e na obra deve ser utilizado cabos de aços do tipo com a alma de fibra, que deve ser montado por dentro de uma torre que permita a movimentação da cabine que deslize por guias de aço por corrediças ou rolamentos lineares, o carretel onde é enrolado o cabo de tração que é acoplado em um motor elétrico através de correias, acoplamentos, engrenamento ou outros equipamentos de transmissão, onde movimenta a cabine com o auxílio de polias para direcionar os cabos e em alguns casos possuem contra peso para que haja o balanceamento da cabine é utiliza limites para realizar a parada entre todos os andares. É um equipamento adequado a norma ABNT NBR 14.712 multifuncional que podem içar aproximadamente pesos de uma tonelada. Cabine é utiliza limites para realizar a parada entre todos os andares. É um

equipamento adequado à norma e multifuncional que podem içar aproximadamente pesos de uma tonelada.

**Figura 5:** Elevador cabo de aço



Fonte: Taner Elevadores, 2019.

#### 2.3.2.4 Elevador Tipo Cremalheira

Diferentemente de um elevador convencional, o elevador de cremalheira não tem a obrigação de possuir cabos de aço, caixa de corrida fechada ou casa de máquinas.

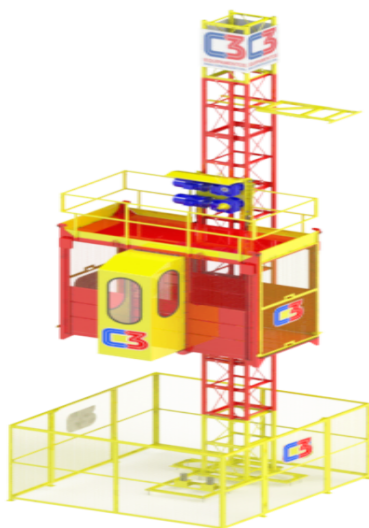
Um freio de disco múltiplo elétrico no motor é usual para parar o deslocamento.

O pinhão, que é ativado por um motor elétrico montado na parte superior da cabine, conecta com o rack da torre, admitindo que o carro se elevar ou desça ao comando. (Arbache Rodrigo, 2019)

Possui uma cabine para as cargas e separadamente a cabine do operador, cabine demonstrada na figura 6, onde nessa cabine do operador existem comandos para a locomoção entre os andares e também possui um sistema de segurança de emergência que interrompe total o movimento do elevador e possui um sistema de freio de emergência para travamento do mesmo quando por alguma falha mecânica

estiver me queda livre. Atendendo as normas têm capacidade de içamento de mil quilogramas a mil e quinhentas quilogramas.

**Figura 6:** Elevador cremalheira C3



Fonte: Empresa C3

#### **2.3.2.5 Elevadores a cintas de aço**

Atualmente, nas construções de novos edifícios tem sido levado alguns fatores em consideração quanto ao espaço, para acomodar elevadores atualmente e obter mais espaços em construções, empresas tem mudado o sistema de içamento do elevador, deixando de lado o cabo de aço convencional e passando a utilizar cintas de aço planas revestidas com poliuretano, que além de possibilitar montar elevadores sem casas de maquinas, remove a utilização de algumas engrenagens assim descartando a lubrificação desse sistema, tornado o sistema mais limpo, silencioso, leve, durável e gera uma movimentação mais rápida, contribuindo também ao meio ambiente.

Segundo a Geotest (2015) Desenvolvida pela empresa KONE, a UltraRope é formada por 4 fitas, desenvolvidas com uma fibra de carbono, envoltas em plástico. Cada fita tem 4 centímetros de largura por 4 milímetros de espessura e são postas uma ao lado da outra, formando uma singular cinta. Essa cinta superforte é capaz de chegar a uma altura muito maior que os cabos de aço convencionais, apresentando ainda maior resistência que os mesmos.

Esse equipamento é montado em duas guias como a torre de locomoção, possui um motor elétrico tracionado por cintas de aço com revestimento poliuretano, onde permite o movimento de uma cabine balanceada por um contrapeso, possui sistema de redução de velocidade por sensores magnéticos para as paradas e sensores de velocidade em queda livre segundo a norma.

## **2.4 mecanismos de segurança**

O elevador tem velocidade controlada por um conjunto de freios e o torque do motor é gerado pela corrente enviada para o mesmo, sabendo disso, a desaceleração é dada pela redução da corrente enviada e a parada definitiva é realizada por um freio mecânico que prende o eixo do motor, não permitindo a rotação do eixo.

O principal mecanismo de segurança do elevador são: os freios, as corredeiras, guias, limites de parada e final de curso e segurança de porta.

### **2.4.1 Freios**

O freio é acionado mecanicamente por oferecer maior segurança, e esse equipamento, é instalado na armação da cabine, e quando é acionado se prende na guia diminuindo gradativamente a velocidade ou definitivamente. O acionamento é feito por um limitador de velocidade, que é localizado na casa de máquinas atrás de uma polia e outra polia no poço do elevador. Sendo assim, quando a velocidade da cabine ultrapassa a velocidade máxima estipulada, uma das polias faz um movimento de rotação fazendo com que o peso rotacione por ela mesma, sendo afastado por força centrífuga, que por sua vez desarma um acionador que corta a energia do motor e aciona o freio de emergência.

### **2.4.2 Guias**

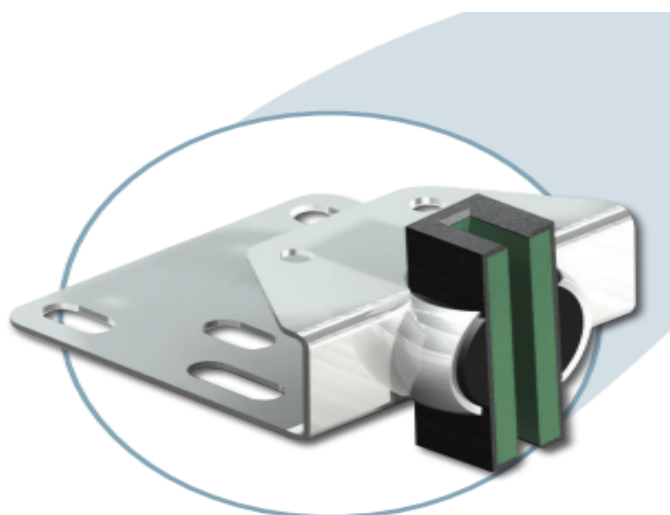
As guias são responsáveis pelo impedimento da cabine mover-se na horizontal e elas também sofrem com o acionamento dos freios de emergência. A cabine desliza sobre as guias com o auxílio de corredeiras, rolamentos lineares ou rodas, que tem a função de reduzir os atritos do deslocamento.

As guias são fixas nas paredes do poço com caixas parafusadas, com estruturas metálicas ou quando projetado em colunas de concreto chumbadas na alvenaria. São posicionadas nas laterais da cabine e do contrapeso, e de acordo com a norma NBR NM 207 de 1999, precisa ser ajustada com uma folga máxima predefinida

### 2.4.3 Corrediças

As corrediças são responsáveis pela redução do atrito da cabine e do contrapeso com as guias, e elas possuem a função de lubrificar as guias, proporcionarem um deslocamento suavizado a cabine, melhorando a performance do elevador.

**Figura 18:** Folder Thyssenkrupp Corrediça



Fonte: Thyssenkrupp elevadores, 2019

### 2.4.4 Interruptores limites

Os limites são equipamentos que tem nome genérico de comutador elétrico, que tem seu acionamento realizado por força física.

Esse equipamento é utilizado por ter um ótimo custo benefício, além de poder serem usados em variadas aplicações nas indústrias de amplo modo para indicar posicionamento, monitoramento o desalinhamento de componentes, como esteiras transportadoras e elevadores.

Em elevadores esse equipamento é utilizado para fazer a parada no andar superior e inferior, na redução de velocidade de alta para a baixa e para final de curso, para evitar que a cabine por alguma falha do sistema, venha bater no teto ou no fundo do poço.

**Figura 19:** limites fim de curso.



Fonte: Empresa schmersal, 2019.

## **2.5 Estruturas de elevadores de carga**

As estruturas dos elevadores de carga são formadas por perfis metálicos, e a grande versatilidade do elevador de carga, é que pode ser instalado em áreas internas e externas das plantas comerciais e industriais, bastando alguns ajustes para preservar o equipamento das intempéries como vento, sol e chuva. O Elevador de carga pode ter cabines com revestimento interno em chapas de aço, telas metálicas galvanizadas, chapas e telas formando um conjunto, ou chapas de aço inox escovado. (SD,2020)

## **2.6 Tipos de ligações.**

Ligação trata-se da união de duas ou mais peças ou membros. Geralmente, o tipo de ligação que será adotado em uma estrutura é definido durante o projeto com o intuito de diminuir a dificuldade levando em conta que tipo de montagem que

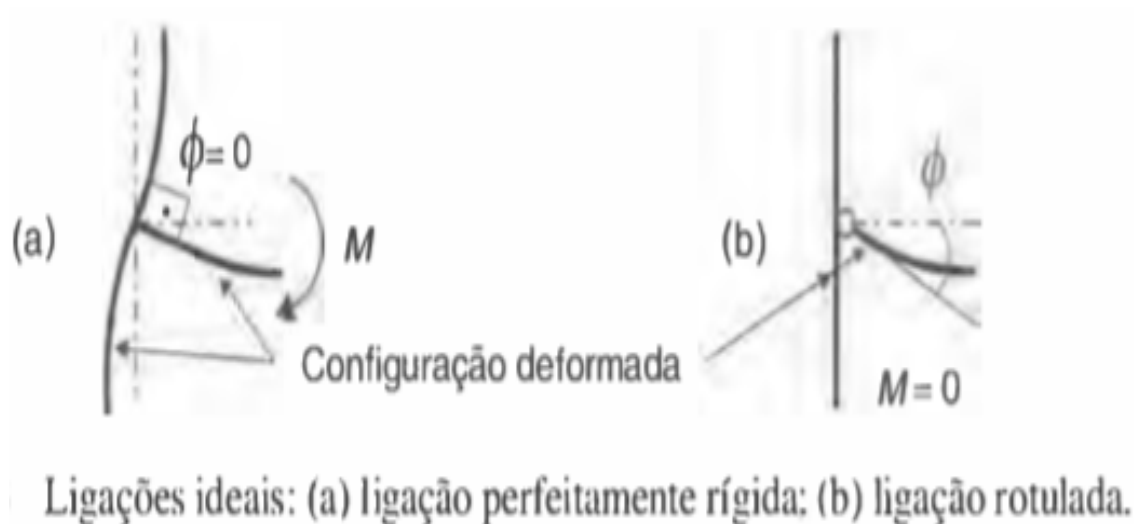
será realizada em campo e o tempo que levará para ser estruturada, também se trata de uma parte fundamental na segurança da montagem da estrutura.

Essas ligações podem ser das seguintes formas: viga – viga; viga – pilar; pilar – pilar e pilar – fundação. Nesse projeto as formas utilizadas são a viga- viga e viga – pilar. Para que essas ligações sejam unidas de forma segura, atualmente podemos utilizar duas formas existentes para fazer isso, que podem ser por meio solda ou parafusos ou os dois ao mesmo tempo, para esse projeto utilizaremos os dois modos.

### **2.6.1 Ligações e Seu Comportamento**

Para o projeto de uma ligação metálica deve-se levar em conta diversos fatores resultantes dessa ligação. O comportamento de todas as peças e ligações em um todo é muito complexa, pois as ligações da estrutura não apresentam um comportamento linear ou multilinear. Segundo (Pfeil, 2005) as estruturas metálicas tem a sua integridade assegurada se as ligações forem projetadas em acordo com as normas e solicitações do projeto. As figuras abaixo demonstram dois tipos de ideia do comportamento das ligações, onde a ligação perfeitamente rígida tem como intuito impedir a rotação relativa entre viga e pilar, e a ligação rotulada deixa a rotação relativa livre.

**Figura 7:** Comportamento das ligações

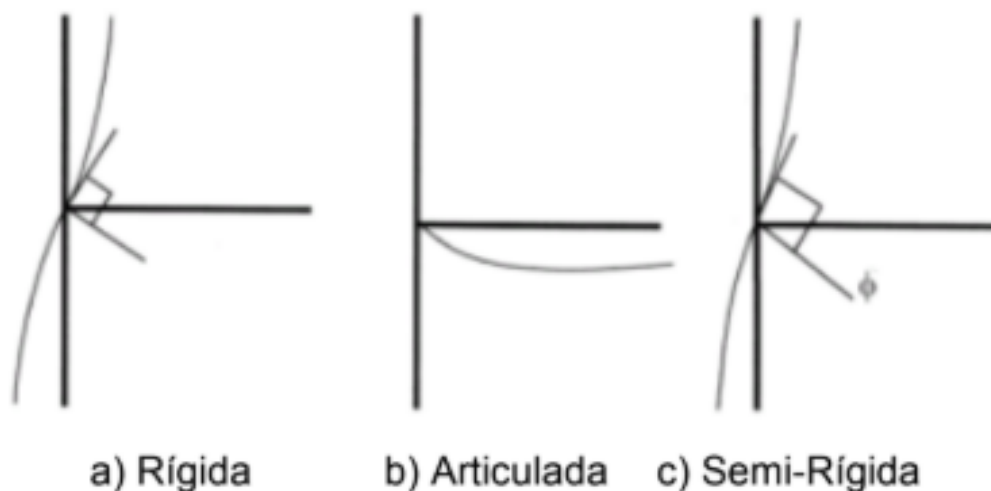


Fonte: PFEIL, (2005)

### 2.6.2 Classificação das Ligações

Os tipos de ligações podem ser classificados conforme sua resistência e rigidez. Quando classificadas por sua rigidez elas podem ser apresentadas como: rígidas, articuladas ou semirrígidas, como apresentado abaixo.

**Figura 8:** Tipos de Ligação Conforme a Rigidez



Fonte: RODRIGUES, (2007)

Uma ligação pode ser considerada rígida quando a continuidade da estrutura e as suas rotações entre as partes ligadas são totalmente restritas, nesse caso os esforços sujeitos a esses tipos de ligação é maior do que em uma ligação articulada.

Quando se fala de uma ligação articulada, sua rotação entre as partes ligadas não é restringida, sendo assim essa ligação só estará sujeita ao esforço de cisalhamento. Entretanto, quando fazemos menção de uma ligação semirrígida temos os dois tipos de ligação trabalhando juntos, então não podemos dizer que essa ligação é totalmente rígida e nem totalmente articulada.

### 2.6.3 Classificação Segundo a Rigidez

A rigidez da ligação é o que dá a capacidade de limitação da rotação e deslocamento das peças na estrutura. Pois além do correto dimensionamento das vigas, também se deve dimensionar corretamente as ligações para que a estrutura se comporte dentro do planejado no que diz respeito ao deslocamento e rotação que as ligações e estrutura irão sofrer. De modo a se dizer que onde houver ligações rígidas deveriam ser planejadas ações que efetivamente limitem a rotação das

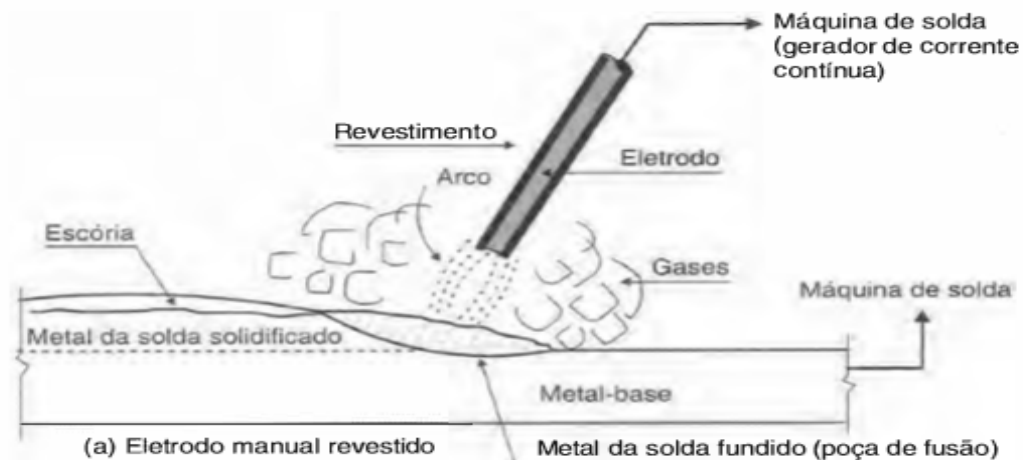
partes. Já nas partes onde devem haver rotação ações devem propiciar a rotação com o mínimo de restrição dessa ligação.

Segundo (CBCA, 2011) é necessário ter conhecimento da rigidez e da capacidade de rotação submetida pela ligação, pois estes fatores influenciam nos esforços e deslocamentos que a estrutura poderá suportar, porém como na fase de projeto não se sabe exatamente as dimensões das ligações a análise é feita por estimativa.

#### **2.6.4 Ligas soldadas**

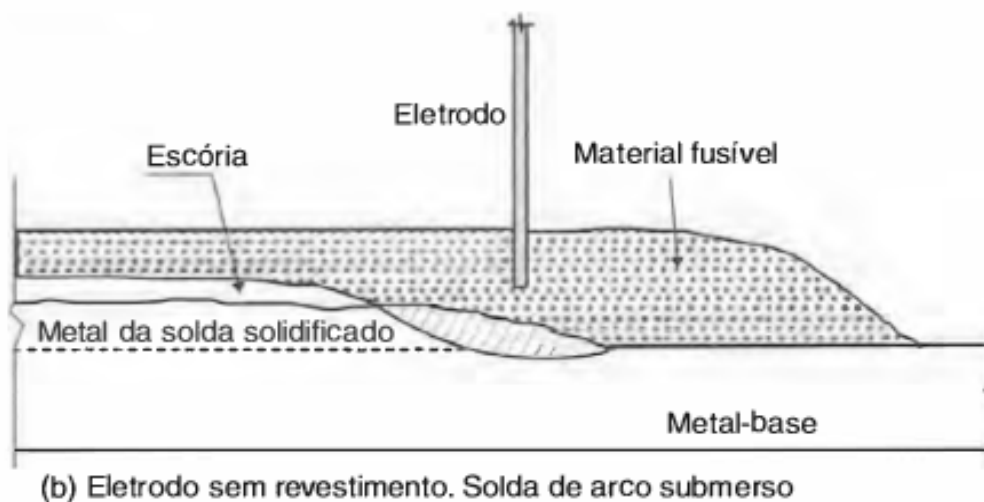
O método de soldagem consiste em unir duas peças ou mais de um material, trazendo continuidade do material junto com suas características químicas e mecânicas. Essa união se faz por meio da coalescência do material que é dada pela fusão das partes, já essa fusão pode acontecer por origem elétrica, química, óptica ou mecânica.

Na indústria da construção o tipo de soldagem mais empregado é o de eletrodo manual revestido que funde as peças por meio de um arco voltaico. Esse arco se dá entre um eletrodo metálico e o aço a ser soldado, onde há a deposição do material do eletrodo na peça. Durante o processo o material do eletrodo que está sendo fundido com a peça é isolado da atmosfera pelo revestimento do eletrodo que forma um gás inerte e escória com a função de evitar formação de impurezas e falhas na solda conforme a figura 9.

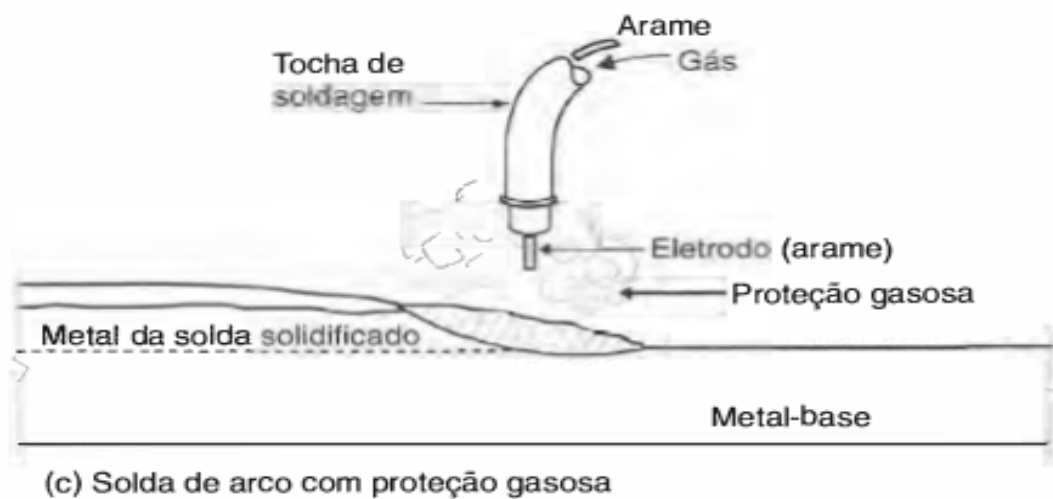
**Figura 9:** Soldagem por Eletrodo

Fonte: BELLEI, (2008)

Hoje existem inúmeros processos de soldagem, e todos eles foram aprimorados ou desenvolvidos após o fim da Segunda Guerra Mundial e dentre os mais utilizados em estruturas metálicas estão o de: processo manual com eletrodo revestido (SMAW), processo a arco submerso (SAW), processo MIG, MAG, TIG ou soldagem em atmosfera gasosa (GMAW), processo por arame tubular (FCAW) e o processo por eletro-escória. O fabricante deverá escolher o processo que lhe for mais favorável e para esse projeto o mais indicado é o processo manual com eletrodo revestido representado na figura 10 e 11.

**Figura 10:** Soldagem por Arco Submerso

Fonte: BELLEI, (2008)

**Figura 11:** Solda MIG e TIG

Fonte: BELLEI, (2008)

#### 2.6.4.1 Vantagens e Desvantagens das Ligações Soldadas

### VANTAGENS:

Atualmente, é possível se obter todas as vantagens que a união por soldagem pode oferecer como a eliminação de riscos de trinca, fadiga, fissura e outras. Também pode se dizer que o grande diferencial quando se trata de ligações, é que quando utilizado o processo de soldagem temos uma economia considerável em quantidade de aço se compararmos com as ligações parafusadas, pois essa tem necessidade de utilização de chapas.

De acordo com (Bellei,2008) uma das grandes vantagens de se utilizar solda para fazer as ligações e outros processos está na economia do material, pois esse processo garante quase que completa utilização do material.

Uma outra vantagem é que as ligações feitas através do processo de soldagem são mais rígidas se comparados as ligações parafusadas, pois as partes são diretamente soldadas uma na outra, porém isso também pode ser uma desvantagem se houver necessidade de conexões simples com pouca resistência ao momento devido ao tamanho do vão a ser utilizado. Cabe ao engenheiro projetista definir segundo a necessidade do projeto qual processo utilizar.

Também podemos mencionar a facilidade na modificação do projeto e na correção de erros de montagem a menor custo, uso de quantidade menor de peças, tempo reduzido em projeto de fabricação e montagem.

### DESVANTAGENS:

Existem algumas desvantagens em utilizar o processo de soldagem em construções com perfis metálicos, dentre elas podemos fazer menção de algumas como: a energia elétrica pode não ser suficiente no local de montagem o que poderia gerar custos extras com geradores; outra desvantagem é que a fase de projeto deve levar mais tempo, pois exige uma análise mais minuciosa de fadiga o que torna as tensões admissíveis muito baixas; construções com ligações soldadas são permanentes e não podem ser desmontadas o que também eleva o tempo de montagem da estrutura.

De acordo com (Bellei, 2008) uma das piores desvantagens de se ter ligações soldadas dentro da construção com perfis metálicos é que não se pode obter grandes comprimentos, pois a mesma sofre com efeitos acumulativos de retração.

#### 2.6.4.2 Compatibilidade Entre Material de Soldagem e Metais

Muitas das vezes podem não haver atenção quanto ao tipo de eletrodo e metal a ser soldado, para isso temos a tabela 4 da NBR 8800:2008, onde são apresentados os metais-base e tipos de eletrodos mais utilizados para os distintos modos de soldagem onde se usa o arco elétrico.

**Tabela 2:** Compatibilidade do Metal de Base e do Metal de Solda

| Aço                                       | SMAW            | GMAW       | SAW         | FCAW                          |
|-------------------------------------------|-----------------|------------|-------------|-------------------------------|
| Aço patinável de média e alta resistência | E 7018 W        | ER 8018 SG | F 7AO-EW    | F 71T8 Ni1                    |
|                                           | E 7018 G        |            |             | E 80T1 W                      |
| ASTM A36                                  | E 7018          | ER 70 S6   | F 7AO-EL12  | E 70T-1<br>E 71T-1<br>E 70T-4 |
|                                           |                 | ER 70 S3   |             |                               |
| ASTM A572 grau 50                         | E 7018          | ER 70 S6   | F 7AO-EM12K |                               |
|                                           |                 | ER 70 S3   |             |                               |
| ASTM A570 grau 40                         | E 7018 / E 6013 | ER 70 S6   | F 7AO-EL12  |                               |
|                                           |                 | ER 70 S3   |             |                               |

Fonte: ADAPTADO DE NBR 8800:2008

#### 2.6.4.3 Tipos de Eletrodos de Utilização

Os eletrodos usados em solda por arco voltaico têm sua composição em varas de aço de baixa liga ou aço-carbono, sendo os eletrodos com revestimento

designados pela a ASTM, pela expressão E70XY, onde cada um dos caracteres tem uma designada referência como:

- E = eletrodo
- 70 = resistência a ruptura  $f_w$  da solda em ksi
- X = posição de soldagem satisfatória (1- qualquer posição; 2- somente posição horizontal)
- Y = indica o tipo de corrente e revestimento do eletrodo

Os principais tipos de eletrodo utilizados na indústria são o:

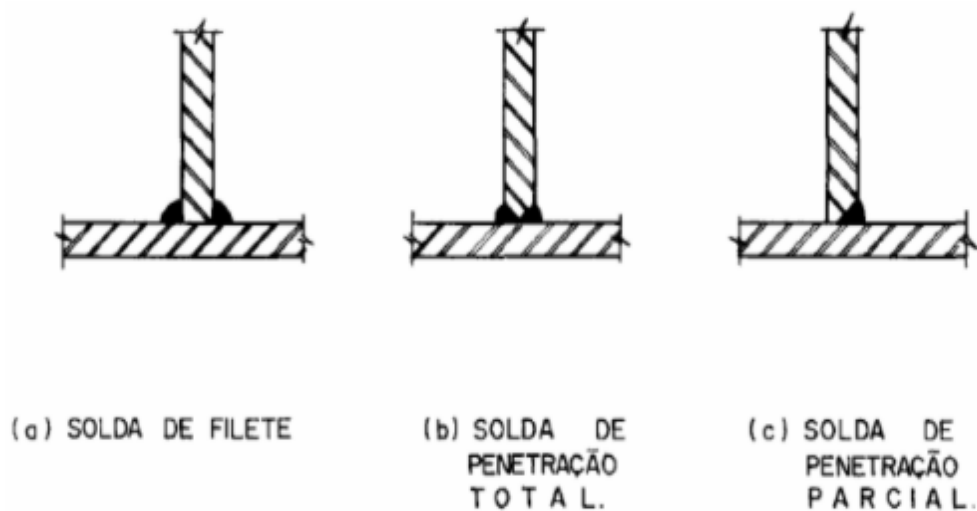
$$E60 = f_w = 60 \text{ ksi} = 415 \text{ MPa}$$

$$E70 = f_w = 70 \text{ ksi} = 485 \text{ MPa}$$

#### 2.6.4.4 Tipos de Solda Manual

Os cordões de solda mais utilizados para fazer ligação das partes são os de filete, entalhe e penetração total ou parcial.

**Figura 12:** Tipos de Soldagem Manual

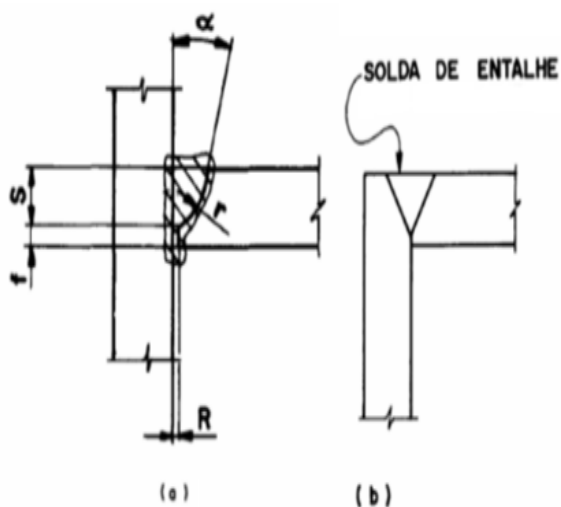


Fonte: MANUAL CBCA, (2003)

#### 2.6.4.5 Solda de Entalhe

Quando o desejado é manter a continuidade total ou parcial da espessura da peça conectada para a transmissão de esforços e a solda de filete não pode atender essa solicitação é usada a solda de entalhe de penetração total ou parcial. Em geral, a solda de entalhe é prevista para o enchimento total do espaço das peças ligadas.

**Figura 13:** Solda de Entalhe



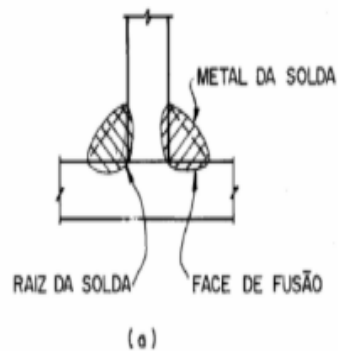
Fonte: MANUAL CBCA, (2003)

Notações para solda de entalhe

- $\alpha$  = ângulo de chanfro
- S = profundidade de chanfro
- r = raio do chanfro
- R = abertura da raiz

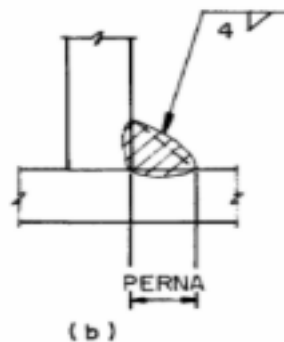
#### 2.6.4.6 Solda em Filete

Definições da solda em filete:

**Figura 14:** Solda Filete

Fonte: MANUAL CBCA, (2003)

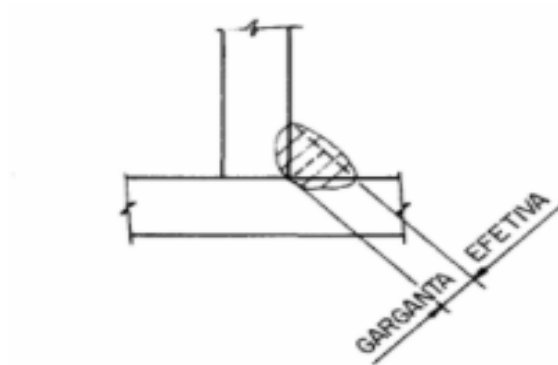
- Face de fusão: superfície do metal base onde ocorre a fusão
- Raiz de solda: linha comum as faces de fusão

**Figura 15:** Solda Filete (Perna)

Fonte: MANUAL CBCA, (2003)

- Perna do filete: dimensionado nas faces de fusão, triângulo inscrito dentro da seção transversal da solda

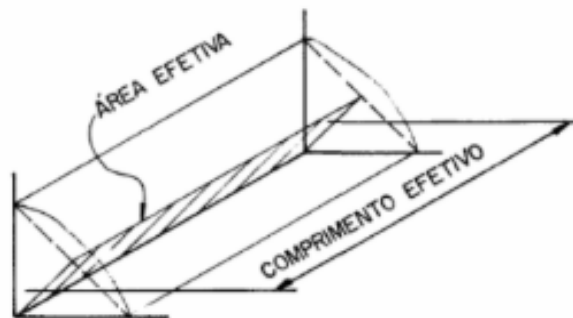
**Figura 16:** Solda Filete (Garganta)



Fonte: MANUAL CBCA, (2003)

- Garganta efetiva: distância entre a raiz da solda e o lado externo do triângulo

**Figura 17:** Solda Filete (Comprimento Efetivo)



Fonte: MANUAL CBCA, (2003)

- Comprimento efetivo: é a medida de linha que liga os pontos das gargantas efetivas ao longo do filete
- Área efetiva ( $A_w$ ): é a área resistente da solda que é o produto da garganta efetiva pelo comprimento

### 3 DESENVOLVIMENTO

#### 3.2 PROJETO

Para o início do dimensionamento da estrutura e dos equipamentos, primeiramente devem ser selecionado os valores de içamento de carga, velocidade de içamento entre outros valores que foram calculados através da NBR 8400 e outros escolhidos pelo autor visto na tabela 3.

**Tabela 3:** Dados do Projeto.

| Dados                           |                     |          |
|---------------------------------|---------------------|----------|
| Carga de içamento               | 1000 kg             |          |
| Área da cabine                  | 2,34 m <sup>2</sup> |          |
| Altura de içamento              | 6 m                 |          |
| Velocidade <u>max</u> de subida | 1,5 m/s             | 30 m/min |
| Velocidade <u>max</u> cabine    | 1,5 m/s             | 30 m/min |
| F.S da estrutura                |                     |          |
| F.S mecanismos                  |                     |          |
| Coeficiente k                   |                     |          |
| Coeficiente dinâmico ( $\psi$ ) | 1,3                 |          |
| Peso da estrutura               | 288 kg              |          |
|                                 | Porta               |          |
|                                 | Altura útil         | 2100mm   |
|                                 | Largura útil        | 1400mm   |
|                                 | cabine              |          |
|                                 | Largura             | 1800 mm  |
|                                 | Profundidade        | 1300 mm  |
|                                 | Altura útil         | 2400mm   |

Fonte: ADPTADO de Autor, 2019.

O dimensionamento desse elevador foi projetado para atender a cargas de 1000 kg paletizadas ou não paletizadas, tendo a cabine espaço suficiente para acomodar um palete totalmente carregado com pequenos espaços para acomodar pequenas cargas sem ultrapassar o peso máximo. A carga de utilização é inferior à carga total e por conta disso foi selecionado na tabela 4 a classe de utilização D.

Logo:

Ciclo= 12 Carga horaria x 24hora/dia x 365 dias/ ano x 8 anos =  $8,4 \times 10^5$  ciclos.

**Tabela 4:** Classe de utilização

| Classe de utilização | Frequência de utilização do movimento de levantamento                              | Numero convencional de ciclos de levantamento |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| A                    | Utilização ocasional não regular, seguida de longos períodos de repouso            | $6,3 \times 10^4$                             |
| B                    | Utilização regular em serviço intermitente                                         | $2,0 \times 10^5$                             |
| C                    | Utilização regular em serviço intensivo                                            | $6,3 \times 10^5$                             |
| D                    | Utilização em serviço intensivo severo, efetuado, por exemplo, em mais de um turno | $2,0 \times 10^6$                             |

Fonte: ADPTADO de NBR 8400 pag. 6.

### 3.2.1 Estado de carga das Estrutura:

De acordo com a tabela 5 é classificado o estado de carga do equipamento e o estado de carga se caracteriza a proporção em que o equipamento levanta a carga máxima suportada ou uma carga reduzida, em todo o tempo de sua vida útil.

Logo, para identificar é realizado o seguinte cálculo:

$$P = \frac{\text{Carga comum}}{SWL} = \frac{500}{1000} = 0,5 \approx p = \frac{1}{2}$$

Desta forma é encontrado que o estado de carga é 2 que é considerado médio.

**Tabela 5:** Classificação do estado de carga

| Estado de carga | Definição                                                                                                                  | Fração mínima da carga máxima |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 0 (muito leve)  | Equipamentos levantando excepcionalmente a carga nominal e comumente cargas muito reduzidas                                | P = 0                         |
| 1 (leve)        | Equipamentos que raramente levantam a carga nominal e comumente cargas de ordem de 1/3 da carga nominal                    | P = 1/3                       |
| 2 (médio)       | Equipamentos que frequentemente levantam a carga nominal e comumente cargas compreendidas entre 1/3 e 2/3 da carga nominal | P = 2/3                       |
| 3 (pesado)      | Equipamentos regularmente carregados com a carga nominal                                                                   | P = 1                         |

Fonte: ADPTADO de NBR 8.400 pag. 6.

### 3.2.2 Classificação dos elementos da estrutura:

Através da classe de utilização encontrado na Tabela 2 da NBR 8400, as estruturas e seus elementos se classificam em seis grupos, representados na tabela 5 abaixo e de acordo com as informações encontradas e verificado que a estrutura do elevador cruzando com os valores de classe de utilização D e estado de carga 2(médio) a classificação dos elementos é 6 conforme a tabela 6.

**Tabela 6:** Classificação da estrutura dos equipamentos

| Estado de cargas (ou estado de tensões para um elemento) | Classe de utilização e número convencional de ciclos de levantamento (ou de tensões para um elemento) |                        |                        |                        |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                                                          | A<br>$6,3 \times 10^4$                                                                                | B<br>$2,0 \times 10^5$ | C<br>$6,3 \times 10^5$ | D<br>$2,0 \times 10^6$ |
| 0 (muito leve)<br>P = 0                                  | 1                                                                                                     | 2                      | 3                      | 4                      |
| 1 (leve)<br>P = 1/3                                      | 2                                                                                                     | 3                      | 4                      | 5                      |
| 2 (médio)<br>P = 2/3                                     | 3                                                                                                     | 4                      | 5                      | 6                      |
| 3 (pesado)<br>P = 1                                      | 4                                                                                                     | 5                      | 6                      | 6                      |

Fonte: ADPTADO de Norma NBR 8.400 pag. 8.

### 3.2.3 Coeficiente de majoração:

O coeficiente de majoração será utilizado para majorar as solicitações de projeto e depende diretamente do grupo no qual a estrutura pertence. Como foi encontrado grupo 6 na tabela anterior, de acordo com a **Tabela 10** na NBR 8.400.

De acordo com a tabela 7 abaixo, para o grupo 6 o coeficiente de majoração é equivalente a 1,20.

**Tabela 7:** Coeficiente de majoração.

| Grupos | 1 | 2 | 3 | 4    | 5    | 6    |
|--------|---|---|---|------|------|------|
| $M_x$  | 1 | 1 | 1 | 1,06 | 1,12 | 1,20 |

Fonte: ADPTADO de NBR 8.400 pag. 15

### 3.2.4 Coeficiente dinâmico de carga vertical:

O coeficiente dinâmico leva em conta o levantamento relativamente brusco da carga de serviço, que constitui o choque mais significativo. Todas as solicitações verticais provenientes do içamento devem ser majoradas por um fator chamado coeficiente dinâmico  $\psi$ .

Através da Tabela 8 abaixo é possível definir qual equação será utilizada para o cálculo do coeficiente dinâmico de carga vertical. Um elevador se enquadra, a princípio, no equipamento Pontes ou pórticos rolantes, sabendo-se que a velocidade de içamento é equivalente a 3m/min ou 0,5m/s, é possível verificar que o coeficiente dinâmico é  $\psi=1,3$ .

**Tabela 8:** Coeficiente dinâmico

| Equipamento                 | Coeficiente dinâmico<br>$\psi$ | Faixa de velocidade de<br>elevação da carga (m/s) |
|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|
| Pontes ou pórticos rolantes | 1,15                           | $0 < v_L \leq 0,25$                               |
|                             | $1 + 0,6 v_L$                  | $0,25 < v_L < 1$                                  |
|                             | 1,60                           | $v_L \geq 1$                                      |
| Guindaste com lanças        | 1,15                           | $0 < v_L \leq 0,5$                                |
|                             | $1 + 0,3 v_L$                  | $0,5 < v_L < 1$                                   |
|                             | 1,3                            | $v_L \geq 1$                                      |

Fonte: ADPTADO de NBR 8.400 pag. 10

### 3.2.5 Tensão admissível:

O valor da tensão admissível é encontrado dividindo-se a tensão limite de escoamento por um coeficiente de segurança. Segundo a NBR 8.400 o cálculo da

tensão admissível também depende do caso de solicitação. Na tabela 9, pode-se encontrar a expressão que define a tensão admissível para os 3 casos previstos pela norma.

**Tabela 9:** Tensões admissíveis e a tração (ou compressão) simples.

| Casos de solicitação | Caso I                 | Caso II                 | Caso III               |
|----------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| Tensão admissível    |                        |                         |                        |
| $\sigma_a$           | $\frac{\sigma_E}{1,5}$ | $\frac{\sigma_E}{1,33}$ | $\frac{\sigma_E}{1,1}$ |

Fonte: ADPTADO de NBR 8.400 pag. 16

A estrutura não está submetida a vento e nem a carga de choque, nesse caso deve ser considerada como caso I de solicitação. Para os elementos solicitados a tensão normal a tensão admissível e cisalhante admissível fica da seguinte forma:

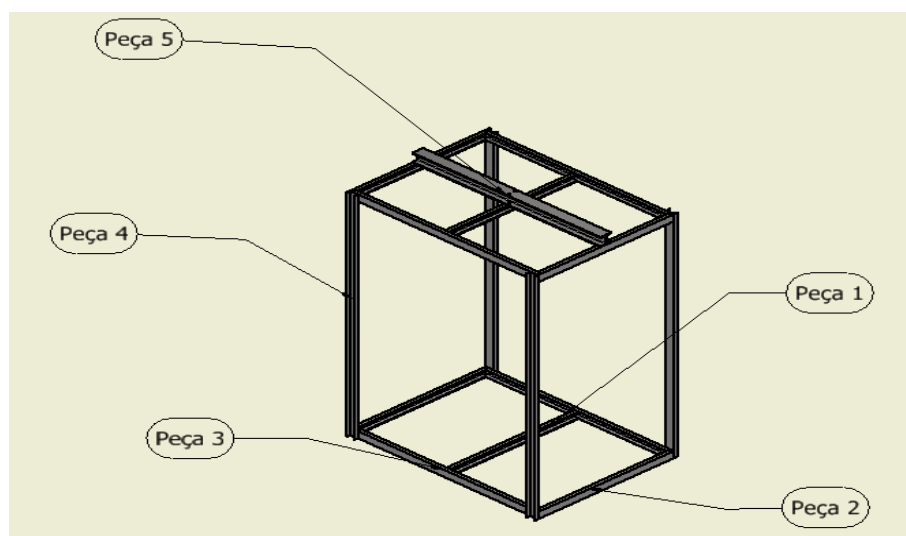
$$\sigma_a = \frac{250}{1,5} = 166,66 \text{ MPa}$$

$$\tau_a = \frac{166}{\sqrt{3}} = 95,84 \text{ MPa}$$

### 3.2.6 Cabine

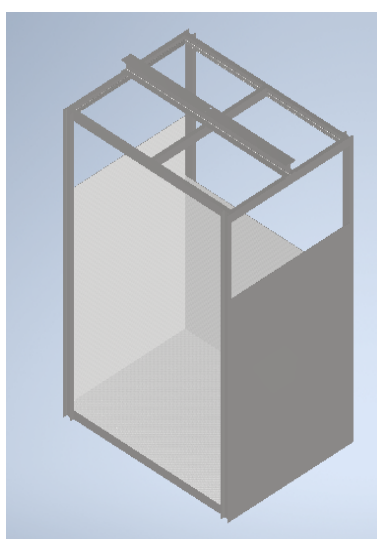
A cabine consiste em uma estrutura formada de perfis e chapas onde o "esqueleto" está ilustrado na Figura 20. pode ser dividido em quatro tipos: os perfis da base, os perfis de coluna, os perfis do teto e o perfil de fixação dos cabos de aço. A base consiste em um quadrado de perfis com 1.800 m de comprimento e 1.300 m de largura e na figura 21 a estrutura montada por completo com as chapas de fechamento.

**Figura 20:** Estrutura da cabine do elevador



Fonte: Autor, 2019.

**Figura 21:** Cabine montada



Fonte: Autor, 2019.

O material selecionado para esta estrutura é o aço ASTM A36, devido a facilidade de ser localizado no mercado e custo benéfico, além de possuir propriedades mecânicas que são excelentes para dimensionamento de estruturas. Abaixo estão as propriedades mecânicas do aço para os cálculos do projeto:

- Tensão de Escoamento: 250 MPa;
- Módulo de Elasticidade: 200 GPa;
- Alongamento 200 mm: ~20% (maior do que 14%);

- Soldabilidade: Alta.

### 3.2.7 Chapas:

As chapas são os elementos do fechamento da cabine e teoricamente não recebe nenhum tipo de esforço, mas deve se levar em consideração caso haja o tombamento da carga no fundo da cabine, segunda a NBR 14712 limita a flecha máxima das chapas da parede em 10 mm para uma força de 1/10 da carga útil aplicada sobre uma área qualquer de 25 cm<sup>2</sup>. O cálculo da espessura dessa chapa é feito através da equação retirada do livro de mecânica dos sólidos "Roark's Formulas for Stress and Strain". (YOUNG, Warren C. e BUDYNAS, Richard G. 1989) Tabela 11.4 - Fórmulas para chapas com arestas retas e espessura constante Fonte: "Roark's Formulas for Stress and Strain" (YOUNG, Warren C. e BUDYNAS, Richard G. 1989).

Para o dimensionamento da chapa foi utilizado o aço ASTM A36, chapas xadrez, que possui resistência a corrosão e foi selecionado uma chapa de 4,75mm que segundo a tabela atende aos requisitos necessários, através do catálogo de chapas (Alcotel, 2019) com as seguintes dimensionamentos e dados nas tabelas 10 e 11.

**Tabela 10:** Catálogo de Chapas Galvanizadas

| Espessura |      | Peso Teórico<br>kg/m <sup>2</sup> |
|-----------|------|-----------------------------------|
| pol.      | mm   |                                   |
| 1/8"      | 3,00 | 27,00                             |
| 3/16"     | 4,75 | 41,00                             |
| 1/4"      | 6,30 | 54,00                             |
| 5/16"     | 8,00 | 68,00                             |
| 3/8"      | 9,50 | 81,00                             |

Fonte: ADPTADO de Acotel, 2019.

$$Pp: 41 \text{ kg/m}^2 = 940.85 \text{ N}$$

$$E: 205 \text{ mpa}$$

**Tabela 11:** Fórmulas para chapas com arestas retas e espessura constante

| Case no.,<br>shape, and supports                                                                                                                             | Case no., loading                                                                              | Formulas and tabulated specific values                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |        |        |        |        |        |          |        |        |          |  |       |     |     |     |     |     |     |          |         |       |          |         |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|---------|-------|----------|---------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <div>1. Rectangular plate; all<br/>edges simply supported</div> <div></div> | 1a. Uniform over entire<br>plate                                                               | <div>(At center) <math>\sigma_{max} = \sigma_y = \frac{\beta q b^2}{\rho^2}</math> and <math>y_{max} = \frac{-\alpha q b^4}{E \rho^3}</math></div> <div>(At center of long sides) <math>R_{max} = \gamma q b</math></div> <table><tr><td><math>a/b</math></td><td>1.0</td><td>1.2</td><td>1.4</td><td>1.6</td><td>1.8</td><td>2.0</td><td>3.0</td><td>4.0</td><td>5.0</td><td><math>\infty</math></td></tr><tr><td><math>\beta</math></td><td>0.2874</td><td>0.3762</td><td>0.4530</td><td>0.5172</td><td>0.5688</td><td>0.6102</td><td>0.7134</td><td>0.7410</td><td>0.7476</td><td>0.7500</td></tr><tr><td><math>\alpha</math></td><td>0.0444</td><td>0.0616</td><td>0.0770</td><td>0.0906</td><td>0.1017</td><td>0.1110</td><td>0.1335</td><td>0.1400</td><td>0.1417</td><td>0.1421</td></tr><tr><td><math>\gamma</math></td><td>0.420</td><td>0.455</td><td>0.478</td><td>0.491</td><td>0.499</td><td>0.503</td><td>0.505</td><td>0.502</td><td>0.501</td><td>0.500</td></tr></table> <div>(Ref. 21 for <math>\nu = 0.3</math>)</div> |        |        |        |        |        |          |        |        |          |  | $a/b$ | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2.0 | 3.0      | 4.0     | 5.0   | $\infty$ | $\beta$ | 0.2874 | 0.3762 | 0.4530 | 0.5172 | 0.5688   | 0.6102 | 0.7134 | 0.7410 | 0.7476 | 0.7500 | $\alpha$ | 0.0444 | 0.0616 | 0.0770 | 0.0906 | 0.1017 | 0.1110 | 0.1335 | 0.1400 | 0.1417 | 0.1421 | $\gamma$ | 0.420 | 0.455 | 0.478 | 0.491 | 0.499 | 0.503 | 0.505 | 0.502 | 0.501 | 0.500 |
|                                                                                                                                                              | $a/b$                                                                                          | 1.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1.2    | 1.4    | 1.6    | 1.8    | 2.0    | 3.0      | 4.0    | 5.0    | $\infty$ |  |       |     |     |     |     |     |     |          |         |       |          |         |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                                                                                                                                              | $\beta$                                                                                        | 0.2874                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0.3762 | 0.4530 | 0.5172 | 0.5688 | 0.6102 | 0.7134   | 0.7410 | 0.7476 | 0.7500   |  |       |     |     |     |     |     |     |          |         |       |          |         |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                                                                                                                                              | $\alpha$                                                                                       | 0.0444                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0.0616 | 0.0770 | 0.0906 | 0.1017 | 0.1110 | 0.1335   | 0.1400 | 0.1417 | 0.1421   |  |       |     |     |     |     |     |     |          |         |       |          |         |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                                                                                                                                              | $\gamma$                                                                                       | 0.420                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0.455  | 0.478  | 0.491  | 0.499  | 0.503  | 0.505    | 0.502  | 0.501  | 0.500    |  |       |     |     |     |     |     |     |          |         |       |          |         |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                                                                                                                                              | 1b. Uniform over small<br>concentric circle of<br>radius $r_0$ (note<br>definition of $r_0'$ ) | <div>(At center) <math>\sigma_{max} = \frac{3W}{2\pi \rho^2} \left[ (1 + \nu) \ln \frac{2b}{\pi r_0'} + \beta \right]</math></div> <div><math>y_{max} = \frac{-\alpha W b^2}{E \rho^3}</math></div> <table><tr><td><math>a/b</math></td><td>1.0</td><td>1.2</td><td>1.4</td><td>1.6</td><td>1.8</td><td>2.0</td><td><math>\infty</math></td></tr><tr><td><math>\beta</math></td><td>0.435</td><td>0.650</td><td>0.789</td><td>0.875</td><td>0.927</td><td>0.958</td><td>1.000</td></tr><tr><td><math>\alpha</math></td><td>0.1267</td><td>0.1478</td><td>0.1621</td><td>0.1715</td><td>0.1770</td><td>0.1805</td><td>0.1851</td></tr></table> <div>(Ref. 21 for <math>\nu = 0.3</math>)</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |        |        |        |        |          |        |        |          |  | $a/b$ | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2.0 | $\infty$ | $\beta$ | 0.435 | 0.650    | 0.789   | 0.875  | 0.927  | 0.958  | 1.000  | $\alpha$ | 0.1267 | 0.1478 | 0.1621 | 0.1715 | 0.1770 | 0.1805   | 0.1851 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                                                                                                                                              | $a/b$                                                                                          | 1.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1.2    | 1.4    | 1.6    | 1.8    | 2.0    | $\infty$ |        |        |          |  |       |     |     |     |     |     |     |          |         |       |          |         |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                                                                                                                                              | $\beta$                                                                                        | 0.435                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0.650  | 0.789  | 0.875  | 0.927  | 0.958  | 1.000    |        |        |          |  |       |     |     |     |     |     |     |          |         |       |          |         |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                                                                                                                                              | $\alpha$                                                                                       | 0.1267                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0.1478 | 0.1621 | 0.1715 | 0.1770 | 0.1805 | 0.1851   |        |        |          |  |       |     |     |     |     |     |     |          |         |       |          |         |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Fonte: ADPTADO de "Roark's Formulas for Stress and Strain" (YOUNG, Warren C. e BUDYNAS, Richard G. 1989)

### 3.3 CÁLCULO ANALÍTICO

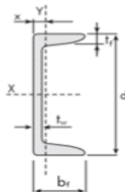
#### 3.3.1 Cálculos de Momento Fletor, Esforço Cortante e Tensões

Para o fundo da cabine foi selecionado o perfil U de 3 polegadas conforme a tabela 12, as quais sofram maior esforço, onde essas foram divididas em cinco, sendo uma com comprimentos de 1.228mm, duas com 1.300mm de comprimento e duas com 1.800mm de comprimento.

Vendo e suas características demonstradas nas tabelas 12, 13 e 14, para encontrar o esforço máximo que será colocado sobre essa estrutura.

Tabela 12: Perfis U

| Bitola | Peso    | ALMA   |                | ABA            |                |                 | EIXO X          |                 |       | EIXO Y          |                 |      |      |
|--------|---------|--------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|-----------------|-----------------|------|------|
|        | Nominal | d      | t <sub>w</sub> | b <sub>f</sub> | t <sub>f</sub> | area            | I               | W               | r     | I               | W               | r    | x    |
| pol    | kg/m    | mm     | mm             | mm             | mm             | cm <sup>2</sup> | cm <sup>4</sup> | cm <sup>3</sup> | cm    | cm <sup>4</sup> | cm <sup>3</sup> | cm   | cm   |
| 3"     | 6.10    | 76,20  | 4,32           | 35,81          | 6,93           | 7,78            | 68,90           | 18,10           | 2,98  | 8,20            | 3,32            | 1,03 | 1,11 |
|        | 7.44    |        | 6,55           | 35,05          | 6,93           | 9,48            | 77,20           | 20,30           | 2,85  | 10,30           | 3,82            | 1,04 | 1,11 |
| 4"     | 8.04    | 101,60 | 4,67           | 40,23          | 7,52           | 10,10           | 159,50          | 31,40           | 3,97  | 13,10           | 4,61            | 1,14 | 1,16 |
|        | 9.30    |        | 6,27           | 41,83          | 7,52           | 11,90           | 174,40          | 34,30           | 3,84  | 15,50           | 5,10            | 1,14 | 1,15 |
| 6"     | 12,20   | 152,40 | 5,08           | 48,77          | 8,71           | 15,50           | 546,00          | 71,70           | 5,94  | 28,80           | 8,16            | 1,36 | 1,30 |
|        | 15,62   |        | 7,98           | 51,66          | 8,71           | 19,90           | 632,00          | 82,90           | 5,63  | 36,00           | 9,24            | 1,34 | 1,27 |
| 8"     | 17,10   | 203,20 | 5,59           | 57,40          | 9,50           | 21,68           | 1344,30         | 132,70          | 7,87  | 54,10           | 12,94           | 1,42 | 1,41 |
|        | 20,50   |        | 7,70           | 59,51          | 9,50           | 25,93           | 1490,00         | 147,50          | 7,59  | 62,40           | 14,09           | 1,42 | 1,42 |
| 10"    | 22,77   | 254,00 | 6,10           | 66,04          | 11,10          | 29,00           | 2800,00         | 221,00          | 9,84  | 95,00           | 19,00           | 1,81 | 1,61 |
|        | 29,76   |        | 9,63           | 69,57          | 11,10          | 37,90           | 3290,00         | 259,00          | 9,31  | 117,00          | 21,60           | 1,76 | 1,54 |
| 12"    | 30,80   | 305,00 | 7,20           | 74,00          | 12,70          | 39,30           | 5370,00         | 352,00          | 11,70 | 161,00          | 28,30           | 2,03 | 1,77 |
|        | 37,00   |        | 9,80           | 77,00          | 12,70          | 47,40           | 6010,00         | 394,00          | 11,30 | 186,00          | 30,90           | 1,98 | 1,71 |



Fonte: ADAPTADO DE <<https://www2.gerdau.com.br/produtos/perfil-u-gerdau>> Acesso 31 de set. 2019

Tabela 13: Propriedades Mecânicas dos Aços Estruturais

| PROPRIEDADES                       |            |                        |                               |
|------------------------------------|------------|------------------------|-------------------------------|
| Módulo de Elasticidade             | E          | 205 GPa                | 2.090.418 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Coefficiente de Poisson            | $\nu_a$    | 0,3                    |                               |
| Coefficiente de Dilatação Térmica  | $\beta$    | 12x10 <sup>-6</sup> °C |                               |
| Peso Específico                    | $\gamma_a$ | 78 kN/m <sup>3</sup>   | 7953,8 kg                     |
| Módulo de Elasticidade Transversal | G          | 78,93 GPa              | 804861,8 kgf/cm <sup>2</sup>  |

Fonte: ADAPTADO DE  
<<http://tranal.com.br/produto/acos-carbono-tabela-de-propriedades-mecanicas/>> Acesso 31 de set. 2019.

**Tabela 14:** Classificação dos Aços para Fins Estruturais Serie ASTM

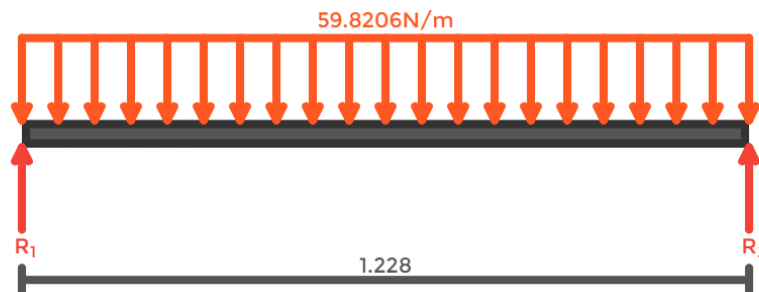
| Especificação     | Equivalência<br>NBR 7007 | Limite de Escoamento<br>Mín. (MPa) | Limite de Resistência<br>(MPa) | Alongamento<br>200 mm (%) | Alongamento<br>50 mm (%) |
|-------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| ASTM A36          | MR 250                   | 250                                | 400-550                        | 20                        | 21                       |
| ASTM A572 Grau 50 | AR 350                   | 350                                | 450 mín.                       | 18                        | 21                       |
| ASTM A572 Grau 60 | AR 415                   | 415                                | 520 mín.                       | 16                        | 18                       |
| ASTM A588         | AR 350 COR               | 350                                | 485 mín.                       | 18                        | 21                       |

Fonte: ADAPTADO DE

<<http://tranal.com.br/produto/acos-carbono-tabela-de-propriedades-mecanicas/>> Acesso 31 de set.  
2019.

### 3.3.2 Análise da peça 1 devido ao peso próprio.

A equação de equilíbrio é utilizada para mostrar qualquer parte isolada ou porção de uma estrutura a ser analisada. Para encontrarmos as reações nos apoios é necessário verificar o equilíbrio de forças na vertical, para garantir que a viga não se mova nem para cima nem para baixo, e o equilíbrio de momentos, para garantir que a viga não irá girar. O diagrama de corpo livre da viga demonstrado na figura 22.

**Figura 22:** DCL peça 1 devido ao peso próprio

Fonte: Autor, 2019

Sabendo se que o peso próprio da viga é 59.82 N/m, fazendo o equilíbrio de forças na vertical, encontra-se:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow W_1 - R_1 - R_2 = 0$$

Em que: R representa as reações; W representa a força total causada por uma força distribuída. Para calcular a esta força total se calcula a área abaixo da carga distribuída, portanto:

$$\text{Carga 1, retangular: } W_1 = w(x_f - x_i) = 59,82 [(1.228) - (0)] = 73,46 \text{ N}$$

Em que  $x_i$  e  $x_f$  representam a posição inicial e final de aplicação da carga, respectivamente, e  $w_i$  e  $w_f$ , os valores, em N/m, iniciais e finais da carga distribuída. Portanto, substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$R_1 + R_2 = 73,46 \text{ N}$$

Fazendo o equilíbrio dos momentos no primeiro apoio, encontra-se:

$$\sum M = 0 \rightarrow R_2(x_{\text{apoio 2}} - x_{\text{apoio 1}}) - W_1(x_{\text{força 1}} - x_{\text{apoio 1}}) = 0$$

Em que  $x$  representa a posição de aplicação equivalente da carga distribuída, que é o centroide da geometria, calculado como:

$$\text{Carga 1, retangular: } x = \frac{(x_i + x_f)}{2} = \frac{(0 + 1.228)}{2} = 0.614 \text{ m}$$

Substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$R_2(1.228-0) = +(90.24)(0.614-0) \rightarrow 1.228R_2=45,11\text{N}$$

Das duas equações, encontra-se o seguinte sistema:

$$R_1+R_2=73,46\text{ N}$$

$$1.228R_2=45,11\text{N}$$

Resolvendo o sistema, encontra-se:

$$R_1=36,73\text{N}$$

$$R_2=36.73\text{N}$$

Para encontrar a equação do esforço cortante, é necessário fazer o balanço de forças verticais em cada seção (que vão de 0 até x metros), ou seja:

$$\sum F_y + V(x) = 0$$

Em que  $V(x)$  é o valor do esforço cortante na posição x.

Seção 1 ( $0 \leq x \leq 1.228\text{mm}$ )

Resolvendo o balanço de forças na seção:

$$W_1x - R_1 + V(x) = 0$$

Em que  $W_1x$  representa a carga distribuída aplicada apenas até a posição x, e não a carga completa, até  $x_f$ , calculada como:

$$\text{Carga 1, retangular: } W_1x = w(x-x_i) = 59.82x - 0$$

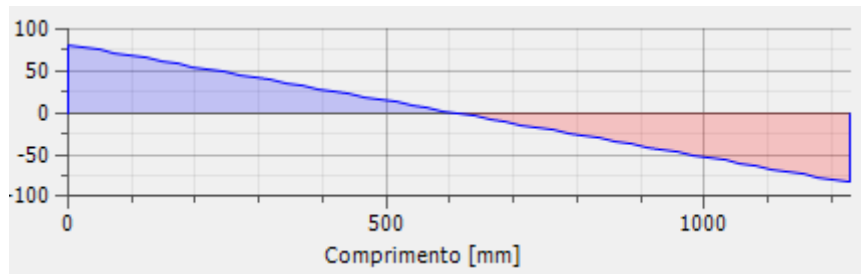
Substituindo os valores numéricos, encontra-se

$$V(x) = -59,82x + 36.73$$

$$V_{\max} = 0$$

Gráfico esforço cortante na figura 23:

**Figura 23:** Gráfico esforço cortante peça 1 devido ao peso próprio.



Fonte: Autor, 2019.

Para encontrar a equação do momento fletor, é necessário fazer o balanço do momento em cada seção (que vão de 0 até x metros), ou seja:

$$\sum Fy(x-x_{\text{carga}}) + \sum M + M(x) = 0$$

Em que  $M(x)$  é o valor do momento fletor na posição  $x$ .

Seção 1 ( $0 \leq x \leq 1.228$ )

Resolvendo o balanço de momentos na seção:

$$W1x(x-x' \text{ força } 1) - R1(x-x_{\text{apoio } 1}) + M(x) = 0$$

Em que  $W1x(x-x')$  representa o momento equivalente à carga distribuída aplicada apenas até a posição  $x$ , e não a carga completa, até  $x_f$ :

$$\text{Carga 1, retangular: } W1x(x-x' \text{ força } 1) = \frac{w}{2} (x-x_i)^2 = 29.91x^2 - 0x - 0$$

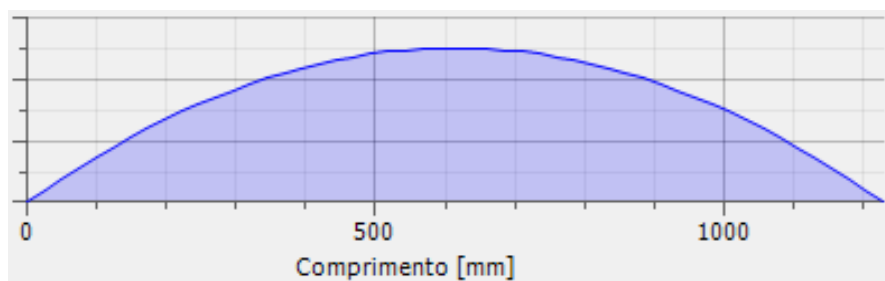
Substituindo os valores numéricos, encontra-se

$$M(x) = -29.91x^2 + 36.73x$$

$$MG = 22.56 \text{ N.m}$$

Gráfico momento fletor na figura 24:

**Figura 24:** Gráfico momento fletor peça 1 devido ao peso próprio.

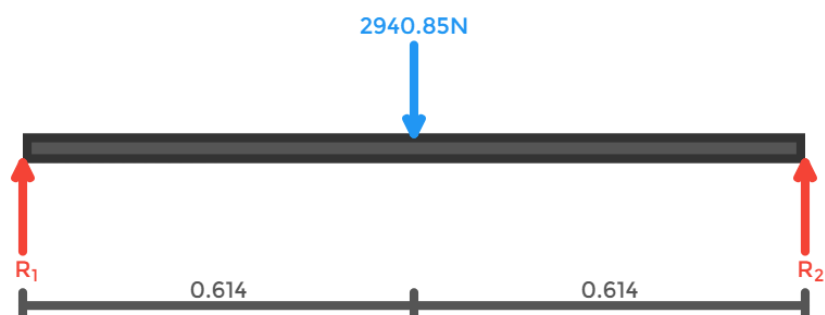


Fonte: Autor, 2019.

### 3.3.2.1 Análise do peça 1 dedido a carga.

Para encontrarmos as reações nos apoios, é necessário verificar o equilíbrio de forças na vertical, para garantir que a viga não se mova nem para cima nem para baixo, e o equilíbrio de momentos, para garantir que a viga não irá girar. Sabendo que a carga de utilização e de 2.000 N e o peso da chapa do fundo 940.85 N =2.941N O diagrama de corpo livre da viga está na figura 25.

**Figura 25:** DCL peça 1 devido a carga.



Fonte: Autor, 2019.

Portanto, fazendo o equilíbrio de forças na vertical, encontra-se:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_1 - R_1 - R_2 = 0$$

Em que: R representa as reações; F representa forças pontuais. Portanto, substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$R_1 + R_2 = 2.941 \text{ N}$$

Fazendo o equilíbrio dos momentos no primeiro apoio, encontra-se:

$$\sum M = 0 \rightarrow R_2(x_{\text{apoio 2}} - x_{\text{apoio 1}}) - F_1(x_{\text{força 1}} - x_{\text{apoio 1}}) = 0$$

Substituindo os valores numéricos, encontra-se

$$R_2(1.228 - 0) = +(2.940)(0.614 - 0) \rightarrow 1.228 R_2 = 1.806 \text{ N}$$

Das duas equações, encontra-se o seguinte sistema:

$$R_1 + R_2 = 2.941 \text{ N}$$

$$1.228 R_2 = 1.806 \text{ N}$$

Resolvendo o sistema, encontra-se:

$$R_1 = 1.470 \text{ N}$$

$$R_2 = 1.470 \text{ N}$$

Para encontrar a equação do esforço cortante, é necessário fazer o balanço de forças verticais em cada seção (que vão de 0 até x metros), ou seja:

$$\sum F_y + V(x) = 0$$

Em que V(x) é o valor do esforço cortante na posição x.

Seção 1 ( $0 \leq x \leq 0.614$ )

Resolvendo o balanço de forças na seção:

$$-R_1 + V(x) = 0$$

Substituindo os valores numéricos, encontra-se

$$V(x) = 1.470$$

Seção 2 ( $0.614 \leq x \leq 1.228$ )

Resolvendo o balanço de forças na seção:

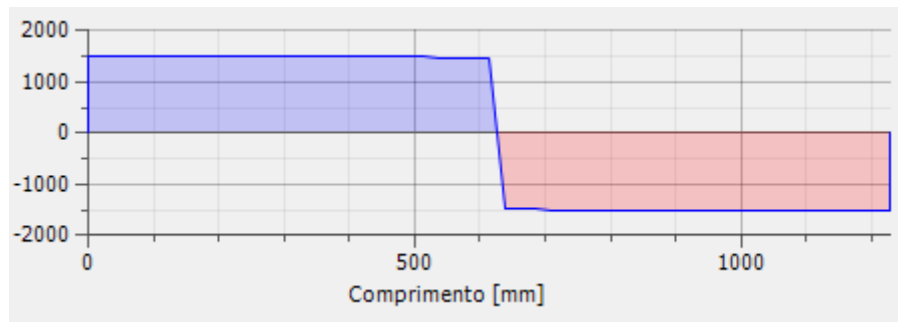
$$F_1 - R_1 + V(x) = 0 \quad F_1 - R_1 + V(x) = 0$$

Substituindo os valores numéricos, encontra-se

$$V(x) = -1.470$$

Gráfico esforço cortante está na figura 26:

**Figura 26:** Gráfico esforço cortante peça 1 devido a carga.



Fonte: Autor, 2019.

Para encontrar a equação do momento fletor, é necessário fazer o balanço do momento em cada seção (que vão de 0 até x metros), ou seja:

$$\sum Fy(x-x_{\text{carga}}) + \sum M + M(x) = 0$$

Em que  $M(x)$  é o valor do momento fletor na posição  $x$ .

Seção 1 ( $0 \leq x \leq 614$ )

Resolvendo o balanço de momentos na seção:

$$-R_1(x - x_{\text{apoio 1}}) + M(x) = 0$$

Substituindo os valores numéricos, encontra-se

$$M(x) = 1470.425x$$

Seção 2 ( $614 \leq x \leq 1.228$ )

Resolvendo o balanço de momentos na seção:

$$F_1(x - x_{\text{força 1}}) - R_1(x - x_{\text{apoio 1}}) + M(x) = 0$$

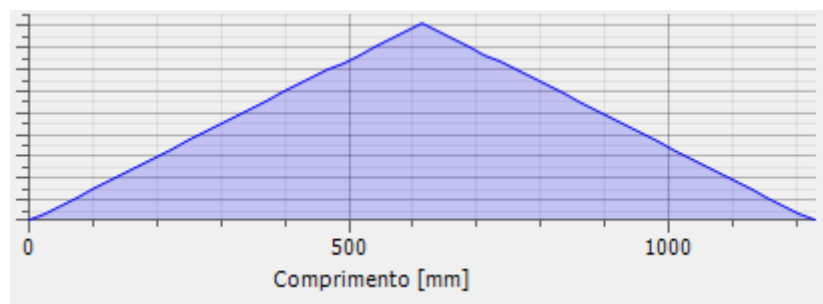
Substituindo os valores numéricos, encontra-se

$$M(x) = -1.470x + 1.228$$

$$M_{\max} = 914.25 \text{ N.m}$$

Gráfico de momento fletor está na figura 27:

**Figura 27:** Gráfico momento fletor peça 1 devido a carga.



Fonte: Autor, 2019.

### 3.3.2.2 Verificação contra o escoamento:

É feito como verificação contra o escoamento da viga a equação da tensão equivalente de Von Misses, porém antes da verificação é aplicada todos os fatores já vistos anteriormente impostos pela NBR 8400.

Tensão admissível:

$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$F_s = 1,5$$

$$\sigma_a = \frac{F_y}{F_s} \rightarrow \sigma_a = \frac{250}{1,5} \rightarrow \sigma_a = 166,66 \text{ MPa}$$

Cisalhamento admissível:

$$\tau_a = \frac{166,66}{\sqrt{3}} = 95,84 \text{ MPa}$$

Momento resultante:

$$\sigma_G = \frac{22.59}{18,10} = 1,24 \text{ MPa}$$

$$\sigma_L = \frac{914.25}{104,1} = 50,51 \text{ MPa}$$

Cisalhamento resultante:

carga de utilização e de 2.000 N e o peso da chapa do fundo 940.85 N  
=2.941N

$$F = 2.941 \text{ N}$$

$$\text{Área} = 7,78 \text{ cm}^2$$

$$\tau_x = \frac{F}{A} \rightarrow \tau_x = \frac{2.940,85}{7,78} \rightarrow \tau_x = 3,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x = M_x * (\sigma_G + \psi * \sigma_L)$$

$$\sigma_x = 1,20 * (1,24 + 1,3 * 50,51) = 80,28 \text{ MPa}$$

Von Mises

$$\sigma_{EQ} = \sqrt{80,28^2 + 3 * 3,78^2} = 80,54 \text{ MPa}$$

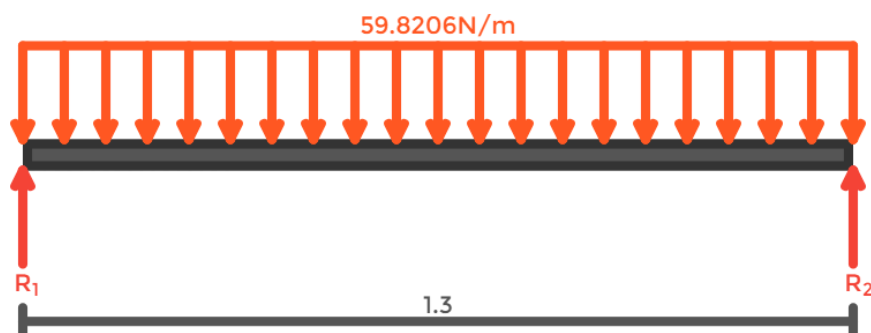
$$\sigma_a = 166 \text{ MPa}$$

$$80,54 \text{ MPa} < 166 \text{ MPa, OK}$$

### 3.3.3 Análise da peça 2 ao peso próprio.

Para encontrarmos as reações nos apoios, é necessário verificar o equilíbrio de forças na vertical, para garantir que a viga não se mova nem para cima nem para baixo, e o equilíbrio de momentos, para garantir que a viga não irá girar. O diagrama de corpo livre da viga está na figura 27.

**Figura 28:** DCL peça 2 devido ao peso próprio.



Fonte: Autor, 2019.

Portanto, fazendo o equilíbrio de forças na vertical, encontra-se:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow W_1 - R_1 - R_2 = 0$$

Em que: R representa as reações; W representa a força total causada por uma força distribuída. Para calcular a esta força total se calcula a área abaixo da carga distribuída, portanto:

$$\text{Carga 1, retangular: } W_1 = w(x_f - x_i) = 59,83[(1,3) - (0)] = 77,77\text{N}$$

Em que  $x_i$  e  $x_f$  representam a posição inicial e final de aplicação da carga, respectivamente, e  $w_i$  e  $w_f$ , os valores, em N/m, iniciais e finais da carga distribuída. Portanto, substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$R_1 + R_2 = 77,77\text{ N}$$

Fazendo o equilíbrio dos momentos no primeiro apoio, encontra-se:

$$\sum M = 0 \rightarrow R_2(x_{\text{apoio 2}} - x_{\text{apoio 1}}) - W_1(x'_{\text{força 1}} - x_{\text{apoio 1}}) = 0$$

Em que  $x'$  representa a posição de aplicação equivalente da carga distribuída, que é o centroide da geometria, calculado como:

$$\text{Carga 1, retangular: } x' = x_i + x_f/2 = 0 + 1,3/2 = 0,65\text{m}$$

Substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$R_2(1,3 - 0) = +(77,77)(0,65 - 0) \rightarrow 1,3R_2 = 50,55\text{ N}$$

Das duas equações, encontra-se o seguinte sistema:

$$R_1 + R_2 = 77,77\text{ N}$$

$$1,3R_2 = 50,55\text{ N}$$

Resolvendo o sistema, encontra-se:

$$R1=38.88 \text{ N}$$

$$R2=38.88 \text{ N}$$

Para encontrar a equação do esforço cortante, é necessário fazer o balanço de forças verticais em cada seção (que vão de 0 até x metros), ou seja:

$$\sum F_y + V(x) = 0$$

Em que  $V(x)$  é o valor do esforço cortante na posição x.

Seção 1 ( $0 \leq x \leq 1.300$ )

Resolvendo o balanço de forças na seção:

$$W1x - R1 + V(x) = 0$$

Em que  $W1x$  representa a carga distribuída aplicada apenas até a posição x, e não a carga completa, até  $x_f$ , calculada como:

$$\text{Carga 1, retangular: } W1x = w(x - x_i) = 59.82 \text{ x} - 0$$

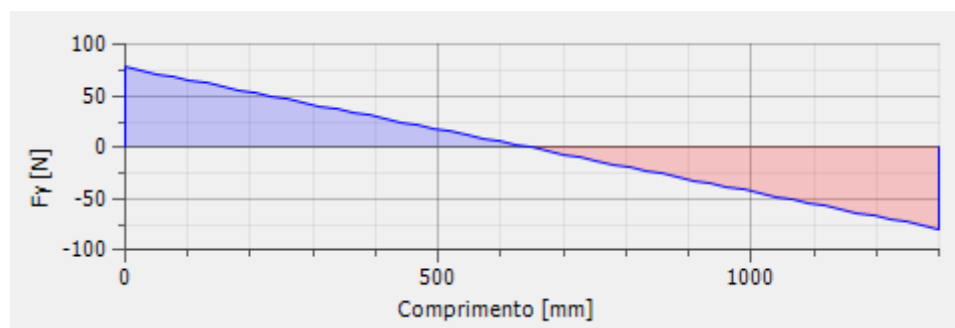
Substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$V(x) = -59.82x + 38.88$$

$$V(X)_{\text{max}} = 0$$

Gráfico esforço Cortante na figura 29:

**Figura 29:** Gráfico esforço cortante peça 2 devido ao peso próprio.



Para encontrar a equação do momento fletor, é necessário fazer o balanço do momento em cada seção (que vão de 0 até x metros), ou seja:

$$\sum F a(x - \text{carga}) + \sum M + M(x) = 0$$

Em que  $M(x)$  é o valor do momento fletor na posição  $x$ .

Seção 1 ( $0 \leq x \leq 1300$ )

Resolvendo o balanço de momentos na seção:

$$W1x(x - x' \text{ força } 1) - R1(x - x_{\text{apoio } 1}) + M(x) = 0$$

Em que  $W1x(x - x')$  representa o momento equivalente à carga distribuída aplicada apenas até a posição  $x$ , e não a carga completa, até  $x_f$ :

$$\text{Carga 1, retangular: } W1x(x - x' \text{ força } 1) = \frac{w}{2} (x - x_i)^2 = 29.91 x^2 - 0x - 0$$

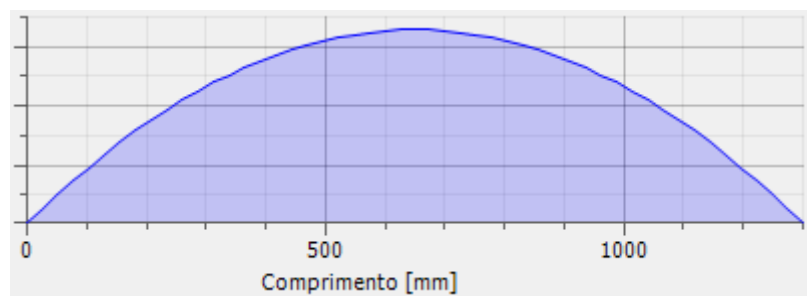
Substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$M(x) = -29.91 x^2 + 38.8834x$$

$$M(X)_{\text{max}} = 25.300 \text{ N}$$

Gráfico momento fletor na figura 30:

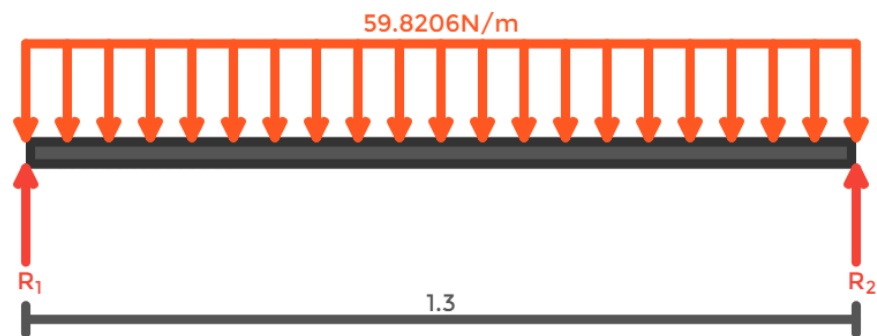
**Figura 30:** Gráfico momento fletor peça 2 devido ao peso próprio.



### 3.3.3.1 Análise da peça 2 devido a carga.

Para encontrarmos as reações nos apoios, é necessário verificar o equilíbrio de forças na vertical, para garantir que a viga não se mova nem para cima nem para baixo, e o equilíbrio de momentos, para garantir que a viga não irá girar. O diagrama de corpo livre da viga está na figura 31:

**Figura 31:** DCL peça 2 devido ao peso próprio.



Fonte: Autor, 2019.

Portanto, fazendo o equilíbrio de forças na vertical, encontra-se:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_1 - R_1 - R_2 = 0$$

Em que: R representa as reações; F representa forças pontuais. Portanto, substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$R_1 + R_2 = 2.941 \text{ N}$$

Fazendo o equilíbrio dos momentos no primeiro apoio, encontra-se:

$$\sum M = 0 \rightarrow R_2(x_{\text{apoio 2}} - x_{\text{apoio 1}}) - F_1(x_{\text{força 1}} - x_{\text{apoio 1}}) = 0$$

Substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$R_2(1.3 - 0) = +(2.940)(0.65 - 0) \rightarrow 1.3R_2 = 1.912 \text{ N}$$

Das duas equações, encontra-se o seguinte sistema:

$$R_1 + R_2 = 2.941 \text{ N}$$

$$1.3R_2 = 1.911 \text{ N}$$

Resolvendo o sistema, encontra-se:

$$R_1 = 1.470 \text{ N}$$

$$R_2 = 1.470 \text{ N}$$

Para encontrar a equação do esforço cortante, é necessário fazer o balanço de forças verticais em cada seção (que vão de 0 até x metros), ou seja:

$$\sum F_y + V(x) = 0$$

Em que  $V(x)$  é o valor do esforço cortante na posição  $x$ .

Seção 1 ( $0 \leq x \leq 0.65$ )

Resolvendo o balanço de forças na seção:

$$-R_1 + V(x) = 0$$

Substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$V(x) = 1.470$$

Seção 2 ( $0.65 \leq x \leq 1.3$ ) ( $0.65 \leq x \leq 1.3$ )

Resolvendo o balanço de forças na seção:

$$F_1 - R_1 + V(x) = 0$$

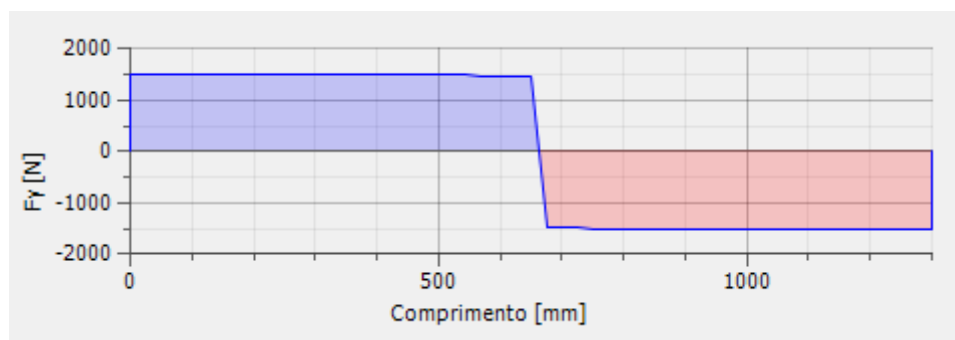
Substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$V(x) = -1.470$$

$$V_{\max} = 0$$

Gráfico esforço cortante está na figura 32.

**Figura 32:** Gráfico esforço cortante peça 2 devido a carga.



Para encontrar a equação do momento fletor, é necessário fazer o balanço do momento em cada seção (que vão de 0 até x metros), ou seja:

$$\sum Fy(x-x_{\text{carga}}) + \sum M + M(x) = 0$$

Em que  $M(x)$  é o valor do momento fletor na posição x.

Seção 1 ( $0 \leq x \leq 6,50$ )

Resolvendo o balanço de momentos na seção:

$$-R_1(x - x_{\text{apoio 1}}) + M(x) = 0 \quad -R_1(x - x_{\text{apoio 1}}) + M(x) = 0$$

Substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$M(x) = 1.470x$$

Seção 2 ( $0,65 \leq x \leq 1,3$ ) ( $0,65 \leq x \leq 1,3$ )

Resolvendo o balanço de momentos na seção:

$$F_1(x - x_{\text{força 1}}) - R_1(x - x_{\text{apoio 1}}) + M(x) = 0$$

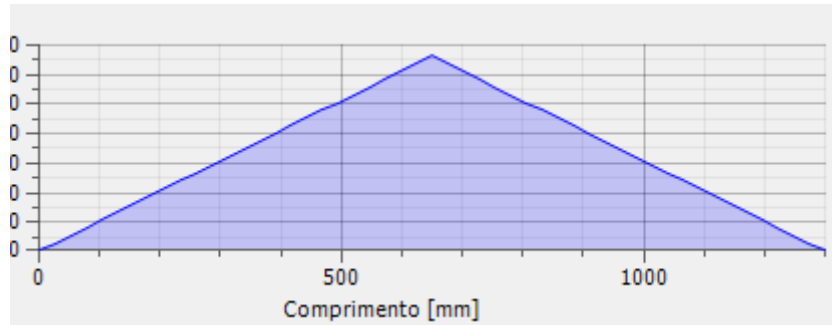
Substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$M(x) = -1.470x + 1.911$$

$$M_{\text{max}} = 968.44 \text{ N}$$

Gráfico momento fletor está na figura 33:

**Figura 33:** Gráfico momento fletor peça 2 devido a carga.



Fonte: Autor, 2019

### 3.3.3.2 Verificação contra o escoamento

É feito como verificação contra o escoamento da viga a equação da tensão equivalente de Von Mises, porém antes da verificação é aplicada todos os fatores já vistos anteriormente impostos pela NBR 8400.

Tensão admissível:

$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$F_s = 1,5$$

$$\sigma_a = \frac{F_y}{F_s} \rightarrow \sigma_a = \frac{250}{1,5} \rightarrow \sigma_a = 166,66 \text{ MPa}$$

Cisalhamento admissível:

$$\tau_a = \frac{166,66}{\sqrt{3}} = 95,84 \text{ MPa}$$

Momento resultante:

$$\sigma_G = \frac{25,30}{18,10} = 1,39 \text{ MPa}$$

$$\sigma_L = \frac{968,4391}{18,10} = 53,50 \text{ MPa}$$

Cisalhamento resultante:

carga de utilização e de 2000 N e o peso da chapa do fundo 940.85 N =2.940N

$$F = 2.940\text{N}$$

$$\text{Área} = 7,78 \text{ cm}^2$$

$$\tau_x = \frac{F}{A} \rightarrow \tau_x = \frac{2.940,85}{7,78} \rightarrow \tau_x = 3,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x = M_x * (\sigma_G + \psi * \sigma_L)$$

$$\sigma_x = 1,20 * (1,39 + 1,3 * 53,50) = 85,13 \text{ MPa}$$

Von Mises

$$\sigma_{EQ} = \sqrt{80,28^2 + 3 * 3,78^2} = 85,53 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = 166 \text{ MPa}$$

$$85,53 \text{ MPa} < 166 \text{ MPa, OK}$$

### 3.3.4 Análise da Peça 3 dedido ao peso próprio.

Para encontrarmos as reações nos apoios, é necessário verificar o equilíbrio de forças na vertical, para garantir que a viga não se mova nem para cima nem para baixo, e o equilíbrio de momentos, para garantir que a viga não irá girar.

Portanto, fazendo o equilíbrio de forças na vertical, encontra-se:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow W_1 - R_1 - R_2 = 0$$

Em que: R representa as reações; W representa a força total causada por uma força distribuída. Para calcular a esta força total se calcula a área abaixo da carga distribuída, portanto:

$$\text{Carga 1, retangular: } W_1 = w(x_f - x_i) = 59.82[(1.8) - (0)] = 107,68\text{N}$$

Em que  $x_i$  e  $x_f$  representam a posição inicial e final de aplicação da carga, respectivamente, e  $w_i$  e  $w_f$ , os valores, em N/m, iniciais e finais da carga distribuída.

Portanto, substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$R_1 + R_2 = 107,68\text{N}$$

Fazendo o equilíbrio dos momentos no primeiro apoio, encontra-se:

$$\sum M = 0 \rightarrow R_2(x \text{ apoio 2} - x \text{ apoio 1}) - W_1(x' \text{ força 1} - x \text{ apoio 1}) = 0$$

Em que  $x'$  representa a posição de aplicação equivalente da carga distribuída, que é o centroide da geometria, calculado como:

$$\text{Carga 1, retangular: } x' = x_i + x_f/2 = 0 + 1.8/2 = 0.9\text{m}$$

Substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$R_2(1.8-0) = +(107,68)(0.9-0) \rightarrow 1.8 R_2 = 96,91 \text{ N.}$$

Das duas equações, encontra-se o seguinte sistema:

$$R_1 + R_2 = 107,68\text{N}$$

$$1.8R_2 = 96,91 \text{ N}$$

Resolvendo o sistema, encontra-se:

$$R_1 = 53.84\text{N}$$

$$R_2 = 53.84\text{N}$$

Para encontrar a equação do esforço cortante, é necessário fazer o balanço de forças verticais em cada seção (que vão de 0 até x metros), ou seja:

$$\sum F_y + V(x) = 0$$

Em que  $V(x)$  é o valor do esforço cortante na posição x.

Seção 1 ( $0 \leq x \leq 1.800$ )

Resolvendo o balanço de forças na seção:

$$W_1x - R_1 + V(x) = 0 \quad W_1x - R_1 + V(x) = 0$$

Em que  $W_1x$  representa a carga distribuída aplicada apenas até a posição x, e não a carga completa, até  $x_f$ , calculada como:

$$\text{Carga 1, retangular: } W_1x = w(x - x_i) = 59.82x - 0$$

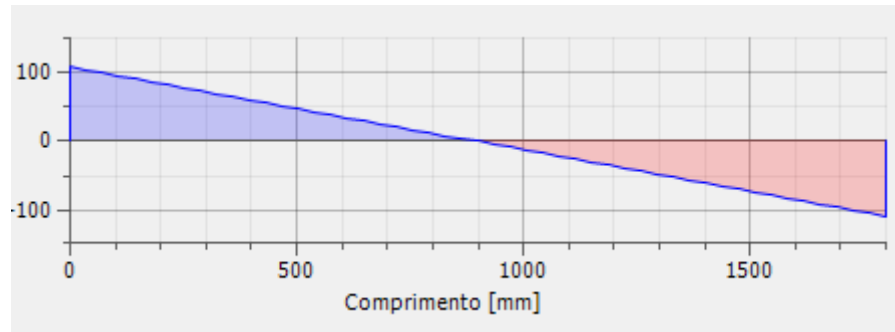
Substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$V(x) = -59.82x + 53.83$$

$$V_{\max} = 0$$

Gráfico esforço cortante está na figura 34.

**Figura 34:** Gráfico esforço cortante peça 3 devido ao peso próprio.



*Fonte: Autor, 2019.*

Para encontrar a equação do momento fletor, é necessário fazer o balanço do momento em cada seção (que vão de 0 até x metros), ou seja:

$$\sum Fy(x-x_{\text{carga}}) + \sum M + M(x) = 0$$

Em que  $M(x)$  é o valor do momento fletor na posição x.

Seção 1 ( $0 \leq x \leq 1.800$ )

Resolvendo o balanço de momentos na seção:

$$W1x(x-x' \text{ força } 1) - R1(x-x_{\text{apoio } 1}) + M(x) = 0$$

Em que  $W1x(x-x')$  representa o momento equivalente à carga distribuída aplicada apenas até a posição x, e não a carga completa, até xf:

$$\text{Carga 1, retangular: } W1x(x-x' \text{ força } 1) = \frac{w}{2} (x-x_i)^2 = 29.91x^2 - 0x - 0$$

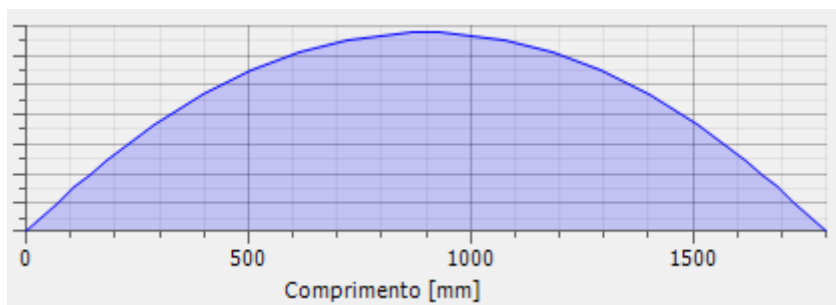
Substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$M(x) = -29.91x^2 + 53.84x$$

$$M_{\text{max}} = 48.50 \text{ N}$$

Gráfico de momento fletor está na figura 35.

**Figura 35:** Gráfico momento fletor peça 3 devido ao peso próprio.

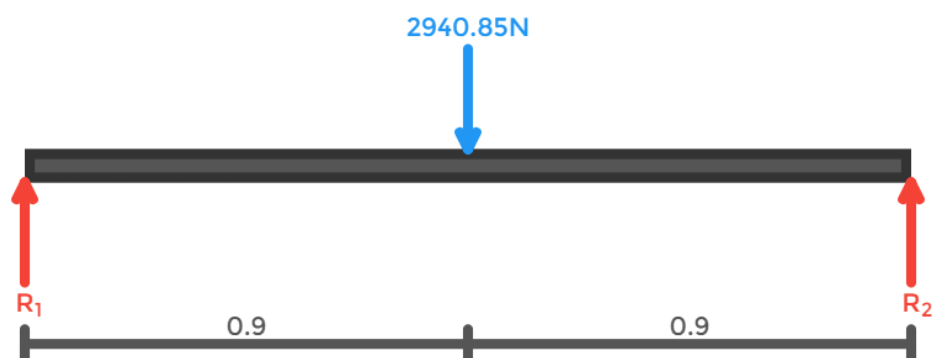


Fonte: Autor, 2019

#### 3.3.4.1 Análise da peça 3 devido a carga.

Para encontrarmos as reações nos apoios, é necessário verificar o equilíbrio de forças na vertical, para garantir que a viga não se mova nem para cima nem para baixo, e o equilíbrio de momentos, para garantir que a viga não irá girar. O diagrama de corpo livre da viga está na figura 36.

**Figura 36:** DCL peça 3 devido a carga



Fonte: Autor, 2019.

Portanto, fazendo o equilíbrio de forças na vertical, encontra-se:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_1 - R_1 - R_2 = 0$$

Em que: R representa as reações; F representa forças pontuais. Portanto, substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$R_1 + R_2 = 2.940 \text{ N}$$

Fazendo o equilíbrio dos momentos no primeiro apoio, encontra-se:

$$\sum M = 0 \rightarrow R_2(x_{\text{apoio 2}} - x_{\text{apoio 1}}) - F_1(x_{\text{força 1}} - x_{\text{apoio 1}}) = 0$$

Substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$R_2(1.8 - 0) = +(2940.85)(0.9 - 0) \rightarrow 1.8R_2 = 2.646 \text{ N}$$

Das duas equações, encontra-se o seguinte sistema:

$$R_1 + R_2 = 2.940 \text{ N}$$

$$1.8R_2 = 2.646 \text{ N}$$

Resolvendo o sistema, encontra-se:

$$R_1 = 1.470 \text{ N}$$

$$R_2 = 1.470 \text{ N}$$

Para encontrar a equação do esforço cortante, é necessário fazer o balanço de forças verticais em cada seção (que vão de 0 até x metros), ou seja:

$$\sum F_y + V(x) = 0$$

Em que  $V(x)$  é o valor do esforço cortante na posição x.

Seção 1 ( $0 \leq x \leq 9.00$ )

Resolvendo o balanço de forças na seção:

$$-R_1 + V(x) = 0$$

Substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$V(x) = 1.470$$

Seção 2 ( $9.00 \leq x \leq 1.800$ )

Resolvendo o balanço de forças na seção:

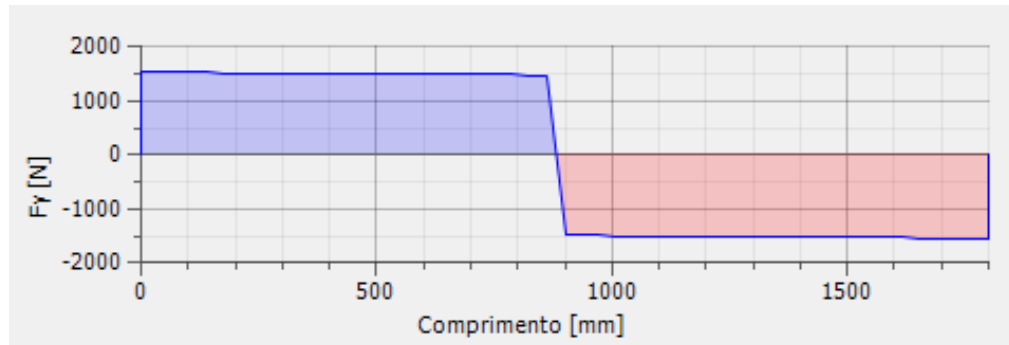
$$F_1 - R_1 + V(x) = 0$$

Substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$V(x) = -1.470$$

Gráfico esforço cortante está na figura 37.

**Figura 37:** Gráfico esforço cortante peça 3 devido a carga.



Fonte: Autor, 2019

Para encontrar a equação do momento fletor, é necessário fazer o balanço do momento em cada seção (que vão de 0 até x metros), ou seja:

$$\sum Fy(x-x_{\text{carga}}) + \sum M + M(x) = 0$$

Em que  $M(x)$  é o valor do momento fletor na posição  $x$ .

Seção 1 ( $0 \leq x \leq 900$ )

Resolvendo o balanço de momentos na seção:

$$-R1(x - x_{\text{apoio 1}}) + M(x) = 0 \quad -R1(x - x_{\text{apoio 1}}) + M(x) = 0$$

Substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$M(x) = 1.470x$$

Seção 2 ( $900 \leq x \leq 1.800$ )

Resolvendo o balanço de momentos na seção:

$$F1(x - x_{\text{força 1}}) - R1(x - x_{\text{apoio 1}}) + M(x) = 0$$

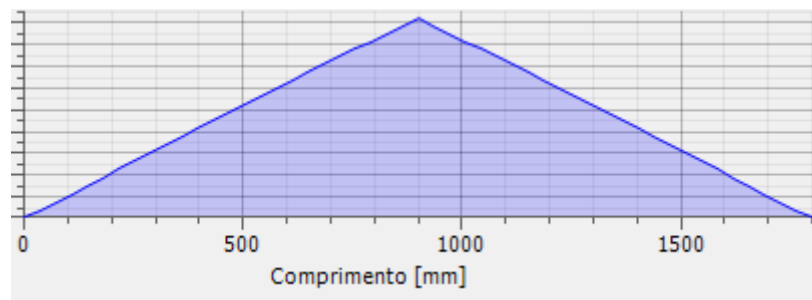
Substituindo os valores numéricos, encontra-se:

$$M(x) = -1.470x + 2.646$$

$$M_{\max} = 1.348 \text{ N}$$

Gráfico momento fletor está na figura 37:

**Figura 38:** Gráfico momento fletor peça 3 devido a carga



Fonte: Autor, 2019.

#### 3.3.4.2 Verificação contra o escoamento:

É feito como verificação contra o escoamento da viga a equação da tensão equivalente de Von Misses, porém antes da verificação é aplicada todos os fatores já vistos anteriormente impostos pela NBR 8400.

Tensão admissível:

$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$F_s = 1,5$$

$$\sigma_a = \frac{F_y}{F_s} \rightarrow \sigma_a = \frac{250}{1,5} \rightarrow \sigma_a = 166,66 \text{ MPa}$$

Cisalhamento admissível:

$$\tau_a = \frac{166,66}{\sqrt{3}} = 95,84 \text{ MPa}$$

Momento resultante:

$$\sigma_G = \frac{48.504}{18,10} = 2,68 \text{ MPa}$$

$$\sigma_L = \frac{1.347}{18,10} = 74,46 \text{ MPa}$$

Cisalhamento resultante:

carga de utilização e de 2.000 N e o peso da chapa do fundo 940.85 N  
=2.941 N

$$F = 2.940 \text{ N}$$

$$\text{Área} = 7,78 \text{ cm}^2$$

$$\tau_x = \frac{F}{A} \rightarrow \tau_x = \frac{2.940}{7,78} \rightarrow \tau_x = 3,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x = M_x * (\sigma_G + \psi * \sigma_L)$$

$$\sigma_x = 1,20 * (2,68 + 1,3 * 74,46) = 119,37 \text{ MPa}$$

Von Mises

$$\sigma_{EQ} = \sqrt{119,37^2 + 3 * 3,78^2} = 119,55 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = 166 \text{ MPa}$$

$$119,55 \text{ MPa} < 166 \text{ MPa, OK}$$

### 3.3.5 Vigas da colunas:

As vigas da coluna sofrem tração pura, e o seu dimensionamento é calculado com base na tensão admissível, pela equação. O perfil utilizado é o mesmo das vigas da base, para melhor padronização e por ser vendido de 6 metros de comprimentos, visando evitar o desperdício de material.

Para o cálculo a tensão aplicada sobre a viga não pode ultrapassar a tensão admissível, e é calculada pela força tração, na qual é a reação na viga da base, acrescida da metade do peso próprio da viga e metade do peso da viga menor, essa soma dividida pela área do perfil.

Sendo assim:

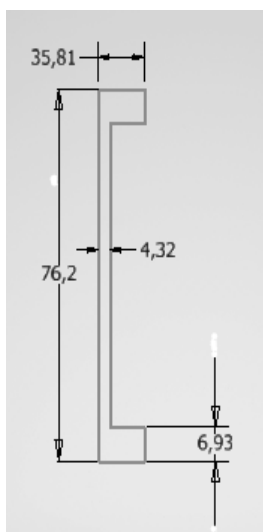
$$\sigma_{tração} = \frac{A_y}{\text{área}}$$

A Soma das forças atuantes equivalem a 1.395 N dividindo pela área da seção que é 11,90cm<sup>2</sup>, o resultado da tensão tração é de 117,22 MPa e a tensão admissível sendo 166 MPa, a viga suporta a tração.

### 3.4 RESISTÊNCIA DA LIGAÇÃO SOLDADA

Para unir as partes fixas foi utilizado solda filete em todo o contorno do perfil. A resistência de solda segundo a NBR 8800 em função da área de solda indicada segundo indicado na figura 39:

**Figura 39:** Vista frontal perfil U 3 polegadas

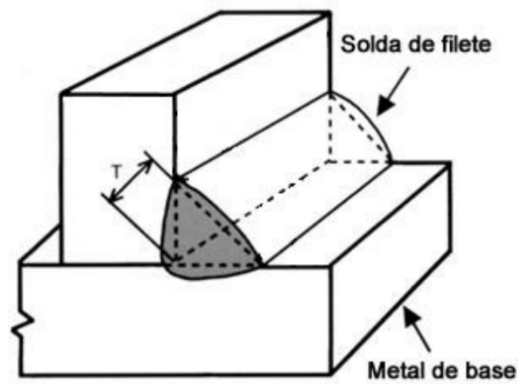


Fonte: Autor, 2019.

A força cortante máxima na área é de 48,50N esse valor é o máximo valor de cortante encontrado na verificação da viga primária que é a que sofre maior esforço.

$$A_w = \text{área de solda} = t l$$

Onde  $t = 4$  mm (espessura da garganta de solda)

**Figura 40:** Junção das Peças Soldadas

Fonte: MANUAL CBCA, (2003)

Logo:

$$A_w = 0,4 \times [(3,5 \times 2) + (0,69 \times 2) - 0,43 + 62,34] \times 2$$

$$A_w = 56,23 \text{ cm}^2$$

Não são considerados esforços de solicitação na direção paralela ao eixo longitudinal no cálculo de resistência de soldas em filete. Quando há momento fletor existem solicitações na solda que ligam as chapas e componentes submetidos ao momento fletor.

No entanto, existe o cisalhamento através da garganta de solda, pois existe transferência de esforço de uma peça para a outra. A ruptura do metal de solda ocorre junto ao estado limite.

A resistência da solda pode ser obtida através do cálculo:

$$R_d = \frac{A_w \times [(0,60) \times (f_w)]}{\gamma_{w2}}$$

Onde:  $f_w$  = tensão resistente do metal de solda

**Tabela 15:** Tensão Resistente do Metal de Solda

| Metal da solda       | $f_w$ (MPa) |
|----------------------|-------------|
| classe 6 ou 60 (AWS) | 415         |
| classe 7 ou 70 (AWS) | 485         |
| Classe 8 ou 80       | 550         |

Fonte: ADAPTADO DE MANUAL CBCA, (2003)

$y_w$  = para combinações normais, especiais ou de construção utilizar 1,35

$y_w$  = para combinações excepcionais de ações utilizar 1,15

0,6 é o fator proveniente do critério de resistência de Von Misses que é aplicado em casos onde temos cisalhamento puro.

Sendo assim:

$$R_d = \frac{A_w \times [(0,60) \times (f_w)]}{y_w^2}$$

$$R_d = \frac{56,23 \times [(0,60) \times (41,5)]}{1,35^2}$$

$$R_d = 763,61 \text{ N}$$

Com isso, concluímos que a resistência de solda da peça de maior solicitação é de 763,61 N, o que atende com sobra o esforço que é de 48,50N. Podendo assim reduzir a área de seção de solda para cortar custo.

### **3.5 ANÁLISE ATRAVÉS DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

A análise por elementos finitos tem por objetivo resolver equações diferenciais com as condições de contorno específicas que irão demonstrar como objeto se comportará diante dos fenômenos físicos. Esse tipo de análise é bastante difundido dentro das engenharias por ser um método muito comum e com um elevado nível de confiabilidade.

O método de análise por elementos finitos é muito usado em projetos estruturais, pois tem a capacidade de determinar tensões e deformações nos corpos sólidos devido aos mais variados tipos de carregamentos, analisando não somente um objeto, mas todo o conjunto da estrutura e por isso é muito utilizado para análise estrutural de pórticos, estruturas como pontes, prédios, galpões, vigas e entre outros.

Neste projeto o método de análise por elementos finitos será usado para comparar as tensões obtidas através dos cálculos analíticos. A análise e a modelagem de todo o projeto da estrutura foi feita através do software INVENTOR 2020 e através dos resultados das análises foi possível determinar os valores máximos de tensão para saber se a estrutura da cabine permaneceria íntegra após ser submetida as cargas determinadas pelo projeto e os coeficientes de majoração definidos pela norma com base nos dados do projeto.

#### **3.5.1 Geometria das malhas**

Este artifício utilizado pelo software, tem como objetivo dividir o corpo em diversas partes menores e de geometria simples. Essa geometria pode ser de forma triangular, retangular, cúbica e outras formas.

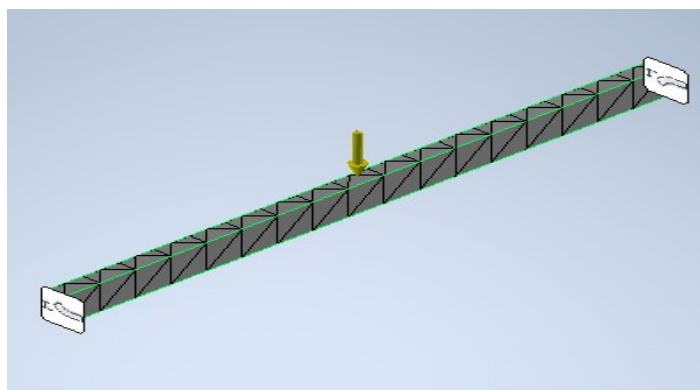
A precisão dos resultados obtidos pelo software depende do tamanho e quantidade de elementos divididos, quanto mais elementos em menores tamanhos mais próximo o resultado fica perto da realidade.

Para a análise deste projeto foi usado o padrão de malha do sistema que é o de geometria triangular com tamanho médio dos elementos de 0,1.

### 3.5.2 Análise da tensão por elementos finitos dos perfis do fundo da cabine

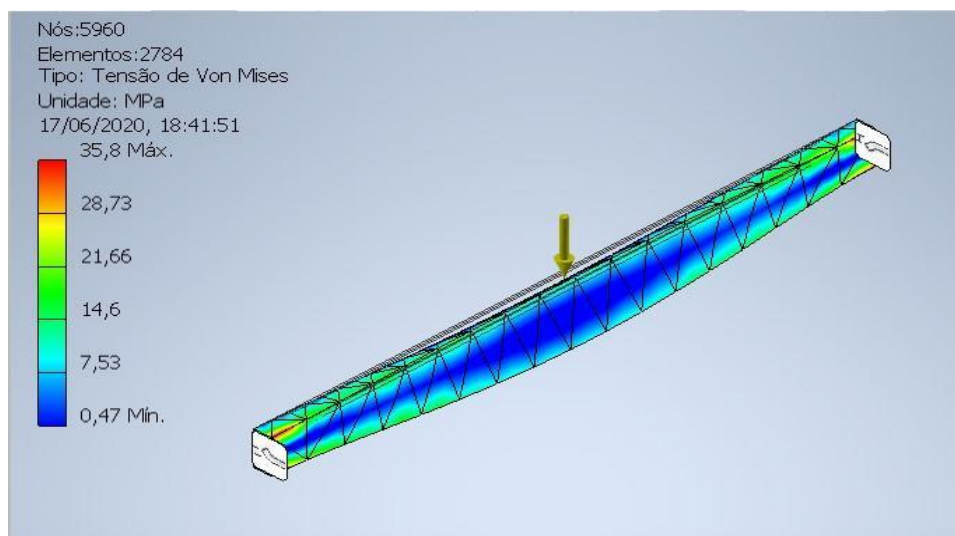
Para análise das vigas na base da cabine foi aplicada a malha, definidas as fixações na ponta da viga e o carregamento uniformemente distribuído ao longo da viga de 59.82 N/m, carregamento esse igual ao utilizado nos cálculos analíticos, foi criado os nós e os elementos como demonstradas na figura 41.

**Figura 41:** Parâmetros da peça 1



O valor de tensão equivalente de Von Mises para a viga foi de 35,8 MPa indicando que ela tem capacidade de suportar a carga representado na figura 42.

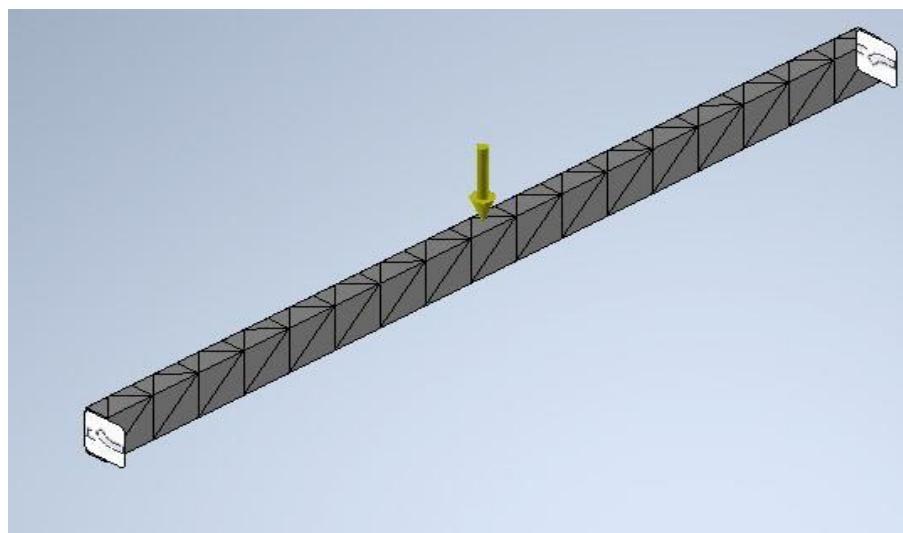
**Figura 42:** Simulação da tensão de Von Mises da peça 1.



Fonte: Autor, 2020.

Para análise das vigas na base da cabine foi aplicada a malha, definidas as fixações na ponta da viga e o carregamento uniformemente distribuído ao longo da viga de 59.82 N/m, carregamento esse igual ao utilizado nos cálculos analíticos, foi criado os nós e os elementos como demonstradas na figura 43.

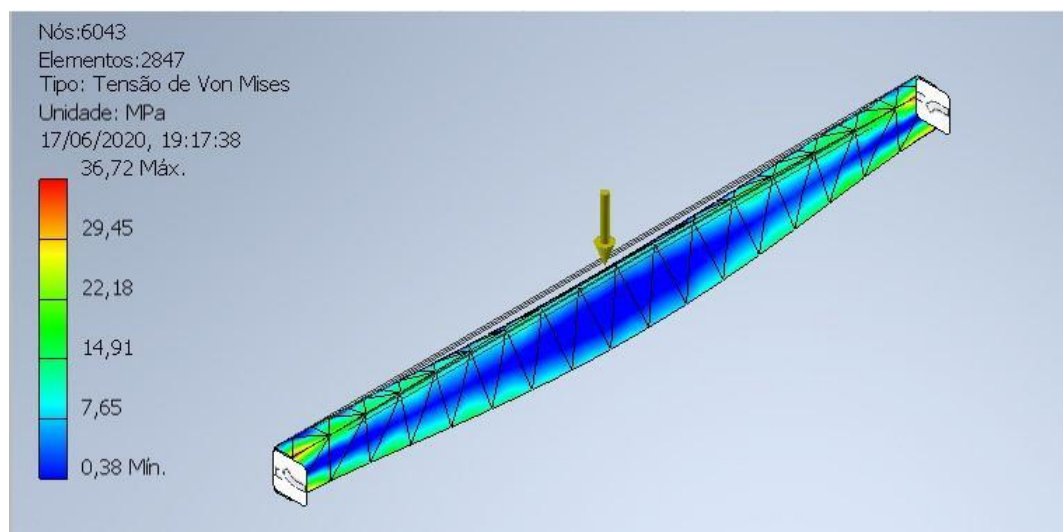
**Figura 43:** Parâmetros da peça 2



Fonte: Autor, 2020.

O valor de tensão equivalente de Von Mises para a viga foi de 36,72 MPa indicando que ela tem capacidade de suportar a carga representado na figura 44.

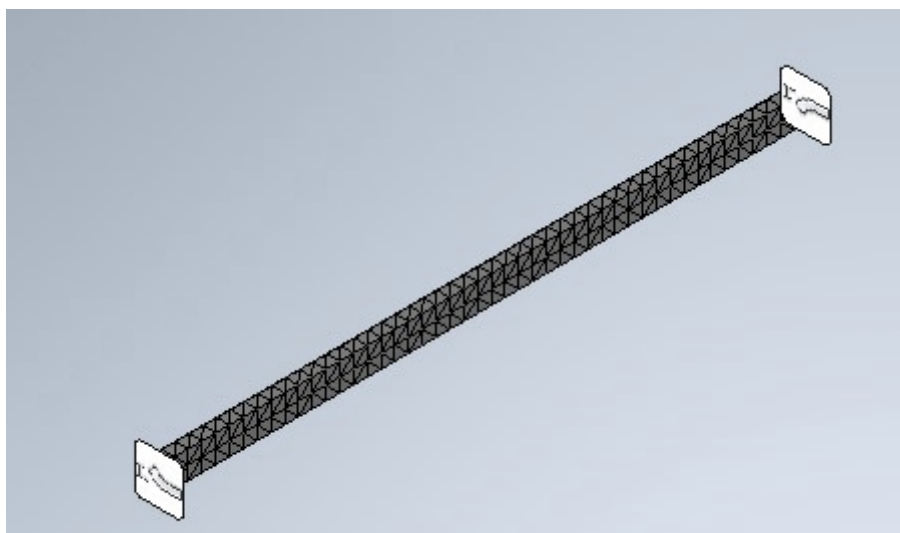
**Figura 44:** Simulação da tensão de Von Mises da peça 2.



Fonte: Autor, 2020.

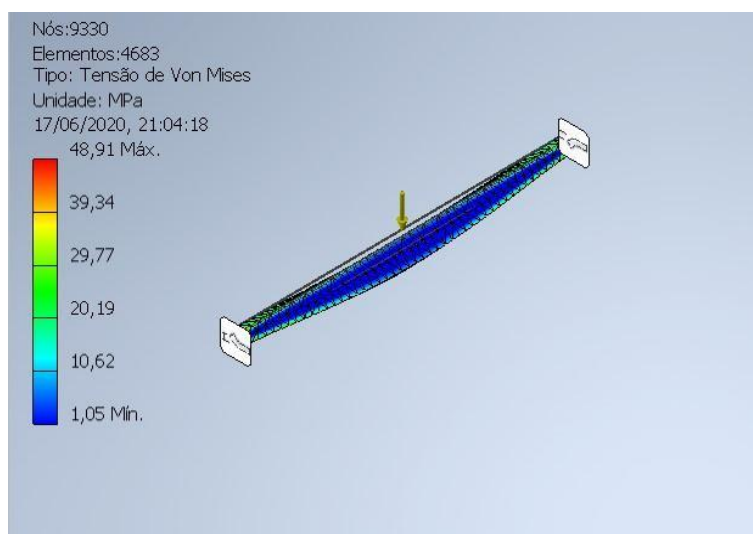
Para análise das vigas na base da cabine foi aplicada a malha, definidas as fixações na ponta da viga e o carregamento uniformemente distribuído ao longo da viga de 59.82 N/m, carregamento esse igual ao utilizado nos cálculos analíticos, foi criado os nós e os elementos como demonstradas na figura 45.

**Figura 45:** Parâmetros da peça 3.



Fonte: Autor, 2020.

O valor de tensão equivalente de Von Mises para a viga foi de 48,91 MPa indicando que ela tem capacidade de suportar a carga, representado na figura 46.

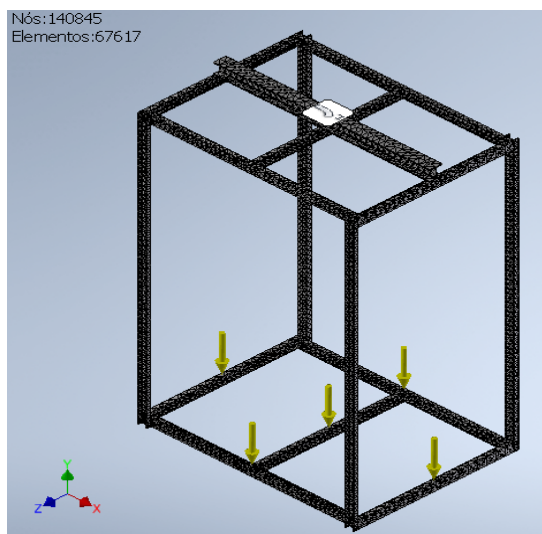
**Figura 46: Von Mises peça 3**

Fonte: Autor, 2020.

### 3.5.3 Análise de Tensões por elementos finitos na estrutura da cabine

Após termos feito simulações em cada uma das vigas que sofrerão com os carregamentos foi preciso montar toda a estrutura definindo todos os carregamentos a qual ela estaria submetida, pois somente dessa forma pode-se saber como a estrutura em um todo reagirá mediante aos carregamentos. Assim mais uma vez foram definidos todos os parâmetros como feito anteriormente aplicando a fixação na viga W 4X 13 polegadas superior onde será feito a fixação dos cabos de aço para o içamento da estrutura juntamente com a carga de serviço e aplicando as forças de 10.941 N na base da cabine onde se encontra as chapas de fundo de cabine de 940,85 N de força assim a estrutura ficou como demonstrada na figura abaixo:

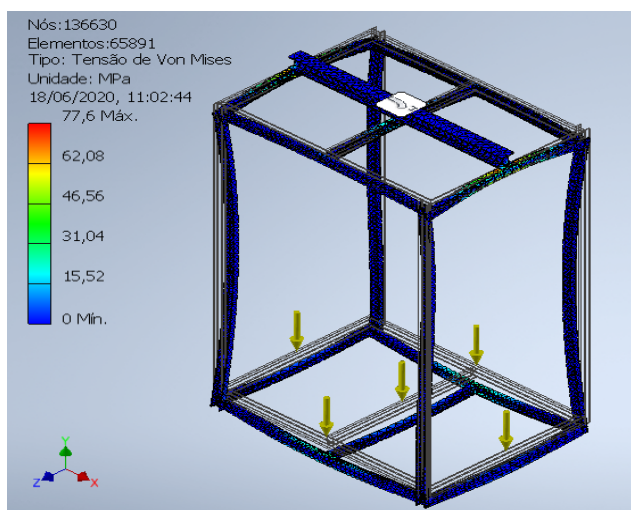
**Figura 47:** Parâmetros de carga da estrutura da cabine



Fonte: Autor, 2020.

O valor de tensão equivalente de Von Mises para a estrutura foi de 77,6 MPa representado na figura 47, onde indicando que ela tem capacidade de suportar a carga pois a tensão admissível é de 166 MPa. Para esta análise foi verificado que o ponto de tensão máximo ocorreu no contato do perfil de içamento do teto e no contato das vigas da base com a viga de travamento onde se encontra a carga de içamento. Futuramente deve-se focar uma análise nesse ponto para que se possa diminuir a tensão nesse ponto.

**Figura 48:** Simulação da Estrutura



Fonte: Autor, 2020.

### 3.6 SOLICITAÇÃO DEVIDO A CARGA DE SERVIÇO:

#### 3.6.1 Dimensionamento dos mecanismos de elevação

Para dar início ao dimensionamento dos mecanismos de elevação, é necessário que haja a adequação dos mecanismos segundo a NORMA ABNT NBR 8400 para classe de funcionamento, que se deram através das tabelas 20 de classe de funcionamento que no presente projeto está representada na tabela 16, e como o elevador possui uma carga horária de utilização de 12 horas por dia, foi constatado que na sua utilização que se classifica como V4.

**Tabela 16:** Classes de funcionamento

| Tabela 20 - Classe de funcionamento |                                                  |                                         |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Classe de funcionamento             | Tempo médio de funcionamento diário estimado (h) | Duração total teórica da utilização (h) |
| V0,25                               | $t_m \leq 0,5$                                   | $\leq 800$                              |
| V0,5                                | $0,5 < t_m \leq 1$                               | 1600                                    |
| V1                                  | $1 < t_m \leq 2$                                 | 3200                                    |
| V2                                  | $2 < t_m \leq 4$                                 | 6300                                    |
| V3                                  | $4 < t_m \leq 8$                                 | 12500                                   |
| V4                                  | $8 < t_m \leq 16$                                | 25000                                   |
| V5                                  | $t_m > 16$                                       | 50000                                   |

Fonte: ADPTADO DE NBR 8400 p. 26

O estado de solicitação mecanismos é definido através das tabela 5que, como o elevador estando na inércia ou em utilização, sempre estará suspenso pelo cabo de aço, sendo assim os mecanismos estarão submetidos a solicitação de serviços média, e classificada como 4m e estado de solicitação 2 para todos os mecanismos utilizados na movimentação conforme visto na tabela 17 e 18.

**Tabela 17:** Grupos de mecanismos

**Tabela 23 - Grupos dos mecanismos**

| Estados de solicitação | Classes de funcionamento |       |     |     |     |     |     |
|------------------------|--------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                        | V 0,25                   | V 0,5 | V1  | V2  | V3  | V4  | V5  |
| 1                      | 1Bm                      | 1Bm   | 1Bm | 1Am | 2m  | 3 m | 4 m |
| 2                      | 1Bm                      | 1Bm   | 1Am | 2 m | 3 m | 4 m | 5 m |
| 3                      | 1Bm                      | 1Am   | 2 m | 3 m | 4 m | 5 m | 5 m |

Fonte: ADPTADO DE NBR 8400 pag. 28

**Tabela 18:** Estados de Solicitação

**Tabela 21 - Estado de solicitação dos mecanismos**

| Estados de solicitação | Definição                                                                                                                         | Fração da solicitação máxima |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 1                      | Mecanismos ou elementos de mecanismos sujeitos a solicitações reduzidas e raras vezes a solicitações máximas                      | $P = 0$                      |
| 2                      | Mecanismos ou elementos de mecanismos submetidos, durante tempos sensivelmente iguais, a solicitações reduzidas, médias e máximas | $P = 1/3$                    |
| 3                      | Mecanismos ou elementos de mecanismos submetidos na maioria das vezes a solicitações próximas à solicitação máxima                | $P = 2/3$                    |

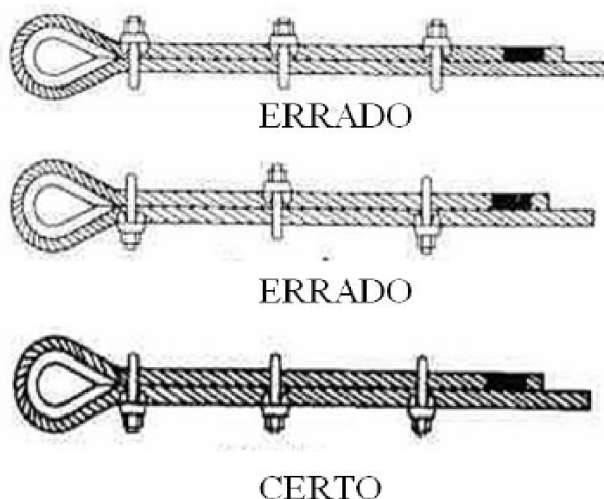
Fonte: ADPTADO DE NBR 8400 p.27

### 3.6.2 Cabo de aço

Os cabos de aço é o mais importante dos mecanismos do elevador, por que são eles os responsáveis pelo levantamento e estes elementos que recebem a tração do peso da cabine, sendo essa cabine contrabalanceada ou não, esses equipamentos têm uma importância tão grande que seu coeficiente de segurança mínimo é 7 sobre a carga de serviço.

A montagem e a fixação dos cabos devem ser feitas corretamente, visando evitar tais problemas como deslizamento do mesmo e deformações em excessos neles demonstrado na figura 49.

**Figura 49:** Colocação correta de grampos em cabos de aço.



Fonte: empresa Vulmax (Trabalho em altura), 2019.

Os cabos de aço foram selecionados como galvanizados 6X19 que podem possuir alma de fibra ou aço, tais fibras são enroladas por 6 grupos de 19 fios de aço cada um deles, conforme a tabela 19.

**Tabela 19:** Catálogo de cabos de aço

| Classe 6 x 19 - Alma de fibra |        |                     |                       |       |                         |
|-------------------------------|--------|---------------------|-----------------------|-------|-------------------------|
|                               |        | 6x19 Seale<br>1+9+9 |                       |       | 6x25 Filler<br>1+6+6+12 |
| Diâmetro                      |        | Massa Aprox. (kg/m) | Carga de Ruptura (tf) |       |                         |
| mm                            | pol.   |                     | IPS                   | EIPS  |                         |
| 3,2                           | 1/8"   | 0,036               | 0,61                  | -     |                         |
| 4,8                           | 3/16"  | 0,082               | 1,37                  | -     |                         |
| 6,4                           | 1/4"   | 0,142               | 2,44                  | -     |                         |
| 8,0                           | 5/16"  | 0,225               | 3,81                  | 4,88  |                         |
| 9,5                           | 3/8"   | 0,343               | -                     | 5,99  |                         |
| 11,5                          | 7/16"  | 0,479               | -                     | 8,72  |                         |
| 13,0                          | 1/2"   | 0,608               | -                     | 10,7  |                         |
| 14,5                          | 9/16"  | 0,775               | -                     | 13,5  |                         |
| 16,0                          | 5/8"   | 0,933               | -                     | 16,9  |                         |
| 19,0                          | 3/4"   | 1,298               | -                     | 24,0  |                         |
| 22,0                          | 7/8"   | 1,805               | 29,5                  | 32,6  |                         |
| 26,0                          | 1"     | 2,442               | 38,5                  | 42,6  |                         |
| 29,0                          | 1.1/8" | 3,055               | -                     | 53,9  |                         |
| 32,0                          | 1.1/4" | 3,733               | 60,1                  | 66,5  |                         |
| 35,0                          | 1.3/8" | 4,529               | -                     | 80,5  |                         |
| 38,0                          | 1.1/2" | 5,328               | 86,5                  | 95,8  |                         |
| 45,0                          | 1.3/4" | 8,368               | -                     | 130,4 |                         |
| 52,0                          | 2"     | 9,740               | -                     | 170,3 |                         |

Fonte: ADPTADO DE Frati, 2010.

O dimensionamento é feito a partir da fórmula do diâmetro externo mínimo retirado da NBR 8400 (2002):

$$D_c = Q\sqrt{T} \quad T = \frac{K \cdot C_t \cdot \Psi}{n}$$

Sendo:

K e  $\Psi \rightarrow$  Coeficientes dados na tabela 2;

$C_t \rightarrow$  Carga total içada pelo cabo = 1 Kg da carga + 288 Kg da estrutura = 1.288 Toneladas

n  $\rightarrow$  número de cabos = 2.

$$T = K \frac{C_t \cdot \Psi}{n} =$$

$$= 1,1 * \frac{1,288 * 1,3}{3} = 0,614 * 981 = 602,33 \text{ daN}$$

Verificando que na tabela 20 para a classe de mecanismo 4m o valor de Q = 0,375

**Tabela 20:** Grupos de mecanismos

**Tabela 27 - Valores mínimos de Q**

| Grupo de mecanismo | Valores mínimos de Q |                   |
|--------------------|----------------------|-------------------|
|                    | Cabo normal          | Cabo não rotativo |
| 1 Bm               | 0,265                | 0,280             |
| 1 Am               | 0,280                | 0,300             |
| 2 m                | 0,300                | 0,335             |
| 3 m                | 0,335                | 0,375             |
| 4 m                | 0,375                | 0,425             |
| 5 m                | 0,425                | 0,475             |

Fonte: ADPTADO DE NBR 8400 pag. 34.

calcula se:

$$D_c = Q\sqrt{T} =$$

$$D_c = 0,375 * \sqrt{602,334} = 9,20mm$$

Na tabela 18 do catálogo de cabos de aço o valor próximo de 9,20mm é o cabo de 3/8" que equivale a 9,5mm.

Com massa aproximada de 0,343 kg/m e carga de ruptura mínima de  $T_f=5,9$  KN.

### 3.6.3 Dimensionamento das polias:

As polias foram selecionadas segundo os critérios da norma e foram utilizadas uma polia, acoplada ao motor elétrico, apresentando as seguintes dimensões conforme as especificações da norma demonstrados nas tabelas 21 e 22 abaixo:

**Tabela 21: Grupos de mecanismos**

**Tabela 28 - Valores de  $H_1$**

| Grupo de mecanismo | Tambores    |                   | Polias      |                   | Polia de compensação |                   |
|--------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|----------------------|-------------------|
|                    | Cabo normal | Cabo não rotativo | Cabo normal | Cabo não rotativo | Cabo normal          | Cabo não rotativo |
| 1 Bm               | 16          | 16                | 16          | 18                | 14                   | 16                |
| 1 Am               | 16          | 18                | 18          | 20                | 14                   | 16                |
| 2 m                | 18          | 20                | 20          | 22,4              | 14                   | 16                |
| 3 m                | 20          | 22,4              | 22,4        | 25                | 16                   | 18                |
| 4 m                | 22,4        | 25                | 25          | 18                | 16                   | 18                |
| 5 m                | 25          | 28                | 28          | 31,5              | 18                   | 20                |

Fonte: ADPTADO DE NBR 8400 pag. 34.

**Tabela 22: Grupos de mecanismos**

**Tabela 29 - Valores de  $H_2$**

| $W_T$ | $\leq 5$ | 6 a 9 | $\geq 10$ |
|-------|----------|-------|-----------|
| $H_2$ | 1        | 1,12  | 1,25      |

Fonte: ADPTADO DE NBR 8400 pag. 34.

$$De \geq H_1 * H_2 * D_c$$

$$H_1 = 25 \text{ (tabela 21)}$$

$$H_2 = 1,25 \text{ (polia fixa)}$$

Dc= diâmetro do cabo

$$D_e \geq 25 * 1,25 * 9,5 = 300 \text{ mm}$$

#### 3.6.4 Dimensionamento do contra peso:

O contrapeso é responsável pelo balanceamento da cabine para que haja a redução da força necessário do motor para a movimentação do sistema, que usualmente é calculado a partir do peso da cabine acrescida de 40% da carga máxima útil, onde o contrapeso se move no sentido oposto da cabine em guias laterais, que não permite a movimentação horizontal do mesmo.

$$C_p = 288 + 40\% = 820 \text{ Kg}$$

#### 3.6.5 Dimensionamento das guias:

A guia é por onde o elevador desliza e esse equipamento deve ser dimensionado para suportar o esforço de flambagem devido ao esforço de acionamento dos freios de emergências que faz o travamento nas guias fazendo com que haja esforços de compressão sobre as mesmas.

Os cálculos utilizados para dimensionamento da guia são com base na equação 11 da norma NBR NM 207, e o valor máximo para esse cálculo é de 140 MPa.

As guias são projetadas de acordo com a norma NBR NM 196, a guias são do tipo T, através da norma é retirado os valores para substituição na seguinte formula:

$$\sigma_k = \frac{K1 * g * (P+Q) * \omega}{2 * A} = \frac{3 * 9,81 * (1900) * 1,44}{2 * 951} = 42,33 \text{ MPa.}$$

**Sendo:**

- (P+Q) É o somatório da carga útil mais o peso da estrutura da cabine;

- $\omega$  É o coeficiente de flambagem que é retirado da tabela 4 da página 64 da NBR NM 207 que está na Tabela 8;

- A é a área de seção da viga selecionada.

A guia selecionada foi a T70-1/a visto que os valores da flambagem encontrado foi de 42,33 MPa que segundo a norma está dentro do limite de flambagem que é de 140 MPa dado pela norma.

### 3.6.6 Dimensionamento do motor:

Será utilizado apenas um motor. Nestes cálculos o objetivo é calcular o torque e a potência. Serão consideradas a carga a ser içada e o peso da cabine.

Torque estático e Potência estática:

Segundo a ABNT- NBR 8400, para calcular o torque estático e a potência estática são necessárias as seguintes informações:

$$F_s = \text{peso a ser erguido} \cdot k \cdot 9,81 = 1288 \times 1,1 \times 9,81 = 13.899 \text{ N}$$

$$V_L = \text{velocidade de içamento} = 1,5 \text{ m/s}$$

$$\eta_t = \text{rendimento de transmissão do sistema} = 0,8$$

$$P_2 = \frac{F_s \cdot V_L}{1000 \cdot \eta_t} = \frac{13899 \cdot 0,25}{1000 \cdot 0,8} = 4,34 \text{ KW}$$

Motor equivalente em CV = 6 CV de acordo com a tabela 23.

Utilizando um motor de 1176 RPM

$$T_r = \frac{N r}{\omega} = \frac{20,24 \times 10^3}{1176 \times 2\pi / 60} = 164,35 \text{ N.m}$$

Tabela 23: Catálogo de motores elétricos.

## W22 IR4 Super Premium

| Potência | Carcaça | Conjugado Nominal (kgfm) | Corrente com Rotor Bloqueado Ip/In | Conjugado de Partida Cp/Cn | Conjugado Máximo Cmáx/Cn | Momento de Inércia J (kgm²) | Tempo máximo com rotor bloqueado (s) |      | Massa (kg) | Nível médio de pressão sonora dB(A) | Fator de Serviço | RPM  | % de Carga |      |      |                   |      |      | Tensão (V) | Corrente Nominal In (A) |      |
|----------|---------|--------------------------|------------------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------|------------|-------------------------------------|------------------|------|------------|------|------|-------------------|------|------|------------|-------------------------|------|
|          |         |                          |                                    |                            |                          |                             | Quente                               | Frio |            |                                     |                  |      | Rendimento |      |      | Fator de Potência |      |      |            |                         |      |
|          |         |                          |                                    |                            |                          |                             |                                      |      |            |                                     |                  |      | 50         | 75   | 100  | 50                | 75   | 100  |            |                         |      |
| VI Polos |         |                          |                                    |                            |                          |                             |                                      |      |            |                                     |                  |      |            |      |      |                   |      |      |            |                         |      |
| 0,75     | 1       | L90S                     | 0,632                              | 5,9                        | 2,6                      | 2,8                         | 0,006                                | 42   | 92         | 23                                  | 50               | 1,25 | 1155       | 81,7 | 82,8 | 84                | 0,5  | 0,63 | 0,69       | 220                     | 3,4  |
| 1,1      | 1,5     | L100L                    | 0,924                              | 6,3                        | 2                        | 2,3                         | 0,015                                | 82   | 180        | 34                                  | 49               | 1,25 | 1160       | 84,1 | 86,5 | 88,2              | 0,48 | 0,61 | 0,69       | 440                     | 2,37 |
| 1,5      | 2       | L100L                    | 1,26                               | 6,1                        | 2,5                      | 2,7                         | 0,015                                | 55   | 121        | 35                                  | 49               | 1,25 | 1155       | 84,5 | 86,1 | 87,3              | 0,51 | 0,63 | 0,7        | 440                     | 3,22 |
| 2,2      | 3       | L100L                    | 1,85                               | 7,1                        | 3,5                      | 3,4                         | 0,018                                | 30   | 66         | 37                                  | 49               | 1,25 | 1160       | 83,6 | 86,2 | 87,9              | 0,46 | 0,58 | 0,7        | 440                     | 4,7  |
| 3        | 4       | L132S                    | 2,48                               | 8,1                        | 2,6                      | 3,5                         | 0,061                                | 82   | 180        | 75                                  | 55               | 1,25 | 1178       | 87,5 | 89,4 | 90,6              | 0,48 | 0,6  | 0,7        | 440                     | 6,21 |
| 3,7      | 5       | L132S                    | 3,06                               | 8,9                        | 3,2                      | 4                           | 0,064                                | 56   | 123        | 77                                  | 55               | 1,25 | 1179       | 87,1 | 89,3 | 90,6              | 0,45 | 0,57 | 0,7        | 440                     | 7,66 |
| 4,5      | 6       | L132M                    | 3,73                               | 8,4                        | 3                        | 3,6                         | 0,068                                | 47   | 103        | 79                                  | 55               | 1,25 | 1176       | 87,8 | 89,3 | 90,6              | 0,48 | 0,61 | 0,71       | 440                     | 9,18 |
| 5,5      | 7,5     | L160M                    | 4,52                               | 8,9                        | 4                        | 4,6                         | 0,14                                 | 27   | 59         | 119                                 | 59               | 1,25 | 1186       | 87,7 | 90,5 | 91,8              | 0,47 | 0,61 | 0,73       | 440                     | 10,8 |
| 7,5      | 10      | L160M                    | 6,17                               | 8,5                        | 3,8                      | 4,2                         | 0,158                                | 23   | 51         | 126                                 | 59               | 1,25 | 1184       | 88,9 | 91,2 | 91,8              | 0,5  | 0,64 | 0,74       | 440                     | 14,5 |
| 9,2      | 12,5    | L160M                    | 7,58                               | 8,1                        | 3,5                      | 3,8                         | 0,184                                | 24   | 53         | 136                                 | 59               | 1,25 | 1182       | 90,1 | 91,9 | 92,4              | 0,54 | 0,67 | 0,75       | 440                     | 17,4 |
| 11       | 15      | L160M                    | 9,07                               | 8,4                        | 3,5                      | 3,9                         | 0,206                                | 24   | 55         | 142                                 | 59               | 1,25 | 1182       | 90,1 | 91,9 | 92,4              | 0,54 | 0,67 | 0,75       | 440                     | 18,3 |
| 15       | 20      | L160L                    | 12,4                               | 7,4                        | 3,2                      | 3,4                         | 0,237                                | 17   | 37         | 156                                 | 59               | 1,25 | 1178       | 91   | 91,9 | 92,9              | 0,58 | 0,71 | 0,78       | 440                     | 27,2 |
| 18,5     | 25      | L160L                    | 15,2                               | 10,2                       | 3,9                      | 4,3                         | 0,378                                | 13   | 29         | 201                                 | 59               | 1,25 | 1185       | 91,8 | 93   | 94                | 0,6  | 0,73 | 0,8        | 440                     | 32,3 |
| 22       | 30      | 200L                     | 18,1                               | 7,9                        | 3,1                      | 3,4                         | 0,544                                | 33   | 73         | 274                                 | 62               | 1,25 | 1187       | 92,3 | 93,8 | 94,1              | 0,58 | 0,71 | 0,8        | 440                     | 38,3 |
| 30       | 40      | 225S/M                   | 24,6                               | 8,6                        | 3                        | 3,3                         | 1,021                                | 34   | 75         | 403                                 | 66               | 1,25 | 1187       | 93,5 | 94,5 | 95                | 0,64 | 0,76 | 0,8        | 440                     | 51,8 |
| 37       | 50      | 225S/M                   | 30,3                               | 8,5                        | 3,5                      | 3,5                         | 1,05507                              | 12   | 26         | 406                                 | 66               | 1,25 | 1189       | 93,6 | 94,5 | 95                | 0,63 | 0,75 | 0,81       | 440                     | 63,1 |
| 45       | 60      | 250S/M                   | 36,9                               | 7,9                        | 2,8                      | 3,2                         | 1,84655                              | 22   | 48         | 504                                 | 64               | 1,25 | 1188       | 94,1 | 95   | 95,4              | 0,65 | 0,77 | 0,82       | 440                     | 75,5 |
| 55       | 75      | 250S/M                   | 45                                 | 8                          | 2,8                      | 3                           | 1,74053                              | 15   | 33         | 510                                 | 68               | 1,25 | 1190       | 94,1 | 95   | 95,4              | 0,64 | 0,75 | 0,81       | 440                     | 93,4 |
| 75       | 100     | 280S/M                   | 61,4                               | 7,6                        | 3                        | 3,2                         | 4,47171                              | 27   | 59         | 860                                 | 69               | 1,25 | 1190       | 94,5 | 95,4 | 95,8              | 0,6  | 0,72 | 0,79       | 440                     | 130  |
| 90       | 125     | 280S/M                   | 73,7                               | 7,2                        | 2,8                      | 2,9                         | 4,79603                              | 25   | 55         | 882                                 | 69               | 1,25 | 1190       | 95   | 95,8 | 95,8              | 0,62 | 0,74 | 0,8        | 440                     | 154  |
| 110      | 150     | 315S/M                   | 89,8                               | 7,2                        | 2,5                      | 2,6                         | 6,88507                              | 35   | 77         | 1080                                | 70               | 1,25 | 1193       | 95,1 | 95,8 | 96,2              | 0,67 | 0,77 | 0,82       | 440                     | 183  |
| 132      | 175     | 315S/M                   | 108                                | 6,8                        | 2,3                      | 2,4                         | 7,59467                              | 32   | 70         | 1110                                | 70               | 1,25 | 1190       | 95,5 | 96   | 96,2              | 0,69 | 0,79 | 0,83       | 440                     | 217  |
| 150      | 200     | 315S/M                   | 123                                | 6,7                        | 2,3                      | 2,4                         | 8,13715                              | 28   | 62         | 1130                                | 70               | 1,25 | 1190       | 95,6 | 96   | 96,3              | 0,7  | 0,79 | 0,83       | 440                     | 246  |
| 185      | 250     | 355M/L                   | 151                                | 6,4                        | 2,1                      | 2,1                         | 10,8832                              | 50   | 110        | 1850                                | 77               | 1,15 | 1190       | 95,4 | 95,1 | 95,3              | 0,67 | 0,77 | 0,81       | 440                     | 311  |
| 200      | 270     | 355M/L                   | 163                                | 6,5                        | 2                        | 2,2                         | 9,97563                              | 34   | 75         | 1594                                | 77               | 1,15 | 1194       | 95,3 | 96   | 96,3              | 0,68 | 0,78 | 0,82       | 440                     | 332  |
| 220      | 300     | 355M/L                   | 179                                | 6,5                        | 1,9                      | 2,1                         | 10,6716                              | 30   | 66         | 1642                                | 77               | 1,15 | 1195       | 95,6 | 95,1 | 96,3              | 0,69 | 0,79 | 0,82       | 440                     | 366  |
| 260      | 350     | 355M/L                   | 212                                | 6,8                        | 2                        | 2,2                         | 12,99151                             | 30   | 66         | 1824                                | 77               | 1,15 | 1193       | 95,5 | 96,2 | 96,3              | 0,69 | 0,78 | 0,82       | 440                     | 432  |
| 300      | 400     | 355M/L                   | 245                                | 7                          | 2,2                      | 2,3                         | 15,05054                             | 26   | 57         | 1982                                | 77               | 1,15 | 1193       | 95,7 | 96,2 | 96,4              | 0,66 | 0,77 | 0,8        | 440                     | 510  |
| 330      | 450     | 355M/L                   | 270                                | 6,3                        | 2                        | 2,1                         | 15,02169                             | 26   | 57         | 1989                                | 77               | 1,15 | 1192       | 95,7 | 96,2 | 96,4              | 0,67 | 0,77 | 0,8        | 440                     | 561  |
| 370      | 500     | 355M/L                   | 302                                | 6,3                        | 2,2                      | 2,3                         | 15,02169                             | 25   | 55         | 1989                                | 77               | 1,15 | 1192       | 95,7 | 96,2 | 96,4              | 0,63 | 0,74 | 0,79       | 440                     | 638  |

## 4 CONCLUSÃO

Tendo em vista o estudo realizado, o objetivo do mesmo foi a criação de uma estrutura metálica como cabine para um elevador monta-carga, que pudesse transportar carga, a fim de facilitar, agilizar e evitar acidentes em galpões. Primeiramente, foi feito o dimensionamento da estrutura pensando na elevação da carga máxima de utilização. Para poder atender a necessidade de um número maior de clientes foi fixada uma carga máxima de utilização de 1 tonelada e assim podendo atender a necessidades de galpões de supermercados, lojas, casa e depósitos em geral.

Para a construção da estrutura foi selecionado o aço A-36 por ser um aço encontrado facilmente no mercado e de valor acessível. Além disso, possui uma boa soldabilidade têm as características mecânicas de: tensão de escoamento de 250 MPa, modulo de elasticidade de 200 GPa e alongamento de 200mm.

Com a seleção do material e seu limite de escoamento foi constado atrás da norma ABNT NBR 8400(2002), que para garantir a segurança foi definido um fator de segurança de 1,5.

Foram verificados cálculos de momento fletor, esforço cortante e com isso as tensões equivalentes das vigas para saber se não ocorreriam falhas nos componentes da estrutura. Logo após foram simulados esses esforços de carga nas vigas pelo software de elementos finitos (inventor), e também analisados os resultados de tensões e deformações no conjunto da estrutura e o valor máximo de tensão encontrado para a montagem final da estrutura foi de 77,6 MPa.

Para a união dos perfis foram calculados os esforços nas juntas soldadas e selecionado o eletrodo E 7018 tal qual possui melhor soldabilidade com o aço utilizado a solda foi em todo o contorno e com espessura de 4 mm.

Após isso foram selecionadas as verificações de serviços e assim dimensionados os elementos de elevação, como cabo de aço que foram utilizados 3 cabos com bitola de 3/8 polegadas e com massa aproximada de 0,343 Kg/m e carga de ruptura mínima de 5,9 KN, e então dimensionada a polia a qual comportar os cabos, a polia foi dimensionada com diâmetro mínimo de 300 mm. Foi dimensionado um contra peso de 40% do peso total da estrutura com peso total de 820kg. Foi selecionado uma guia para o deslizamento da cabine e do contra peso segundo as normas, guia T70-1/a que atente a flambagem. Por fim foi dimensionado o motor para puxar a estrutura de 6CV e 4,34KW com rotação de 1.176 RPM e torque máximo de 164,35 N.m.

Feitos os comentários acima, fica valido observar que houve variações e pontos de acumulo de tensões na simulação da estrutura devidos a não linearidade das peças e das malhas, e fica válido ressaltar que melhorias podem ser aplicadas ao projeto. Assim para trabalhos futuros são recomendados os seguintes pontos a serem avaliados em um novo estudo:

- Refinamento do modelo utilizando os pontos de acúmulo de tensão como base.
- Avaliação de viabilidade econômica do projeto comparado a outros tipos de equipamentos para transporte.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AD ELEVADORES. Elevadores monta carga. Disponível em: <<http://www.adelevadores.com.br/produtos/monta-carga/>> Acesso em 12 de nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. - Elaboração. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800:2008, Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14712 - Elevadores elétricos e hidráulicos - Elevadores de carga, monta-cargas e elevadores de maca - Requisitos de segurança para construção e instalação. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT/CB-004 Máquinas e Equipamentos Mecânicos, 1968.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16042 - Elevadores elétricos de passageiros. Requisitos de segurança para construção e instalação de elevadores sem casa de máquinas. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11900-4 - Terminal para cabo de aço. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5665 - Cálculo de tráfego nos elevadores. 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8400 - Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT/CB-04 Comitê Brasileiro de Mecânica. 1984.

BELLEI, Ildony H. EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS ANDARES EM AÇO. São Paulo: Pini, 2008.

BUDYNAS, Richard G. SHIGLEY'S MECHANICAL ENGINEERING DESIGN. New York: McGraw-Hill, 2005.

C3 EQUIPAMENTOS. Elevadores cremalheiras. Disponível em: <<https://www.c3equipamentos.com.br/elevador-cremalheira/>> Acesso em 12 de nov. de 2019.

DANTAS, Tiago. "História do Elevador"; <<https://brasilecola.uol.com.br/historia/historia-elevador.htm>> Disponível em . Acesso em 20 de set de 2019.

DE OLIVEIRA, Ulisses. Elevador é Mais Seguro que Avião. Disponível em<<http://diariosp.com.br/noticia/detalhe/61905/Elevador+e+mais+seguro+do+que+aviao>> . Acesso em 20 de set de 2019.

FRATI. Catálogo de produtos. Disponível em: <[http://www.frati.com.br/site/wp-content/uploads/2010/04/catalogo\\_produtos-v\\_1\\_baixa.pdf](http://www.frati.com.br/site/wp-content/uploads/2010/04/catalogo_produtos-v_1_baixa.pdf)> Acesso em 20 de nov. 2019.

MEU ELEVADOR. ARBACHE, RODRIGO Como surgiu o elevador disponível em:

<<https://www.meuelevador.com/historia-do-elevador-como-surgiu-o-elevador/>> Acesso em 20 de nov. 2019.

ROARK'S FORMULAS FOR STRESS AND STRAIN. (YOUNG, Warren C. e BUDYNAS, Richard G. 1989).

SCHMERSAL. Produtos de automação. Disponível em: <<https://www.schmersal.com.br/automacao/produto/chave-fim-de-curso-ps116/>> Acesso em 18 de nov. de 2019.

S.D. Estruturas de elevadores monta de carga. Disponível em: <<http://www.mobileautomacao.com.br/elevador-carga>> Acesso em 20 jan. 2020.

S.D. Corrediças THYSENKRUPP ELEVADORES. Catalogo de equipamentos. Disponível em: <<https://www.thyssenkruppelevadores.com.br>> Acesso em 17 de nov. 2019.

OTIS ELEVADORES Gen. 2modernização. Disponível em:  
<<https://www.otis.com/pt/br/moderniza%C3%A7%C3%A3o/gen2-modernization/>> Acesso em 12 de nov. 2019.

VETRA ELEVADORES. História do elevador no brasil Disponível em:  
<<https://vetraelevadores.com.br/historia/o-elevador-no-brasil/>> Acesso em 19 de nov. 2019.

6 ANEXO

Figura 50: Peça 1

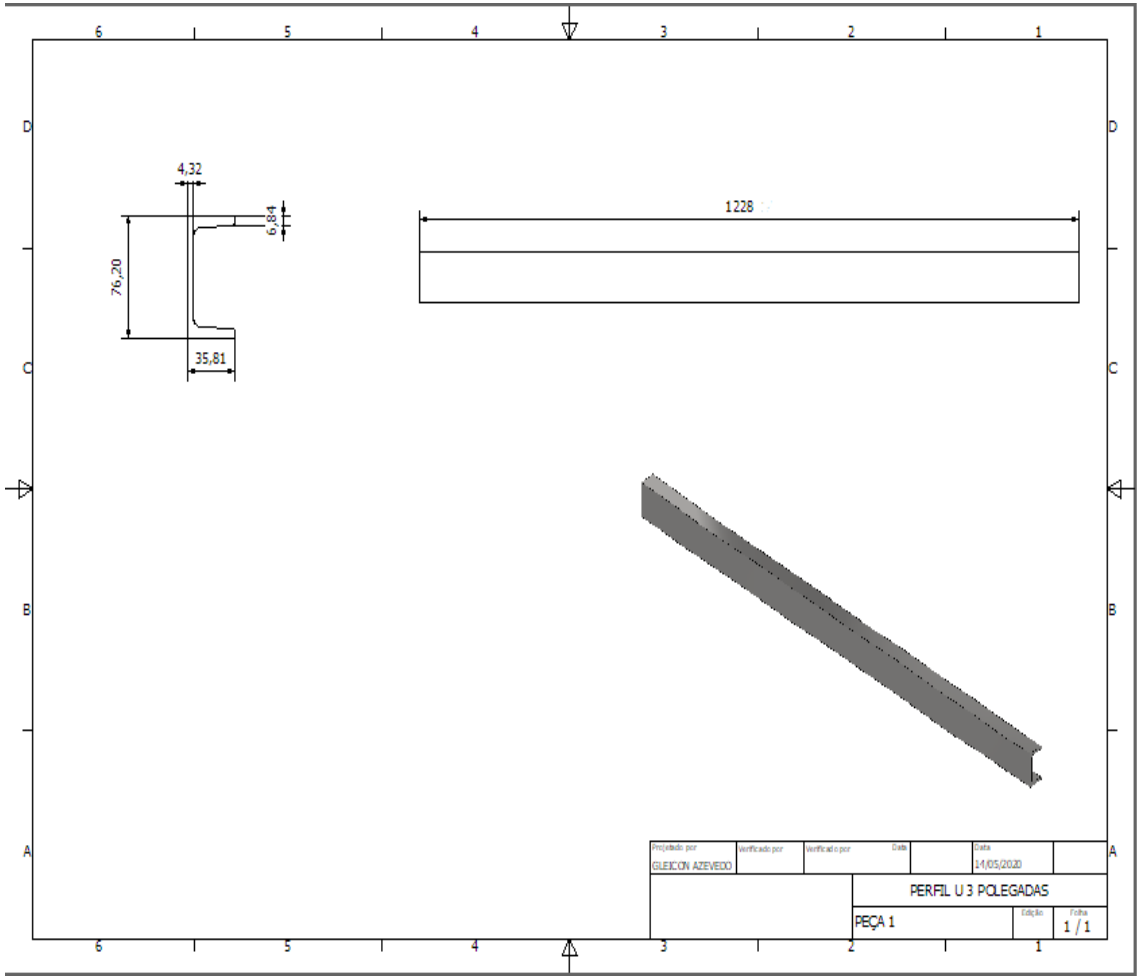
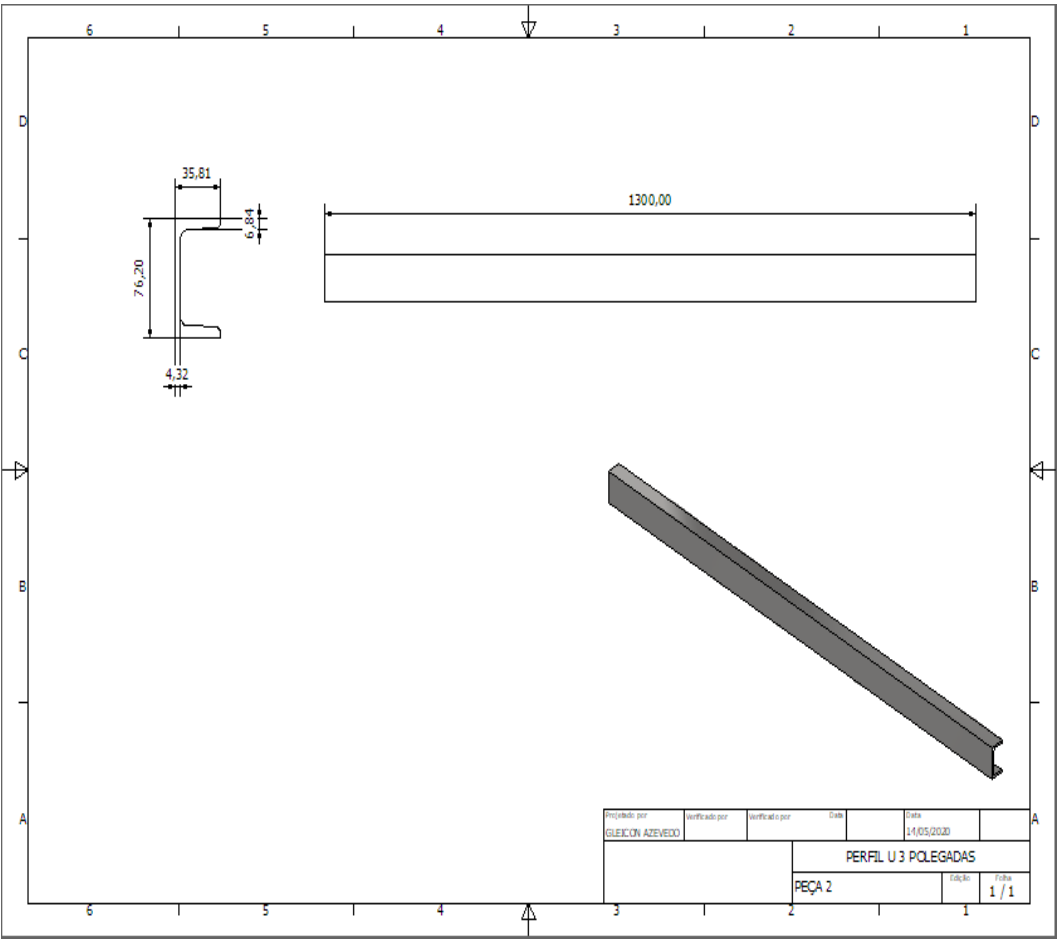
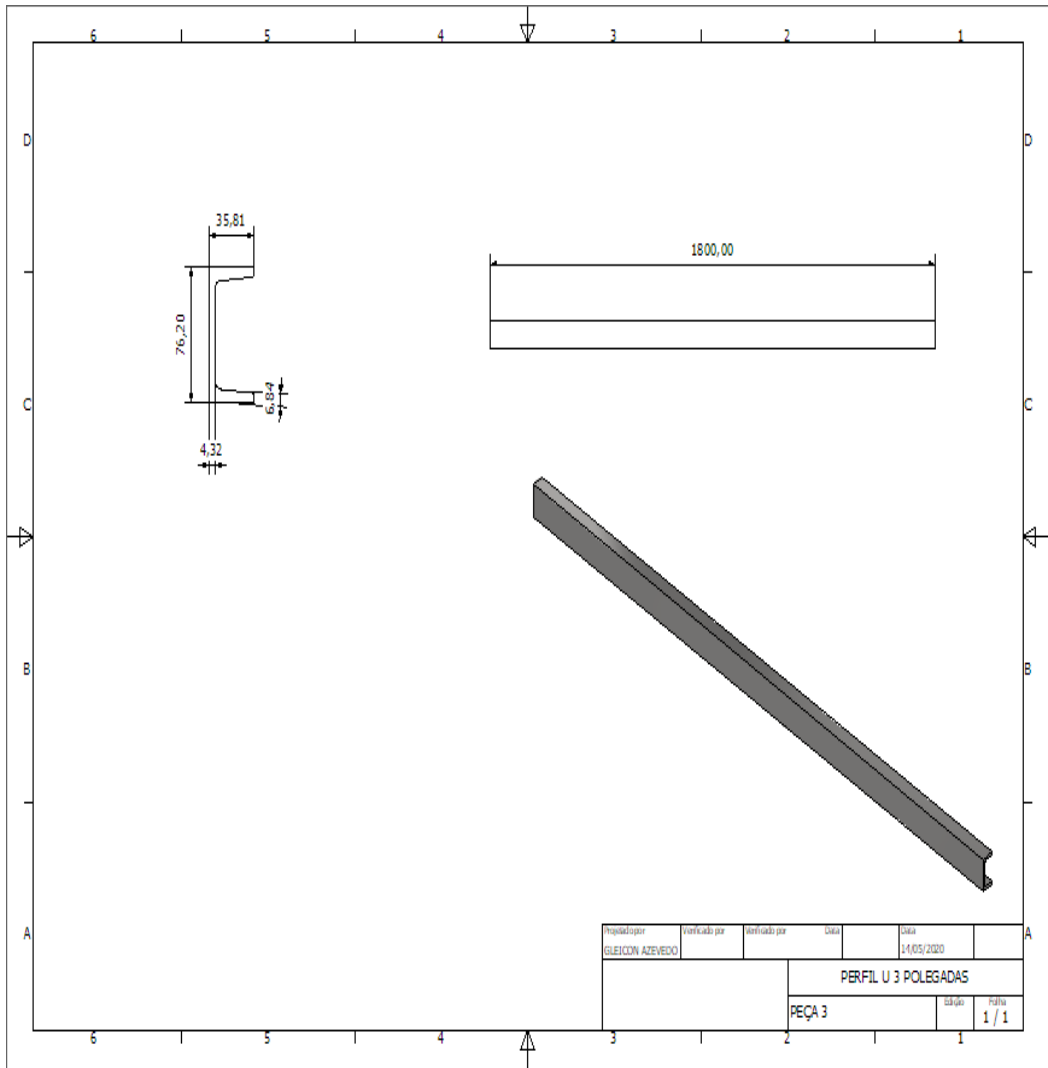


Figura 51: Peça 2



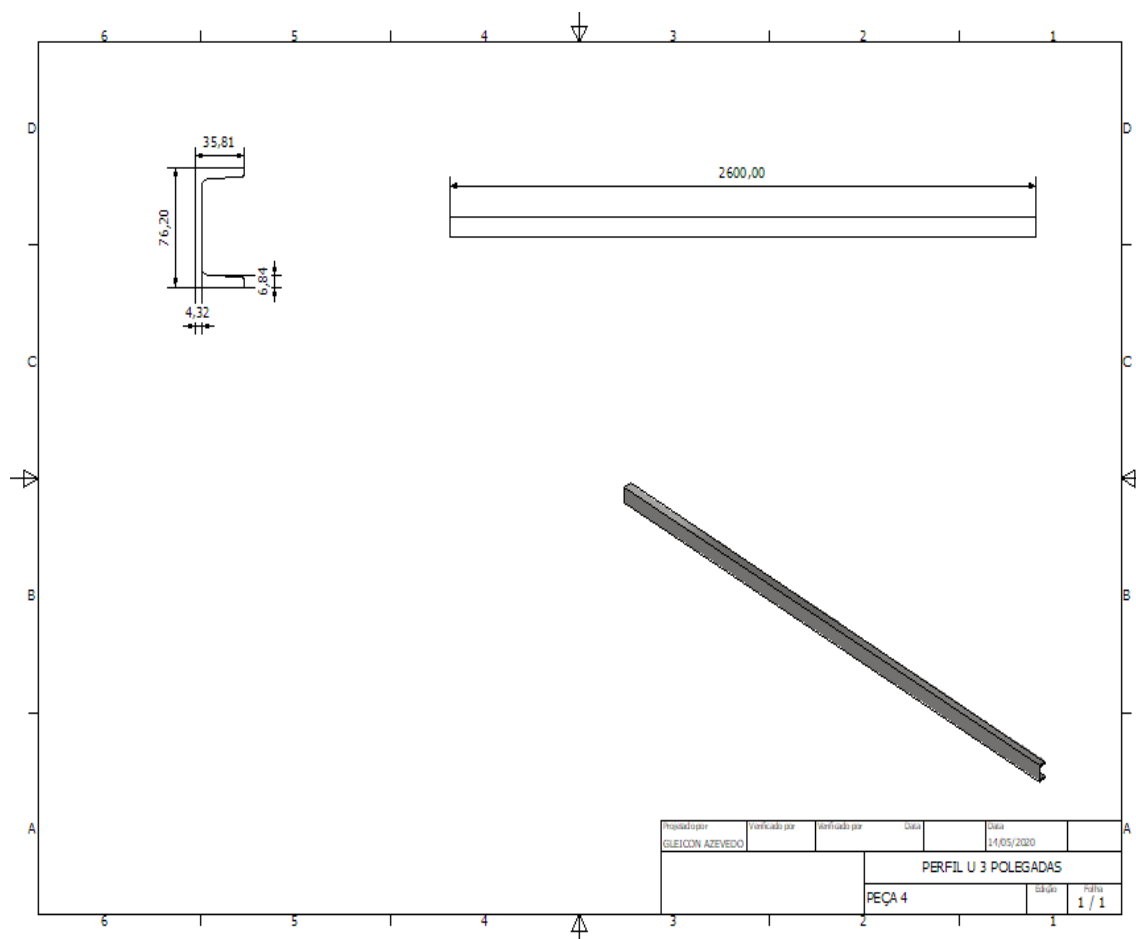
Fonte: Autor, 2020.

Figura 52: Peça 3



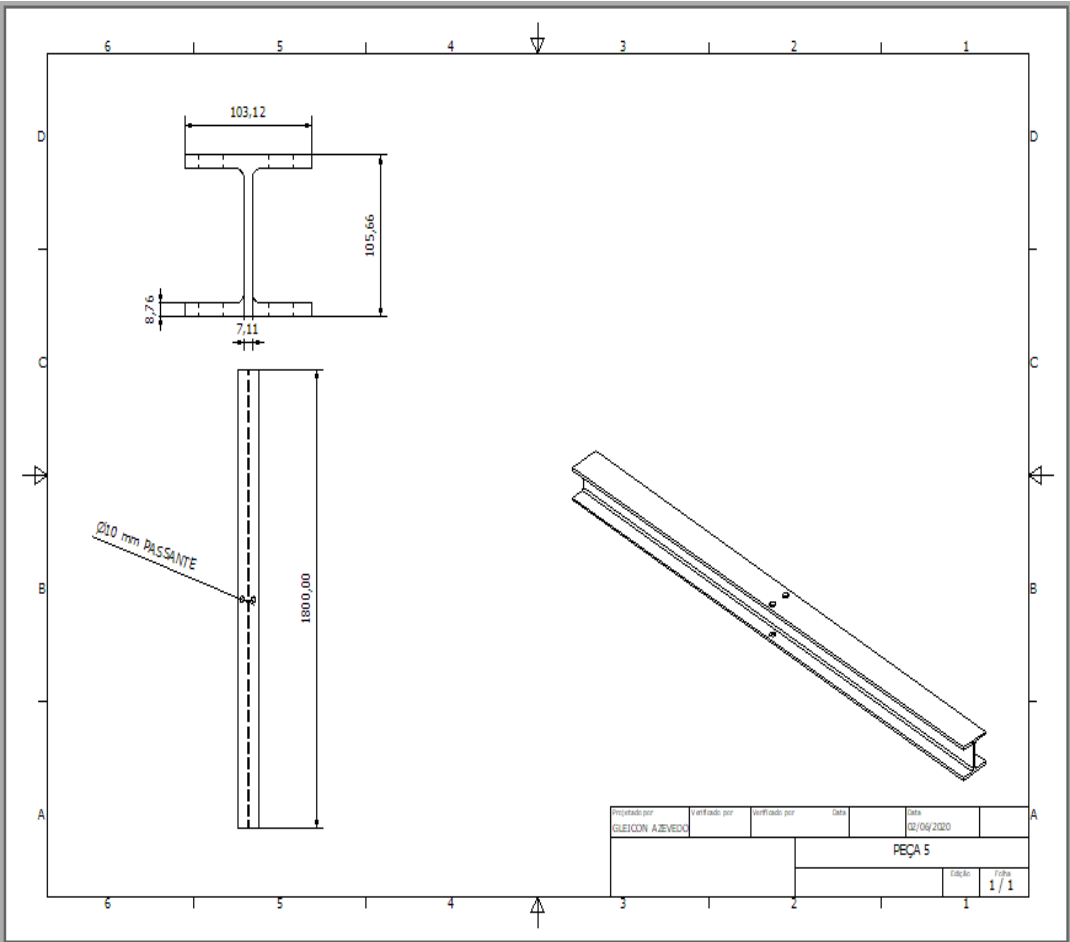
Fonte: Autor, (2020)

**Figura 53: Peça 4**



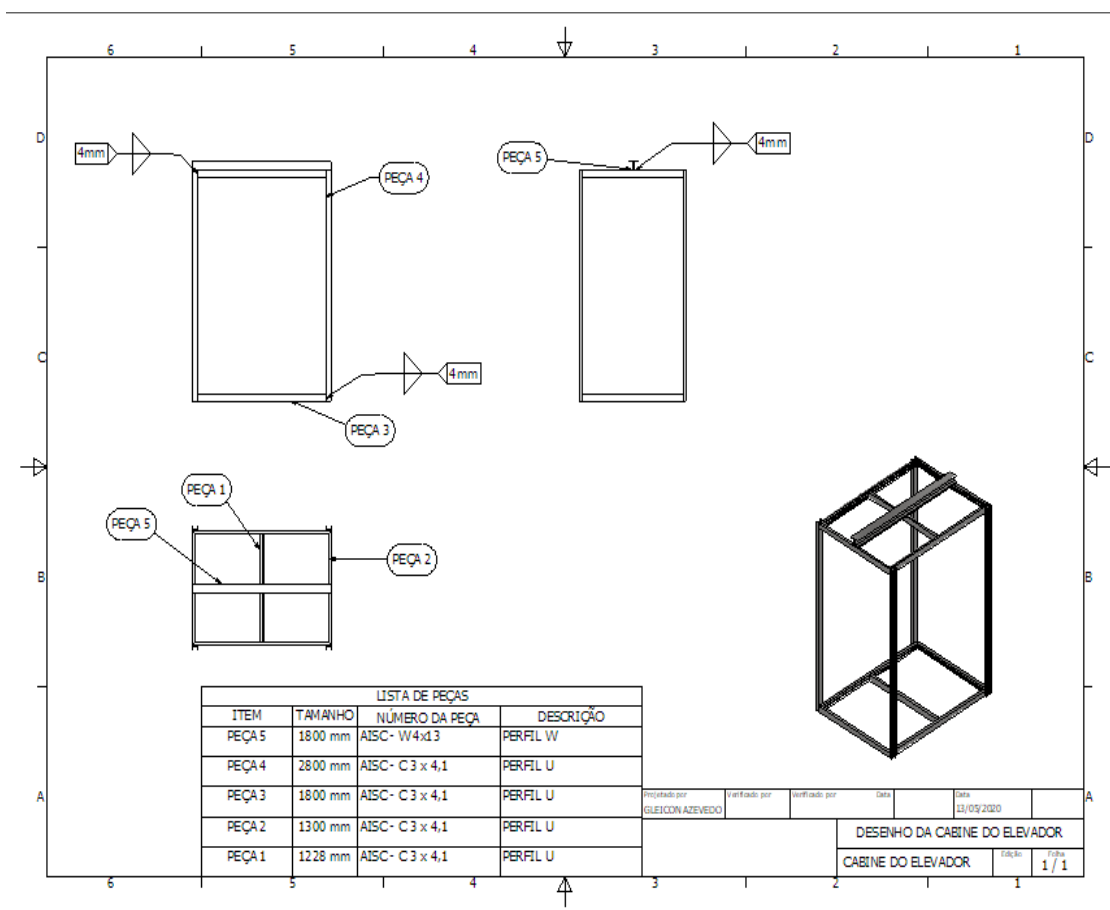
Fonte: Autor, (2020)

Figura 54: Peça 5



Fonte: Autor, (2020)

**Figura 55:** Desenho da estrutura da cabine



Fonte: Autor, 2019.