



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

• PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE ELEVADOR DE CARGAS PARA A CAPACIDADE DE UMA TONELADA

DESIGN AND SIZING OF CARGO ELEVATOR FOR ONE TON CAPACITY

EXPEDITO, Gustavo Henrique Lanzoni¹; OUVERNEY, Maycom Aurelio; Engenharia Mecânica – Universidade São Francisco – Itatiba-SP

Professor Daniel Almeida Loureiro do
Curso de Engenharia Mecânica da Universidade São Francisco;

gustavo.lanzoni@mail.usf.edu.br
maycom.ouverney@mail.usf.edu.br

1. RESUMO

Equipamentos de elevação são amplamente disseminados no cenário industrial como meio de incrementar a eficiência operacional, otimizando as linhas de produção devido à sua considerável capacidade de carga em intervalos reduzidos. O propósito central deste trabalho consiste no desenvolvimento de um elevador backup. Este objetivo é alcançado ao considerar os parâmetros de design estipulados nas normas NBR 14712, NBR 8400, além da literatura especializada em máquinas de elevação e transporte.

Palavras-chave: Elevator, Polia, Cabos, Cabine.

2. ABSTRACT

Lifting equipment is widely disseminated in the industrial scenario as a means of increasing operational efficiency, optimizing production lines due to its considerable load capacity at reduced intervals. The central purpose of this work is the development of a backup elevator. This objective is achieved by considering the design parameters stipulated in standards NBR 14712, NBR 8400, in addition to specialized literature on lifting and transport machines.

Keywords: Elevator, Pulleys, Cables, Cabin.

3. INTRODUÇÃO

A eficiência operacional e a continuidade da produção representam pilares fundamentais no cenário industrial moderno. Não é diferente dentro de uma fábrica de produtos químicos, onde diariamente grandes cargas precisam ser deslocadas. Para essa atividade comumente se utiliza empilhadeiras, porém existe a necessidade de se levar a matéria prima do processo síntese para andares superiores, para isso atualmente existe um elevador interno.

A necessidade de manutenção é inevitável neste equipamento, o que causa diversos transtornos produtivos e gera altos custos cada vez que é necessário parar o elevador, seja para manutenção programada ou emergencial. Se faz necessário o aluguel de um guindaste para cobrir a função de transporte dessa matéria prima, que são tambores de 200 Litros e “bag’s” (sacola de fibra ou plástico, com capacidade de uma tonelada).



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

O escopo deste trabalho inclui o desenvolvimento de um elevador externo destinado à movimentação de cargas de matéria prima, do térreo ao 2º e 3º andares. Este elevador será projetado para levantar diversas cargas, incluindo tambores de 200 litros com peso aproximado de 200 kg e “bag's”, recipientes macios utilizados para armazenar produtos crus, com peso até uma tonelada. A versatilidade do sistema proposto visa atender às demandas específicas do ambiente industrial, proporcionando um meio eficaz de transporte vertical. Gerando economia nos gastos de manutenção e maior fluidez produtiva para a fábrica.

Para assegurar que o projeto atenda aos mais rigorosos padrões de segurança e desempenho, será essencial a adequação aos requisitos estabelecidos pela norma NBR 8400/1984. A abordagem técnica inclui o dimensionamento cuidadoso da estrutura de fixação, estrutura da cabine, cabo e motor do elevador. Além disso, será proposta uma análise criteriosa na escolha do material mais viável para a confecção do elevador, considerando fatores como durabilidade, resistência e custo. A conclusão desse processo técnico será materializada na proposição de um esboço estrutural, apresentado na forma de desenho técnico, oferecendo uma representação visual precisa e abrangente do projeto.

4. JUSTIFICATIVA

O projeto desse novo elevador, origina-se da demanda advinda da necessidade de um elevador reserva para prosseguir com a operação da produção, em caso de paradas para manutenção preventiva ou corretiva, evitando a parada da operação, por falta da locomoção de matéria prima, além de possível despesa para suprir a falta do elevador, locando um guindaste ou outra forma de locomoção.

5. OBJETIVO

Desenvolvimento de um elevador monta-cargas externo, para elevar cargas resultantes do processo de produção, do térreo até o 2º e 3º piso. O elevador deverá ser capaz de elevar cargas, como tambores de 200 L, com peso aproximado de 200 kg e “bag's” (recipiente macio feito de pano ou plástico fino e aberto na parte superior, utilizado para guardar alimentos e outros produtos) contendo produto bruto com peso de 1 tonelada.

Ao longo do trabalho, será contemplado os seguintes tópicos:

- Adequar o projeto a contemplar a norma NBR 8400 / 1984
- Dimensionar estrutura de fixação, estrutura da cabine, cabo e motor;
- Propor o material mais viável para confecção;
- Propor esboço estrutural, em forma de desenho técnico.



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

6. METODOLOGIA

6.1 MATERIAIS

6.1.1 CABINE

A composição da estrutura tanto da cabine quanto do carro envolve o uso de aço. Devido à considerável capacidade de carga prevista para este elevador, aliada ao fato de sua instalação ser ao ar livre, o que o expõe significativamente à corrosão, torna-se imperativa a utilização de aços de elevada resistência, com aplicação de pintura eletrostática. Essa abordagem visa proteger contra os efeitos climáticos e garantir uma pintura duradoura.

A cabine do elevador será de formato aberto, incorporando apenas o piso e uma estrutura de barras laterais. O piso, por sua vez, é composto por uma chapa espessa com 1/4" de espessura.

6.1.2 MOTOR

O motor mais comumente utilizado em elevadores de carga é o motor trifásico assíncrono. Os motores trifásicos são escolhidos devido à sua eficiência, confiabilidade e capacidade de fornecer torque consistente em diferentes condições de carga. Visando uma melhor gestão de estoque, o modelo utilizado será de potência 4 cv, o que irá entregar em média 2942 Watts, motor esse que é o mesmo utilizado no elevador já existente.

6.1.3 CABO DE AÇO

O cabo utilizado no projeto, tanto para a elevação quanto para o contrapeso, será o cabo de aço não rotativo de 1.1/8", sendo de estrutura 19x7. Este modelo de cabo foi escolhido para atender de maneira segura todas as requisições do processo de içamento. Este cabo é comumente utilizado em guias e guindastes, por erguerem altas cargas em altas altitudes, o que se enquadra no caso deste projeto, que terá uma altura de trabalho de 10 metros.

6.1.4 POLIAS

Para o dimensionamento das polias levamos em consideração o cabo de 1.1/8" e o fato dele ser não rotativo. Como no caso deste projeto será utilizado a mesma bitola de cabo tanto para o içamento da cabine quanto para os contrapesos, isso se repete para as polias, sendo quatro polias para os contrapesos e uma para o içamento de 870 mm.

6.1.5 FREIO DE SEGURANÇA

O dispositivo de segurança do freio é uma peça mecânica anexada à estrutura do veículo, incumbida de imobilizar o carro quando o limitador de velocidade é ativado.



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

6.1.6 POÇO

Sob as estruturas previamente mencionadas, encontramos o poço, que representa o espaço localizado na parte inferior da estrutura. Nesse espaço, estão instalados diversos dispositivos de segurança para eventualidades de quedas, incluindo amortecedores e mecanismos para interromper o funcionamento do motor.

6.1.7 CONTRAPESO

O contrapeso, é o equipamento responsável por equilibrar a massa total da cabine e possibilita um melhor atrito entre os cabos e a polia de tração. A massa do contrapeso é calculada somando a massa da cabine suspensa, mais um valor entre 40% e 50% da carga nominal da cabine (Nuno Ângelo, 2016). Para este projeto será utilizado com contrapeso de 1740 Kg

6.2 MECANISMO DE ELEVAÇÃO

Tabela 1 - Mecanismo de elevação

Classe de funcionamento	Tempo médio de funcionamento diário estimado (h)	Duração total teórica da utilização (h)
V0,25	$t_m \leq 0,5$	≤ 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: NBR-8400 (1984).

6.3 SOFTWARE UTILIZADO

No processo de elaboração do modelo do elevador de carga, empregou-se o programa SolidWorks, uma aplicação de CAD desenvolvida pela Dassault Systems, amplamente utilizado em projetos mecânicos e simulações estruturais. A seleção desse software foi baseada na disponibilidade de uma licença estudantil.

6.4 MÉTODOS

6.4.1 CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM A NORMA NBR 8400

A norma estabelece uma classificação dos mecanismos, levando em consideração tanto a classe de funcionamento quanto o estado de solicitação. A classe de funcionamento é categorizada em conformidade com o tempo médio diário de operação, apresentado em uma



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

tabela específica. Por outro lado, o estado de solicitação refere-se à intensidade das cargas que serão transportadas e à proximidade dessas solicitações em relação à carga máxima suportada pelo mecanismo.

6.4.2 MATERIAIS PARA ESTRUTURA

O ponto 4.7.1.1 da norma NBR 14712 estipula que a caixa, bem como os elementos estruturais do carro e da plataforma, deve ser confeccionada em material metálico, mais precisamente em aço, o qual pode ser laminado, forjado, modelado ou fundido, de acordo com os requisitos a seguir:

- Aço laminado e formado: ASTM A36 ou ASTM A283 Grau D
- Aço Forjado: ASTM A668 Classe B
- Aço fundido: ASTM A27 Grau 60/30

Além disso, é estabelecido que o ferro fundido não deve ser empregado em componentes da máquina sujeitos a esforços de tensão, tração, torção ou flexão.

6.4.3 DIMENSÕES PARA OS ELEVADORES DE CARGA MONTA-CARGAS

Quanto ao dimensionamento da cabine, o item 4.7.3 da NBR-14712 explicita apenas que os elevadores de carga devem ter um mínimo de 2 metros de altura livre.

A carga máxima varia de acordo com a classe do elevador, que pode ser classe A, classe B ou classe C, conforme o item 4.3.

A norma NBR 14712 de 2013, deixa clara a separação de classes dos elevadores, onde a classe C está subdividida em três categorias:

- Categoria C-1: destinada ao carregamento de caminhões em ambientes industriais. Permite que o caminhão seja movido com a carga sem ultrapassar a capacidade do elevador.
- Categoria C-2: o caminhão não tem permissão para entrar simultaneamente com a carga.
- Categoria C-3: veículos industriais podem realizar o carregamento e descarregamento desses elevadores, contanto que a carga não exceda 100% da capacidade.

A distinção entre as Categorias C-3 e C-1 reside no fato de que, na Categoria C-3, é comum transportar cargas de volume único junto com empilhadeiras, sem ultrapassar a capacidade de peso do elevador.

A norma também define outros parâmetros necessários para o projeto e funcionamento. O coeficiente de segurança pode variar de 2 até 5 dependendo das solicitações as quais o equipamento estará submetido e não se pode, em hipótese alguma, transportar pessoas.



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

6.5 CÁLCULOS DOS ELEMENTOS MECÂNICOS

6.5.1 CABOS DE AÇO

Na análise dos cabos de aço, a norma NBR-8400 estabelece que o diâmetro mínimo seja determinado por meio da fórmula abaixo:

$$d_c = Q\sqrt{T} \quad (1)$$

Onde,

$T \rightarrow$ Esforço máximo de tração em daN

$Q \rightarrow$ Coeficiente dependente da classificação do mecanismo

O esforço máximo de tração é derivado das cargas aplicadas ao cabo. O coeficiente Q é tabelado de acordo com a categoria do mecanismo, considerando os dados relativos ao estado de solitação e à classe de funcionamento. Após a obtenção do cálculo do diâmetro mínimo, o diâmetro mais apropriado foi selecionado com base no catálogo de cabos da CIMAF.

6.5.2 CÁLCULO DAS POLIAS

A diretriz estabelecida pela NBR-8400 prescreve que a seleção do diâmetro das polias deve ser baseada no diâmetro mínimo de enrolamento do cabo, conforme calculado pela equação a seguir:

$$D_e \geq H_1 * H_2 * d_c \quad (2)$$

Onde H_1 e H_2 são coeficientes especificados na norma, escolhidos conforme a configuração do mecanismo.

Contrastando, a NBR-14712, no item 5.2.4, estabelece que as polias devem ter no mínimo 30 vezes o diâmetro do cabo, sem entrar em detalhes específicos sobre os coeficientes H_1 e H_2 mencionados na NBR-8400.

6.5.3 TENSÃO ADMISSÍVEL

Assegurar a segurança requer a restrição da carga aplicada a um valor inferior à capacidade máxima suportada pelos componentes da máquina, como indicado por Hibbeler (2019). Essa correlação é determinada pela escolha do fator de segurança do projeto, conforme expresso pela seguinte equação:

$$\text{Fator de Segurança (FS)} = \frac{\sigma_{ruptura}}{\sigma_{adm}} \quad (3)$$

6.5.4 ESPESSURA MÍNIMA DA CHAPA

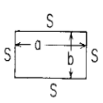
Estabelecer a espessura mínima da chapa representa a abordagem mais segura para o design do piso da máquina elevatória. Se considerarmos que a chapa é plana e composta por



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

um material isotrópico, Young e Budynas (2001) apresentam as seguintes fórmulas para o cálculo da espessura mínima:

Tabela 2 – Parâmetros para cálculo da espessura mínima da chapa.

Case no., shape, and supports	Case no., loading	Formulas and tabulated specific values										
1. Rectangular plate; all edges simply supported 	1a. Uniform over entire plate	(At center) $\sigma_{\max} = \sigma_b = \frac{\beta q b^2}{t^2}$ and $\gamma_{\max} = \frac{-\alpha q b^4}{E t^3}$ (At center of long sides) $R_{\max} = \gamma q b$										
		a/b	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	4.0	5.0	∞
		β	0.2874	0.3762	0.4530	0.5172	0.5688	0.6102	0.7134	0.7410	0.7476	0.7500
		α	0.0444	0.0616	0.0770	0.0906	0.1017	0.1110	0.1335	0.1400	0.1417	0.1421
		γ	0.420	0.455	0.478	0.491	0.499	0.503	0.505	0.502	0.501	0.500

(Ref. 21 for $\nu = 0.3$)

Fonte: NBR-8400 (1984).

6.5.5 MOTOR

O cálculo da potência do motor para um elevador envolve vários fatores, incluindo a massa total que o elevador deve movimentar, a altura de elevação, a eficiência do sistema, entre outros. Aqui está um guia básico para o cálculo da potência do motor de um elevador:

$$\text{Trabalho realizado} = m * g * h \quad (4)$$

$$\text{Trabalho realizado} = 1500 * 9,8 * 10 \quad (5)$$

$$\text{Trabalho realizado} = 147.150 \text{ J} \quad (6)$$

$$\text{Potência} = \frac{\text{Trablho}}{\text{Tempo de elevação}} \quad (7)$$

$$\text{Potência} = \frac{147*150}{100} \quad (8)$$

$$\text{Potência} = 1.471 \text{ W} \quad (9)$$

Como margem de segurança e vida útil do componente, será utilizado um fator de segurança de 2 vezes esse valor:

$$\text{Potência} = 2 * 1471 = 2942 \text{ W} \quad (10)$$

Selecionando um motor trifásico de 4 cv.

7. PROJETO ELEVADOR

Para iniciar o dimensionamento do elevador, mediu-se as dimensões das “Bags” (Figura 1) utilizadas para transporte o material. Esta “Bag” estará sobre um palete para possibilitar o transporte por meio de empilhadeiras, o que coloca o elevador dentro da Classe C-3.



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Agora o próximo passo é dimensionar a cabine do elevador, se adequando a necessidade do carregamento do palete. Para o melhor manuseio e operação da empilhadeira internamente na cabine decide-se utilizar no projeto um modelo aberto de cabine, como mostra na imagem.

Figura 1 - Modelo 3D do elevador



Fonte: Catálogo de elevadores Himor (2023)

Para isso, foi utilizado o dimensionamento máximo que se adequou dentro dos limites impostos pela norma NBR 14712, 1200 mm de largura, 1000 mm de profundidade e 2000 mm de altura. Na configuração escolhida, é possível transportar um “Bag”, totalizando 1.200 Kg por viagem.

Após o cálculo da massa a ser içada pelo elevador, partiu-se para o projeto da cabine, tendo como objetivo, a maior resistência com a menor massa possível, mantendo os custos razoáveis. A norma NBR 14712 restringe apenas que os materiais da casa de máquinas e da caixa sejam incombustíveis, para a cabine há restrições apenas no que tange a resistência dos materiais. Levando essas informações em consideração temos a cabine feita com barras metálicas para sustentação, sendo elas de aço ASTM A36. Aço este que será utilizado em toda a estrutura da cabine.

O portfólio de vigas de aço estrutural da Gerdau® oferece três opções de material conforme as especificações da ASTM (American Society for Testing and Materials). O aço ASTM A36, amplamente utilizado, o ASTM A572, que apresenta maior resistência mecânica



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

e menor peso, e o ASTM A588, que além de ser mais leve e possuir maior resistência mecânica, também demonstra uma resistência superior à corrosão.

Devido às condições operacionais moderadas e à ausência de exigências extremas, a escolha recaiu sobre o ASTM A36, que também se destaca por ser mais econômico em comparação com as outras duas alternativas mencionadas. As propriedades do material estão detalhadas na Tabela 2, extraída do catálogo da empresa, e seu uso está em conformidade com as normas estabelecidas.

Tabela 3 - Aços estruturais.

NORMA	CARACTERÍSTICAS	PRINCIPAIS APLICAÇÕES	PRINCIPAIS PRODUTOS
ASTM A36 / NBR 7007 MR 250	Aço carbono com finalidade de utilização estrutural e em aplicações comuns.	Estruturas metálicas em geral, serralheria, passarelas, máquinas e implementos agrícolas, implementos rodoferroviários.	Cantoneira, Barra Redonda, Barra Quadrada, Barra Chata, Perfil I, Perfil U, Perfil T e Perfil Estrela.
ASTM A572 / NBR 7007 AR 350 ou AR 415	Aço estrutural de baixa liga e alta resistência utilizado em estruturas metálicas a fim de reduzir o peso em virtude de sua maior resistência mecânica se comparado com um aço carbono de uso comum.	Torres de transmissão de energia e de telecomunicações, estruturas metálicas em geral, passarelas, máquinas e implementos agrícolas, implementos rodoferroviários.	Cantoneira e Barra Chata.
*ASTM A588 / NBR 7007 AR 350 COR	Aço estrutural de baixa liga e alta resistência desenvolvido para estruturas metálicas a fim de reduzir o peso em virtude da resistência mecânica mais elevada, com maior resistência à corrosão atmosférica, quando comparado com um aço carbono de uso comum.	Estruturas metálicas em geral, máquinas e implementos agrícolas, implementos rodoferroviários e demais aplicações em que seja necessária proteção adicional contra a corrosão atmosférica aliada a uma maior resistência mecânica.	Cantoneira, Barra Redonda, Barra Chata, Perfil I, Perfil U e Perfil T.

Tabela de Propriedades Mecânicas Referencial					
Propriedades Mecânicas					
Especificação	Equivalência NBR 7007	Limite de Escoamento Min. (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento 200 mm (%)	Alongamento 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: Catálogo de barras e perfis. Gerdau (2022).

Assim, no que diz respeito ao material selecionado, observamos que o limite de escoamento é de 250 MPa. Devido ao fato de o alongamento de um corpo de prova de 50 mm ser superior a 21%, a norma prescreve um coeficiente de segurança de 2. Desse modo, conseguimos calcular a tensão admissível nas vigas, conforme indicado abaixo:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_e}{FS} = \frac{250}{2} = 125 \text{ MPa} \quad (11)$$

A tabela abaixo resume os dados dimensionais obtidos através de cálculo e da norma.



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

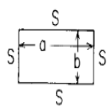
Tabela 6 – Resumo dimensionais.

Largura	1200 mm
Profundidade	1000 mm
Altura	2000 mm
Carga Útil	1200 Kg
Densidade do aço A36	7,85 g/cm ³
Limite de Escoamento	250 MPa
Fator de Segurança	2
Tensão Admissível	125 MPa

Autor: autor

Antes de estabelecer as dimensões específicas das vigas estruturais, é fundamental determinar o peso do piso da cabine. Para realizar essa avaliação, é possível calcular a espessura mínima da placa utilizando a tabela a seguir:

Tabela 7 – Parâmetros para cálculo da espessura mínima da chapa

Case no., shape, and supports	Case no., loading	Formulas and tabulated specific values										
1. Rectangular plate; all edges simply supported 	1a. Uniform over entire plate	(At center) $\sigma_{\max} = \sigma_b = \frac{\beta q b^2}{t^2}$ and $y_{\max} = \frac{-\alpha q b^4}{Et^3}$										
		(At center of long sides) $R_{\max} = \gamma q b$										
		a/b	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	4.0	5.0	∞
		β	0.2874	0.3762	0.4530	0.5172	0.5688	0.6102	0.7134	0.7410	0.7476	0.7500
		α	0.0444	0.0616	0.0770	0.0906	0.1017	0.1110	0.1335	0.1400	0.1417	0.1421
γ	0.420	0.455	0.478	0.491	0.499	0.503	0.505	0.502	0.501	0.500		

(Ref. 21 for $\nu = 0.3$)

(Ref. 21 for ν = 0.3)

Fonte: NBR-8400 (1984).

$$t_2 = 0,3762 * 92,3787 * \frac{1^2}{125} = 5,8952 \text{ mm} \quad (12)$$

Após o término do cálculo e obtenção do valor de 5,8952 mm podemos enfim selecionar a espessura da chapa correta para o projeto do elevador. Utilizando a tabela 04 podemos chegar à espessura mais aproximada do resultado, sendo ela uma Chapa Grossa de 1/4".



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Tabela 8 – Espessuras chapa grossas

Espessura		Peso aproximado
pol.	mm	kg/m ²
1/4"	6,30	49,39
5/16"	8,00	62,72
3/8"	9,50	74,48
1/2"	12,50	98,00
5/8"	16,00	125,44

Fonte: Tabela de chapas e bobinas Gerdau adaptada (2023)

Pela tabela, temos que a massa por metro quadrado da chapa é de 49,39 kg/cm², então é necessário ajustar o valor da massa correspondente à chapa, através do seguinte cálculo:

$$A = l * h \quad (13)$$

$$A = 1,2 * 1,0 = 1,2 \text{ m}^2 \quad (14)$$

$$m = y * A \quad (15)$$

$$m = 49,39 * 1,2 = 59,268 \text{ kg} \quad (16)$$

A cabine estará apoiada sobre de uma viga bi apoiada pelas extremidades e a chapa estará apoiada em toda a viga.

Para o cálculo da espessura da viga, segundo a norma, devemos acrescentar uma 0,25% de carga, acima da carga útil. O momento fletor máximo, se encontra no centro da viga, portanto o cálculo será disposto conforme a fórmula abaixo:

$$P = [1200 \text{ kg} + (0,25 * 59,268)] * 9,87 \text{ m/s}^2 \quad (17)$$

$$P = 11 \text{ 990,244 N} \quad (18)$$

Aplicando o fator de segurança no resultado anterior, temos:

$$P_{fs} = P . 2 \quad (19)$$

$$P_{fs} = 1 \text{ 990,244} * 2 \quad (20)$$



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

$$P_{fs} = 23\,980,487\,N \quad (21)$$

Neste caso, a viga estará apoiada por dois apoios, então a reação será descrita pela seguinte fórmula:

$$R_1 = R_2 = \frac{P}{2} \quad (22)$$

$$R = \frac{23\,980,487}{2} = 11\,990,244\,N \quad (23)$$

A largura da viga é de mil e duzentos milímetros, sendo que o braço será metade desse valor, ou seja, seiscentos milímetros, então o momento fletor máximo é o seguinte:

$$M_{m\acute{a}x} = R * b \quad (24)$$

$$M_{m\acute{a}x} = 11\,990,24 * 0,6\,m \quad (25)$$

$$M_{m\acute{a}x} = 7\,194,146\,N.m \quad (26)$$

Para o momento fletor mínimo no eixo y, temos:

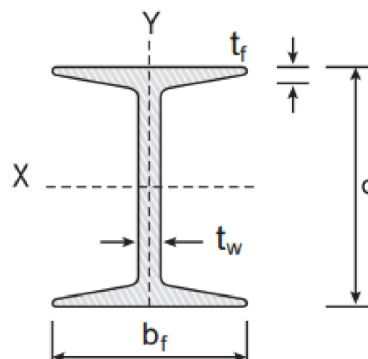
$$W_{min} = \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_{adm}} \quad (27)$$

$$W_{min} = \frac{7\,194,146\,N.m}{125\,MPa} \quad (28)$$

$$W_{min} = 57,55\,cm^3 \quad (29)$$

De acordo com a tabela da fabricante Gerdau, temos:

Figura 2 - Desenho perfil I



Fonte: Tabela de vigas perfil I Gerdau (2023)



Figura 3 - Medidas Relacionadas

BITOLA Linear kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b ₁ mm	ESPESSURA				h mm	d' mm	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r _x cm	I _x cm ⁴	ESBELTEZ		C _x cm ³	u m ² /m	BITOLA kg/m
				t ₁ mm	t ₂ mm	t ₃ mm	t ₄ mm				I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm	Z _y cm ³			ABA - J _x b ₁ /2t ₁	ALMA - J _y d'/t ₂			
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	2,80	1,72	10,20	27,49	4,181	0,67	W 150 x 13,0		
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48	6,683	0,69	W 150 x 18,0		
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	102	5,8	6,6	139	119	29,0	1.229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48	20,417	0,88	W 150 x 22,5 (H)		
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1.384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,48	10,208	0,69	W 150 x 24,0		
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1.739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94	30,277	0,90	W 150 x 29,8 (H)		

Fonte: Tabela de vigas perfil I Gerdau (2023)

A tabela mostra que, para o valor de W igual a 57,55 cm³, temos a viga perfil W 150x29,8 mm, fabricado em aço A36.

Para o cálculo do peso da cabine, segundo a norma NBR 8400, deve ser ter uma altura mínima de dois metros, então podemos calcular a área da cabine, através do seguinte cálculo?

$$A_c = 3 * 2 * 2 * 1,2 = 14,4 \text{ m}^2 \quad (30)$$

O peso da cabine pode ser encontrado através da seguinte fórmula:

$$P_c = \left(14,4 \text{ m}^2 * 0,1494 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) * 9,87 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 21,24 \text{ N} \quad (31)$$

Para calcular os cabos de elevação utilizando o método indicado na regulamentação NBR-8400, em primeiro lugar, é preciso categorizar o tipo de mecanismo encontrado no elevador em relação à classe de operação e à condição de demanda dos mecanismos. Para determinar a classe de operação, é essencial estimar o tempo médio de operação do monta-cargas.

Considerando que a velocidade do elevador seja de 0,1 m/s e o deslocamento máximo estimado seja de aproximadamente 10 m, é possível calcular que o tempo necessário para realizar uma viagem é de 100 segundos. Como este é um elevador de reserva, sua utilização será situacional.

Portanto, a classe de operação do elevador, conforme a Tabela 9, é V0,5. A carga transportada pelo elevador variará entre tonéis e "bag's", sendo seu uso próximo à região máxima projetada.

Tabela 9 - Classes de Funcionamento.

Classe de funcionamento	Tempo médio de funcionamento diário estimado (h)	Duração total teórica da utilização (h)
V0,25	$t_m \leq 0,5$	≤ 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: NBR-8400 (1984).



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Dessa forma, o estado de demanda mais apropriado para o projeto é o 3, de acordo com a Tabela 10 a seguir.

Tabela 10 – Estados de solicitação.

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: NBR-8400 (1984).

Tendo conhecimento da classe de funcionamento e o estado de solicitação dos mecanismos, identificou-se, por meio de uma tabela adicional contida na regulamentação, a categoria de mecanismo à qual o projeto do elevador pertence. Ao realizar a análise cruzada das informações, constatamos na Tabela 9 a seguir que o projeto está associado ao grupo 1Am.

Tabela 11 – Grupo de 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: NBR-8400 (1984).

Segundo a mesma norma, o diâmetro mínimo que o cabo de aço deve ter para sustentar toda a estrutura da cabine do elevador é:

$$dc = Q\sqrt{T} \quad (32)$$

$T \rightarrow$ Esforço máximo de tração em daN

$Q \rightarrow$ Coeficiente dependente da classificação do mecanismo

Para o valor de T, temos:

$$T = m.a.\psi \quad (33)$$



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

O regulamento solicita que a determinação da força máxima de tração leve em consideração as variações decorrentes do levantamento abrupto da carga, durante o arranque do motor elétrico. Essas demandas são contempladas por meio de um fator dinâmico (ψ) correspondente ao tipo do mecanismo. Com base na velocidade de elevação, a norma estabelece o coeficiente de 1,15.

Para este cálculo está sendo considerado a massa como a somatória do peso de carga máxima que será utilizado no elevador, levando em conta a matéria prima, pallet, paleteira e uma pessoa que ocasionalmente irá entrar na cabine para carga ou manutenção, que é de 1.200 kg, a massa da cabine que é estimada em 212,40 kg, o que totaliza 1.414,40 kg. Como arredondamento de segurança foi adotado 1.500 kg.

$$T = m * a * \psi \quad (34)$$

$$T = 1\,500\,kg * 9,81 \frac{m}{s^2} * 1,15 \quad (35)$$

$$T = 16\,922,25\,daN \quad (36)$$

$$\frac{T}{2} = 8\,461,125\,daN/cabo \quad (37)$$

A tensão é dividida por dois, devido a configuração do cabo com a polia, como mostra a Figura 4 abaixo.

Figura 4 – Esboço da polia com o cabo.



Fonte: Autor

O valor do coeficiente Q é retirado da Tabela 12 abaixo, também presente na norma NBR-8400.



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Tabela 12 – 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: NBR-8400 (1984).

Tendo os valores de Q e T em mãos, calculou-se o valor do diâmetro mínimo (d_c)

$$d_c = Q\sqrt{T} \quad (38)$$

$$d_c = 0,300\sqrt{8\,461,125} \quad (39)$$

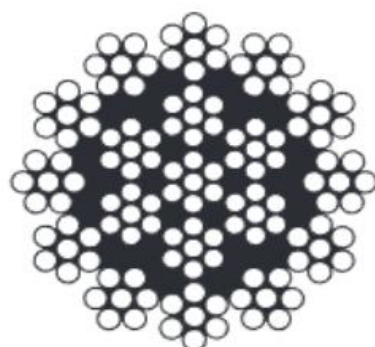
$$d_c = 27,59 \text{ mm} \quad (40)$$

Tendo os valores de Q e T em mãos, calculou-se o valor do diâmetro mínimo (d_c) do cabo igual a 27,59 mm. O catálogo da CIMAF 2014 sugere os cabos da classe 8x19 Seale para tração em elevadores de passageiros, como o elevador presente neste projeto tem sua área de atuação com carga elevada e alta altitude, foi escolhido o cabo de aço de grau 19x7, comumente utilizado em guindastes e gruas. Devido o diâmetro encontrado não ser comercial, escolhe-se o imediatamente acima, no caso $d_c = 29 \text{ mm}$, sendo o cabo de 1.1/8". De acordo com o catálogo, a massa aproximada do cabo é de 3.295 kg/m. O comprimento do cabo a ser utilizado em todo sistema é de aproximadamente 22 metros. Portanto, teremos uma massa de cabo de aço de 72,49 kg.



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Figura 5 - Diâmetros cabo 19x7



19x7
1+6

Diâmetro		Massa Aprox. (kg/m)	Carga de Ruptura Mínima	
mm	pol.		IPS	EIPS
6,4	1/4"	0,170	2,40	-
8,0	5/16"	0,260	3,75	-
9,5	3/8"	0,358	5,40	-
11,5	7/16"	0,523	7,40	-
13,0	1/2"	0,699	9,60	-
14,5	9/16"	0,821	12,10	-
16,0	5/8"	1,054	15,00	-
19,0	3/4"	1,492	21,50	-
22,0	7/8"	2,050	29,30	-
26,0	1"	2,639	38,20	42,30
29,0	1.1/8"	3,295	48,40	53,60
32,0	1.1/4"	4,121	59,70	66,10

Fonte: Catálogo CIMAF 2014

A determinação dos tamanhos das polias foi realizada de maneira direta conforme os padrões, fundamentada em dados extraídos de duas tabelas abaixo e no cálculo prévio do diâmetro mínimo. A equação para o cálculo do diâmetro mínimo das roldanas encontra-se delineada a seguir, enquanto os índices estão disponíveis nas tabelas subsequentes. A seleção do coeficiente H1 é orientada pelo grupo do mecanismo, ao passo que o H2 é influenciado pelo número de roldanas no circuito e pelas mudanças de direção no enrolamento. Conforme a norma, para a disposição selecionada, $Wt \leq 5$. Portanto, estabelecemos que $H1 = 18$ e $H2 = 1$. Desse modo:



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Tabela 13 – Valores de H1.

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: NBR-8400 (1984).

Tabela 14 – Valores de H2.

W_T	≤ 5	6 a 9	≥ 10
H_2	1	1,12	1,25

Fonte: NBR-8400 (1984).

Sendo que a fórmula é a seguinte:

$$D_e = H1 * H2 * dc \quad (41)$$

$$D_e = 18 * 1 * 29 \quad (42)$$

$$D_e = 522 \text{ mm} \quad (43)$$

Conforme a norma NBR-14712, o diâmetro mínimo da polia precisa ser 30 vezes maior, em relação ao cabo, deste modo temos:

$$D_{min} = 30 * 29 = 870 \text{ mm} \quad (44)$$

As dimensões do projeto estão resumidas na tabela abaixo:



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Tabela 15 – Memorial de cálculo.

Largura	1200 mm
Profundidade	1000 mm
Altura	2000 mm
Carga Útil	1200 Kg
Densidade do aço A36	7,85 g/cm ³
Limite de Escoamento	250 MPa
Fator de Segurança	2
Tensão Admissível	125 MPa
Espessura das Chapas	6,35 mm
Material	Aço ASTM A36
Carga útil	1 200 kg
Carga Total do Carro	1 500 kg
Velocidade	0,1 m/s
Diâmetro do Cabo	29 mm
Tipo de Construção	19x7
Diâmetro da polia	870 mm

Fonte: Autor

8. CONCLUSÃO

No desfecho deste trabalho de conclusão de curso, é possível destacar a relevância do projeto que visa a implementação de um elevador externo como uma solução estratégica para atuar como reserva diante da singularidade do único elevador atualmente operante na fábrica. A necessidade de paradas frequentes, seja para manutenção programada ou em situações emergenciais, implica em custos substanciais associados ao aluguel de guindastes para manter a operação contínua ou, em última instância, resulta na interrupção da produção. Diante desse cenário, a proposta de um elevador externo surge como uma resposta eficaz para mitigar esses desafios operacionais.

O elevador projetado apresenta características fundamentais que o tornam uma alternativa viável e eficiente. Com uma capacidade de carga útil de 1200 kg, suas dimensões foram cuidadosamente planejadas para acomodar o transporte de barris de 200 litros ou "bags" de uma tonelada. Essa versatilidade garante não apenas a capacidade de suportar as demandas de produção atuais, mas também se adapta a possíveis variações nas necessidades logísticas da fábrica no futuro.

Ao reduzir a dependência exclusiva do único elevador existente, o projeto contribui significativamente para a minimização dos custos associados às paradas programadas e emergenciais. Sendo o custo total por dia de aluguel R\$7 500,00, tendo em média 16 dias de aluguel por ano. A eficácia do elevador externo como uma reserva estratégica não apenas otimiza os recursos financeiros da empresa, gerando um "save" de R\$120 000,00 e também assegurando a continuidade operacional, evitando interrupções prejudiciais à produção.



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Este elevador projetado teve seu valor de construção e instalação avaliado em R\$198.000,00, ou seja, em aproximadamente 20 meses o elevador irá se pagar, gerando a partir deste ponto economia real.

O monta-cargas projetado, pode erguer a carga de uma tonelada, conforme o proposto inicialmente, mesmo sendo um equipamento reserva, para uso somente quando necessário.

Será necessário atribuir melhorias no futuro, como colocar estruturas para fechar toda a volta do equipamento, tendo em vista que este projeto ficará exposto para intempéries, no lado externo do prédio da produção. A estrutura em volta, pode ser feita com chapas e alvenarias, já que são materiais com bom custo-benefício para o projeto, além de proporcionar a devida proteção necessária para toda a estrutura mecânica.

Outra melhoria pertinente, será no aprimoramento do cabo de aço, onde este pode desgastar-se rapidamente, devido à exposição às intempéries, ocasionando no rompimento do mesmo, na qual pode levar um mal funcionamento do equipamento, ou pior, causar algum acidente com a carga que haver no interior do equipamento. Uma solução para o cabo de aço, seria utilizar cabos revestidos com resina, à prova de umidade, para reduzir o nível de desgaste no mesmo.

Para o uso do equipamento, será necessário, sempre, avaliar as condições estruturais da cabine e cabo de aço, para evitar que haja falhas mecânicas, a fim de evitar problemas na utilização do mesmo.

Portanto, este trabalho evidencia não apenas a concepção de um projeto técnico, mas também ressalta sua importância prática e estratégica para a operação da fábrica. A implementação bem-sucedida do elevador externo não apenas atende às demandas imediatas da empresa, mas sinaliza um passo significativo em direção à eficiência operacional e à sustentabilidade a longo prazo.

9. REFERÊNCIAS

ABNT NBR 8400 – **Cálculo de equipamentos para levantamento e movimentação de cargas** – ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT/CB-004 Comitê Brasileiro de Mecânica 1984.

ABNT NBR 14712:2013 – **Elevadores elétricos e hidráulicos – Elevadores de carga, monta-cargas e elevadores de maca – Requisitos de segurança para construção e instalação** – ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT/CB-04 Máquinas e Equipamentos Mecânicos 2013.

ÂNGELO, Nuno Tiago Proença - **Projecto e Concepção de um Sistema Elevador Monta-cargas Industrial**. Lisboa, PT: 2016. 210 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Engenharia Eletrotécnica.

CIMAF. **Manual Técnico de Cabos (2014)**. Disponível em: catalogocimaf2014completo.pdf (aecweb.com.br) . Acesso em: 8 abr. 2022.

GERDAU, Comercial – **Catálogo de Produtos** – Disponível em: <https://mais.gerdau.com.br/catalogo-chapas-grossas-gerdau>, acesso em outubro/2023.



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 5. Ed. São Paulo: Pierce Prentice Hall, 2004. 690p.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos Materiais / Russel Charles Hibbeler**. 7.Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

YOUNG, W. C.; BUDYNAS, R. G. **Roark's Formulas for Stress and Strain**. 7. Ed. United States of America: McGraw-Hill, 1989. 852p