

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA
FONSECA**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ENGENHARIA MECÂNICA

LUCAS RODRIGUES BARROS

PEDRO AUGUSTO GOMES ALVES SILVA

VICTOR HUGO FERNANDES D'O BRANCO

**PROJETO DE ELEVADOR INCLINADO SOBRE ESCADA RETA PARA
PESSOAS COM MOBILIDADE REDUZIDA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

RIO DE JANEIRO

2024

LUCAS RODRIGUES BARROS

PEDRO AUGUSTO GOMES ALVES SILVA

VICTOR HUGO FERNANDES D'O BRANCO

**PROJETO DE ELEVADOR INCLINADO SOBRE ESCADA RETA PARA
PESSOAS COM MOBILIDADE REDUZIDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, do Departamento de Educação Superior, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca.

Orientador: Leydervan de Souza Xavier e Ricardo Alexandre Amar de Aguiar

RIO DE JANEIRO

2024

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

B277 Barros, Lucas Rodrigues

Projeto de elevador inclinado sobre escada reta para pessoas com mobilidade reduzida / Lucas Rodrigues Barros, Pedro Augusto Gomes Alves Silva [e] Victor Hugo Fernandes D'o Branco. — 2024. 119f. + apêndice : il.(algumas color). ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2024.

Bibliografia : f. 118-119

Orientador: Leydervan de Souza Xavier

Coorientador: Ricardo Alexandre Amar de Aguiar

1. Engenharia mecânica. 2. Elevadores. 3. Pessoas com deficiência – Orientação e mobilidade. Projeto de produto. I. Silva, Pedro Augusto Gomes Alves. II. Branco, Victor Hugo Fernandes D'o. III. Xavier, Leydervan de Souza. (Orient.). IV. Aguiar, Ricardo Alexandre Amar de (Coorient.). V. Título.

CDD 621

Elaborada pela bibliotecária Tania Mello – CRB/7 nº 5507/04

Aqueles que não conhecem a ciência têm dificuldade em compreender a verdadeira sensação da beleza, a beleza mais profunda da natureza... Para compreender e apreciar a natureza em sua plenitude, é necessário dominar a linguagem que ela usa.

Richard Feynman

RESUMO

BARROS, Lucas Rodrigues; SILVA, Pedro Augusto Gomes Alves; BRANCO, Victor Hugo Fernandes D'O. **Projeto de elevador inclinado sobre escada reta para pessoas com mobilidade reduzida**. 2024. Número total de folhas. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2024.

Este projeto aborda o desenvolvimento de uma plataforma de elevação instalada em um plano inclinado, com o objetivo de proporcionar acessibilidade e aumentar a produtividade, especialmente para pessoas com mobilidade reduzida. Propõe-se o dimensionamento de uma cadeira elevatória específica para escadas, projetada para atender às necessidades de mobilidade em residências de múltiplos andares, com foco na criação de uma solução personalizada e financeiramente viável. O projeto tem como objetivo oferecer uma alternativa que reduza os elevados custos dos equipamentos de elevação disponíveis no mercado, proporcionando uma solução acessível e adequada tanto para pessoas com mobilidade reduzida quanto aquelas sem limitações. O projeto envolve o dimensionamento da estrutura da plataforma em conformidade com as normas brasileiras vigentes, garantindo segurança e aderência a padrões estabelecidos. Além disso, os mecanismos de elevação e os dispositivos de segurança foram projetados com base em análises de resistência, assegurando que a estrutura suporte eficazmente os esforços a que será submetida durante o uso.

Palavras-chave: Elevador. Plataforma de elevação. Cadeira Elevatória. Mobilidade Reduzida. Pessoas com Deficiência. PCD.

ABSTRACT

BARROS, Lucas Rodrigues; SILVA, Pedro Augusto Gomes Alves; BRANCO, Victor Hugo Fernandes D'O. **Inclined stairlift project for people with reduced mobility**. 2024. Número total de folhas. Bachelor's Thesis – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2024.

This project addresses the development of a lift platform installed on an inclined plane, aiming to provide accessibility and increase productivity, especially for people with reduced mobility. It proposes the design of a specific stairlift chair, tailored to meet mobility needs in multi-story homes, focusing on creating a customized and financially viable solution. The project aims to offer an alternative that reduces the high costs of lifting equipment currently available on the market, providing an accessible and suitable solution for both individuals with limited mobility and those without any limitations. The project involves designing the platform structure in compliance with current Brazilian standards, ensuring safety and adherence to established standards. Additionally, the lifting mechanisms and safety devices have been designed based on strength analyses, ensuring that the structure effectively withstands the stresses it will encounter during use.

Keywords: Elevator. Lift Platform. Stairlift. Reduced Mobility. People with Disabilities. PwD.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Cadeira elevatória, modelo SIENA – Fabricante Stannah Stairlift.....	16
Figura 2– Plataforma elevatória para escadas, modelo DELTA – Fabricante Elleva Acessibilidade	16
Figura 3 - Visão lateral de um humano sentado, com identificação das medidas antropométricas através de cotas	28
Figura 4 - Vistas da mão com identificação das medidas antropométricas através de cotas	29
Figura 5 - Vistas do pé com identificação das medidas antropométricas através de cotas	29
Figura 6: Vista lateral da escada do Estudo de Caso.....	33
Figura 7: Vista frontal da escada do Estudo de Caso	34
Figura 8 – Altura e largura do degrau com e sem bocel.....	36
Figura 9 – Design proposto da cadeira elevatória	38
Figura 10 - Cadeira elevatória posicionada em relação à escada	39
Figura 11 - Modelo idealizado bruto da plataforma	41
Figura 12 – Identificação das barras da base da plataforma.....	43
Figura 13 - Identificação da base vertical.....	49
Figura 14 - Fórmulas do segundo momento polar de inércia	59
Figura 15 - Ilustração dos esforços sobre a placa	67
Figura 16 – Força tangencial horizontal	72
Figura 17: Acoplamento do pistão	83
Figura 18: Acoplamento no trilho.....	84

Figura 19 - Sistema da cadeira elevatória posicionada na escada	85
Figura 20 - Projeto detalhado da estrutura da cadeira elevatória.....	85
Figura 21 - Montagem final, com os componentes da cadeira elevatória integrados em conjunto	86
Figura 22 – Esquema elétrico da cadeira elevatória.....	96
Figura 23 – Layout dos pinos da placa ESP32-C6-DevKitM-1	96
Figura 24 - Layout dos pinos da placa ESP32-C6-DevKitC-1.....	97
Figura 25 – Tabela de seleção de espuma de acordo com biotipo.....	106
Figura 26 – Diagrama de corpo livre	121
Figura 27: diagrama de corpo livre da barra lateral do apoio dos pés (2).....	123
Figura 28: Esforços na cadeira.....	124
Figura 29: Esforços na cadeira outra vista.....	125
Figura 30 – Diagrama de corpo livre da barra do vão central (3).....	126
Figura 31: Diagrama de corpo de livre barra do vão central (3).....	128
Figura 32 – Diagrama de corpo livre da barra lateral da Plataforma (4).....	130
Figura 33: Análise do torque sobre a barra vertical.....	131
Figura 34: Sistema 0.	131
Figura 35: Sistema 1.	132
Figura 36: Sistema 2.	133
Figura 37: Análise do esforço horizontal.....	135
Figura 38: Análise do esforço Vertical.....	136
Figura 39 – Diagrama do corpo livre da coluna (5).....	137

Figura 40: Diagrama do corpo livre do dispositivo C.	139
Figura 41 – Diagrama de apoio com a força do binário	141
Figura 42: Representação do dispositivo C.....	142
Figura 43: Diagrama do corpo livre do dispositivo C.	142
Figura 44: Diagrama da coluna do lado da plataforma sem concentração de carga.	144
Figura 45: Suporte do dispositivo C no lado sem concentração de carga.....	146
Figura 46: Estudo da reação do apoio com a força do binário.....	148
Figura 47: Diagrama do corpo livre do trilho superior.	149
Figura 48: Diagrama do corpo livre da barra que conecta o poste.	151
Figura 49: Diagrama do corpo livre do poste.....	152
Figura 50: Diagrama do corpo livre do trilho inferior.	153
Figura 51: Fixação do Motor.....	155
Figura 52 – Catálogo de baterias Moura Clean MF.....	178
Figura 53 – Catálogo de baterias Freedom DF.....	179
Figura 54: Catálogo de tubos redondos pequenos	180
Figura 55: Catálogo de tubos redondos médios.....	181
Figura 56: Catálogo de tubos quadrados.....	182
Figura 57: Catálogo de barra chata laminada	183
Figura 58: Catálogo de barra rendoda	184
Gráfico 1 – Gráfico de determinação do módulo	73

Gráfico 2 - Curvas de interrupções da corrente versus tempo92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Avaliação do grau de dificuldade para chegar ao fim do mês com rendimento monetário familiar.....	18
Tabela 2 - Classes de rendimento familiar, quantidade e fração do total de domicílios	19
Tabela 3 - Distribuição de pessoas com 2 anos ou mais de idade com deficiência, por renda domiciliar per capita e tipo de dificuldade funcional (dificuldade para andar ou subir degraus), no Brasil, em 2022	19
Tabela 4 - Total de pessoas com dificuldade na mobilidade com poder de compra	21
Tabela 5 – Medidas antropométricas máximas para os percentis de interesse ...	26
Tabela 6 - Medidas antropométricas máximas para os percentis de interesse....	26
Tabela 7 – Comparativa ampliada das características da escada.....	37
Tabela 8: Coeficiente de solicitação	50
Tabela 9: Coeficiente de ponderação	50
Tabela 10 – Determinação da tensão admissível	55
Tabela 11 - Compatibilidade do metal base com metal da solda.....	57
Tabela 12 - Resistência ao escoamento do metal de solda.	57
Tabela 13 - Força resistente de cálculo de soldas	58
Tabela 14 - Tamanho mínimo de perna de solda de filete.	58
Tabela 15: Fator de segurança.....	70
Tabela16: Escolha da distância entre eixo e base da cremalheira	74
Tabela 17: Fator de forma Y	75

Tabela 18: Fator de sobrecarga ϕ	75
Tabela 19 – Placa com carregamento uniforme	78
Tabela 20 – Comparação das características das tintas	101
Tabela 21 - Análise de Equipamentos Existentes no Mercado Brasileiro.....	157
Tabela 22 - Pesquisas Anuais no Google por Palavra-Chave: “Elevadores residenciais”, no Brasil	161
Tabela 23 - Pesquisas Anuais no Google por Palavra-Chave: “Elevador para escada”, no Brasil.....	161
Tabela 24 - Pesquisas Anuais no Google por Palavra-Chave: “Cadeira elevatória para escada”, Brasil	161
Tabela 25 – Pesquisas Anuais no Google por Palavra-Chave: “Cadeira elevador preço”, Brasil.....	162
Tabela 26 - Pesquisas Anuais no Google por Palavra-Chave: “Cadeira elevatória para escada curva preço”, Brasil	162
Tabela 27 – Percentis de altura pesquisados para o sexo masculino.....	164
Tabela 28 – Média e desvio padrão da altura para o sexo masculino	164
Tabela 29 – Extrapolação estatística da altura para o sexo masculino.....	165
Tabela 30 - Percentis de altura pesquisados para o sexo feminino.....	166
Tabela 31 – Média e desvio padrão da altura para o sexo feminino.....	166
Tabela 32 - Extrapolação estatística da altura para o sexo feminino.....	167
Tabela 33 - Percentis de peso para o sexo masculino.....	168
Tabela 34 - Média e desvio padrão do peso para o sexo masculino.....	168
Tabela 35 - Extrapolação estatística do peso para o sexo masculino	169
Tabela 36 - Percentis de peso para o sexo feminino	170

Tabela 37 - Média e desvio padrão do peso para o sexo feminino	170
Tabela 38 - Extrapolação estatística do peso para o sexo feminino	171
Tabela 39 - Distribuição das medidas antropométricas para latino-americanos (não indígenas) do sexo masculino.....	172
Tabela 40 - Extrapolação estatística das medidas antropométricas para latino-americanos (não indígenas) do sexo masculino.....	173
Tabela 41 - Distribuição das medidas antropométricas para latino-americanos (não indígenas) do sexo feminino	174
Tabela 42 - Extrapolação estatística das medidas antropométricas para latino-americanos (não indígenas) do sexo feminino	175
Tabela 43 - Tabela de Pontuação Z	176
Tabela 44 - Deslocamento elástico de vigas - Parte 1.....	186
Tabela 45 - Deslocamento elástico de vigas - Parte 2.....	187
Tabela 46: Momento engastamento perfeito.	188

LISTA DE ABREVIATURAS

PCD Pessoa Com Deficiência

LISTA DE SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LISTA DE ACRÔNIMOS

CAD Computer-Aided Design

CAM Computer-Aided Manufacturing

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVAS.....	11
1.2 OBJETIVO DO TRABALHO	12
1.3 METODOLOGIA.....	13
2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO MERCADO E DEFINIÇÃO DO PÚBLICO-ALVO	15
2.1 ANÁLISE DE MERCADO E ESTUDOS DOS EQUIPAMENTOS EXISTENTES	15
2.2 ANÁLISE FINANCEIRA DA POPULAÇÃO BRASILEIRA	17
2.3 ESTIMATIVA DO PÚBLICO-ALVO	21
2.4 DEFINIÇÃO DO PÚBLICO-ALVO.....	22
3 ESTUDO ANTROPOMÉTRICO E PROJETO ERGONÔMICO DA CADEIRA ELEVATÓRIA.....	24
3.1 ANÁLISE DOS DADOS ANTROPOMÉTRICOS.....	24
3.2 PROJETO ERGONÔMICO DA CADEIRA ELEVATÓRIA	28
3.2.1 MEDIDAS IDEAIS DO BANCO	30
3.2.2 MEDIDAS IDEAIS DO ENCOSTO.....	30
3.2.3 MEDIDAS IDEAIS DO APOIO DE BRAÇO.....	30
3.2.4 MEDIDAS DO APOIO PARA OS PÉS.....	31
4 ESTUDO DE CASO	33
4.1 ESCADAS RETAS CONFORME NORMAS	35
5 PROJETO ELEVADOR DE PLANO INCLINADO.....	38

5.1	DEFININDO DIMENSÕES E VALORES DE TRABALHO DA PLATAFORMA	39
5.2	DIMENSIONAMENTO DA PLATAFORMA	41
5.2.1	DIMENSIONAMENTO DA BASE DA PLATAFORMA.....	42
5.2.2	DIMENSIONAMENTO DA BASE VERTICAL DA PLATAFORMA...	48
5.3	DIMENSIONAMENTO DA FIXAÇÃO	56
5.4	DIMENSIONAMENTO DA PLACA BASE E FIXAÇÃO	66
5.5	TRILHO DA CREMALHEIRA	69
5.5.1	DIMENSIONAMENTO DA CREMALHEIRA	70
5.6	DIMENSIONAMENTO DAS PLACAS DA PLATAFORMA	77
5.7	FIXAÇÃO DO MOTOR	80
5.8	MONTAGEM DA CADEIRA ELEVATÓRIA	81
6	ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA DA CADEIRA	87
6.1	SELEÇÃO DO MOTOR ELÉTRICO	87
6.2	BANCO DE BATERIAS	88
6.3	DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DOS BANCOS DE BATERIA	89
6.4	FUSÍVEL	91
6.5	COMUNICAÇÃO	92
6.5.1	ESPECIFICAÇÕES DOS COMPONENTES	93
6.6	ESQUEMÁTICO DO SISTEMA ELÉTRICO DA CADEIRA	95
7	PINTURA E REVESTIMENTO	98
7.1	TIPOS DE PINTURA E REVESTIMENTO	99
7.2	SELEÇÃO E APLICAÇÃO DE PINTURA E REVESTIMENTO.....	102

8	ESPECIFICAÇÕES DO ACOLCHOAMENTO DO BANCO, APOIO DE COSTAS E APOIO DE CABEÇA	105
9	SISTEMAS DE SEGURANÇA.....	107
9.1	DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA.....	107
9.2	PROCEDIMENTOS EM CASO DE FALTA DE ENERGIA	110
10	ORÇAMENTO DA CADEIRA ELEVATÓRIA.....	112
10.1	VALOR FINAL.....	115
11	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	116
	REFERÊNCIAS	118
	APÊNDICE A – ANÁLISE ESTÁTICA DA BASE DA PLATAFORMA	120
	ANEXO A – ANÁLISE DE EQUIPAMENTOS EXISTENTES NO MERCADO BRASILEIRO	156
	ANEXO B – PESQUISAS ANUAIS NO GOOGLE, NO BRASIL	160
	ANEXO C – DADOS ANTROPOMÉTRICOS.....	163
	ANEXO D – CATÁLOGOS.....	177
	ANEXO E – TABELAS DE CÁLCULO	185
	ANEXO F – DESENHOS TÉCNICOS	189

1 INTRODUÇÃO

A urbanização, caracterizada pela expansão das cidades sobre áreas rurais e o aumento da população, tem sido um fenômeno significativo no Brasil, especialmente nas grandes metrópoles, devido ao êxodo rural ocorrido na segunda metade do século XX. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a transição para uma maioria populacional urbana ocorreu na década de 1970, com cerca de 85% da população atual vivendo em áreas urbanas. No entanto, esse crescimento urbano desordenado, marcado pela falta de planejamento, resultou em infraestruturas inadequadas para atender às necessidades futuras da população, especialmente no que diz respeito à acessibilidade e mobilidade.

A construção de residências com dois ou mais andares é comum no Brasil, apesar dessa prática violar regulamentações em diversos municípios. Com elevadores verticais fora do alcance financeiro da maioria, as escadas tornam-se o principal meio de acesso entre os andares. No entanto, a falta de consideração pelas normas de construção e acessibilidade frequentemente resulta em escadas inadequadas para pessoas com mobilidade reduzida, sobrecarregando-as e aumentando os riscos de problemas de saúde, especialmente aqueles relacionados ao sistema musculoesquelético.

1.1 IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVAS

A discrepância entre as normas estabelecidas e a realidade das construções domiciliares é evidente, especialmente no que diz respeito à acessibilidade para pessoas com mobilidade reduzida. Escadas longas, degraus

irregulares e outros obstáculos tornam a locomoção difícil e podem prejudicar a saúde dos usuários, especialmente a população idosa, que enfrenta desafios adicionais devido ao envelhecimento e à perda de vigor e destreza.

Diante desse cenário, torna-se cada vez mais crucial buscar soluções que facilitem o deslocamento vertical em residências com múltiplos andares, especialmente para indivíduos com limitações de mobilidade. O aumento na adoção de hábitos sedentários, exacerbado pela pandemia de COVID-19, tem contribuído para o surgimento de problemas de saúde que afetam a mobilidade, aumentando a demanda por soluções acessíveis e seguras.

1.2 OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma solução para o desafio de pessoas com mobilidade reduzida em residências de múltiplos andares. A solução será direcionada para pessoas que enfrentam dificuldades ou necessitam de assistência ao subir e descer escadas.

Com essa finalidade, propõe-se o desenvolvimento de uma cadeira elevatória específica para escadas retas, utilizando a estrutura já existente da escada. Essa solução visa proporcionar maior independência e qualidade de vida aos usuários, oferecendo uma alternativa financeiramente acessível e segura para o deslocamento vertical em residências com múltiplos andares. Além disso, o projeto tem um forte enfoque econômico, buscando maximizar o uso de peças manufaturadas. Um exemplo disso é o objetivo de criar uma plataforma capaz de acomodar uma cadeira de escritório já existente, o que não só reduz os custos associados ao desenvolvimento de uma cadeira personalizada, como também permite aproveitar a regulação natural dos pistões presentes nesta cadeira.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste produto compreenderá uma abordagem sistemática, englobando pesquisa bibliográfica, consultas a especialistas da área e análise de dados. Essas etapas têm por objetivo delinear o escopo do produto, avaliar o público-alvo e sua abrangência, estimar custos, considerar aspectos ergonômicos e avaliar a viabilidade econômica.

Com as informações coletadas, o próximo passo consistirá no dimensionamento da plataforma, bem como de todos os dispositivos e estruturas necessárias para seu correto funcionamento.

Nesse sentido, serão conduzidos cálculos meticolosos e análises detalhadas, abrangendo o dimensionamento do motor, da cremalheira e de todos os componentes da plataforma, desde as barras da base até a placa responsável pela distribuição da carga. Aspectos como as rodas, a estrutura de suporte para o banco do passageiro e outros elementos serão projetados seguindo rigorosamente normas e referências de resistência de materiais, garantindo o dimensionamento preciso e a funcionalidade otimizada do produto.

O projeto está estruturado para abordar a série de etapas no desenvolvimento do produto. No segundo capítulo, realiza-se uma análise de mercado e dos equipamentos existentes, seguida de um estudo financeiro da população brasileira, a fim de estimar e definir o público-alvo. O terceiro capítulo é dedicado à análise dos dados antropométricos e ao desenvolvimento do projeto ergonômico da cadeira elevatória, especificando-se as medidas ideais para o seu design.

No quarto capítulo, aborda-se o estudo de caso, definindo-se o projeto específico da cadeira elevatória para atender às particularidades da situação em questão. O quinto capítulo detalha a definição das dimensões e valores de

trabalho da plataforma, incluindo o dimensionamento da base, fixação, placa base e trilho da cremalheira. No sexto capítulo, explica-se o funcionamento da alimentação elétrica da cadeira, seguido, nos capítulos subsequentes, pela discussão sobre o revestimento e o acolchoamento. O penúltimo capítulo aborda o orçamento final da cadeira proposta, e o trabalho se encerra com as considerações finais sobre o projeto.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO MERCADO E DEFINIÇÃO DO PÚBLICO-ALVO

Neste capítulo, será abordada a análise do mercado, os equipamentos existentes no mercado para a solução de cadeiras elevatórias, assim como a segmentação e estimativa do público-alvo. Nesse sentido, foram analisados dados pertinentes para compreender o mercado de interesse, identificar as necessidades dos consumidores e avaliar o poder de compra do público-alvo.

2.1 ANÁLISE DE MERCADO E ESTUDOS DOS EQUIPAMENTOS EXISTENTES

É essencial adaptar residências com escadas para garantir a acessibilidade e segurança de pessoas com mobilidade reduzida em seus deslocamentos. No mercado, existem algumas soluções personalizadas para atender a essa necessidade, sendo as principais as cadeiras elevatórias e as plataformas elevatórias para elevadores sob escadas. No anexo A é apresentada uma tabela comparativa entre alguns modelos disponíveis no mercado brasileiro. As Figuras 1 e 2 ilustram dois exemplos de modelos existentes no mercado, servindo como exemplificação.



Figura 1- Cadeira elevatória, modelo SIENA - Fabricante Stannah Stairlift
Fonte: Stannah Stairlift (2023)



Figura 2- Plataforma elevatória para escadas, modelo DELTA - Fabricante Elleva
Acessibilidade
Fonte: Elleva Acessibilidade (2023)

A média do custo das cadeiras elevatórias é de R\$40.000,00 e das plataformas elevatórias é de R\$ 90.000,00. É importante observar que algumas dessas cadeiras não são fabricadas no Brasil, o que pode indicar uma falta de valorização do mercado brasileiro. Além disso, incluem apenas três manutenções

programadas ou, em média, 2 anos de garantia no pacote de compra, o que pode não ser suficiente para garantir a durabilidade e o funcionamento adequado do produto a longo prazo.

2.2 ANÁLISE FINANCEIRA DA POPULAÇÃO BRASILEIRA

A análise dos dados econômicos da população brasileira, como renda média, distribuição de renda e acesso a crédito, é essencial para compreender o poder de compra e a capacidade de investimento do público-alvo.

Ao analisar a Tabela 1, que expõe a avaliação do grau de dificuldade das famílias para equilibrar o orçamento mensal, é perceptível que uma parte substancial da população enfrenta desafios financeiros. Por exemplo, aproximadamente 34,50% das famílias com renda de até R\$ 830 declaram ter muita dificuldade em arcar com as despesas ao final do mês. Embora essa proporção diminua conforme a renda aumenta, ainda existe uma fatia considerável da população enfrentando dificuldades financeiras, mesmo em faixas de renda mais elevadas.

Tabela 1 - Avaliação do grau de dificuldade para chegar ao fim do mês com rendimento monetário familiar

Classes de rendimento total e variação patrimonial mensal familiar	Avaliação do grau de dificuldade para chegar ao fim do mês com rendimento monetário familiar	Distribuição das famílias
Até 830 Reais	Dificuldade e Muita dificuldade	63.10%
	Sem grandes dificuldades	36.90%
Mais de 830 a 1.245 Reais	Dificuldade e Muita dificuldade	48.70%
	Sem grandes dificuldades	51.30%
Mais de 1.245 a 2.490 Reais	Dificuldade e Muita dificuldade	37.10%
	Sem grandes dificuldades	62.90%
Mais de 2.490 a 4.150 Reais	Dificuldade e Muita dificuldade	25.20%
	Sem grandes dificuldades	74.80%
Mais de 4.150 a 6.225 Reais	Dificuldade e Muita dificuldade	18.30%
	Sem grandes dificuldades	81.70%
Mais de 6.225 a 10.375 Reais	Dificuldade e Muita dificuldade	12.10%
	Sem grandes dificuldades	87.90%
Mais de 10.375 Reais	Dificuldade e Muita dificuldade	8.50%
	Sem grandes dificuldades	91.50%
Total	Dificuldade e Muita dificuldade	39.30%
	Sem grandes dificuldades	60.70%

Fonte: IBGE - Pesquisa de Orçamentos Familiares 2018

Por sua vez, a Tabela 2 ilustra a distribuição dos domicílios conforme as classes de rendimento total mensal familiar. Evidencia-se que a maior parte dos domicílios está agrupada em faixas de renda mais baixas, com cerca de 24,25% dos domicílios possuindo uma renda de até 1.908 Reais. Conforme a renda aumenta, a quantidade de domicílios diminui, refletindo uma distribuição de renda desigual.

Tabela 2 - Classes de rendimento familiar, quantidade e fração do total de domicílios

Classes de rendimento total e variação patrimonial mensal familiar	Qtd. de domicílios	Fração do total de domicílios
Até 1.908 Reais	1.637.438	24.25%
Mais de 1.908 a 2.862 Reais	13.079.821	18.95%
Mais de 2.862 a 5.724 Reais	21.099.497	30.57%
Mais de 5.724 a 9.540 Reais	9.509.008	13.78%
Mais de 9.540 a 14.310 Reais	4.256.727	6.17%
Mais de 14.310 a 23.850 Reais	2.629.450	3.81%
Mais de 23.850 Reais	1.705.764	2.47%

Fonte: IBGE - Pesquisa de Orçamentos Familiares 2018

Tabela 3 - Distribuição de pessoas com 2 anos ou mais de idade com deficiência, por renda domiciliar per capita e tipo de dificuldade funcional (dificuldade para andar ou subir degraus), no Brasil, em 2022**(contínua)**

Rendimento mensal domiciliar per capita	Variável	Valor
Sem rendimento até 1/4 do salário-mínimo	Pessoas de 2 anos ou mais de idade com deficiência	561 mil pessoas
	Percentual de pessoas de 2 anos ou mais de idade com deficiência	2.60%
Mais de 1/4 a 1/2 do salário-mínimo	Pessoas de 2 anos ou mais de idade com deficiência	1.083 mil pessoas
	Percentual de pessoas de 2 anos ou mais de idade com deficiência	2.90%
Mais de 1/2 a 1 salário-mínimo	Pessoas de 2 anos ou mais de idade com deficiência	2.645 mil pessoas
	Percentual de pessoas de 2 anos ou mais de idade com deficiência	4.30%
Mais de 1 a 2 salários-mínimos	Pessoas de 2 anos ou mais de idade com deficiência	1.924 mil pessoas
	Percentual de pessoas de 2 anos ou mais de idade com deficiência	3.70%

Tabela 3 - Distribuição de pessoas com 2 anos ou mais de idade com deficiência, por renda domiciliar per capita e tipo de dificuldade funcional (dificuldade para andar ou subir degraus), no Brasil, em 2022

(conclusão)		
Mais de 2 a 3 salários mínimos	Pessoas de 2 anos ou mais de idade com deficiência	443 mil pessoas
	Percentual de pessoas de 2 anos ou mais de idade com deficiência	2.70%
Mais de 3 a 5 salários mínimos	Pessoas de 2 anos ou mais de idade com deficiência	255 mil pessoas
	Percentual de pessoas de 2 anos ou mais de idade com deficiência	2.30%
Mais de 5 salários mínimos	Pessoas de 2 anos ou mais de idade com deficiência	156 mil pessoas
	Percentual de pessoas de 2 anos ou mais de idade com deficiência	2.00%
Total	Pessoas de 2 anos ou mais de idade com deficiência	7.066 mil pessoas
	Percentual de pessoas de 2 anos ou mais de idade com deficiência	3.40%

Fonte: IBGE na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNADC) 2022

A Tabela 3 apresenta a distribuição das pessoas com deficiência com base na renda domiciliar per capita e no tipo de dificuldade funcional de subir ou descer degraus no Brasil em 2022. Nota-se que a maioria dessas pessoas está inserida nas faixas de renda mais reduzidas. Tal constatação sugere que essa parcela populacional possa ter seu poder de compra limitado. Tais condições podem influenciar as escolhas de consumo e investimento desse grupo, afetando, por conseguinte, as estratégias de mercado das empresas voltadas a esse segmento.

Esses dados evidenciam que uma parte significativa da população brasileira enfrenta desafios financeiros, o que pode repercutir diretamente sobre o poder de compra e a capacidade de investimento do público-alvo. Portanto, ao

desenvolver produtos ou serviços, é crucial considerar tais informações para assegurar a viabilidade econômica e a pertinência às demandas do mercado.

2.3 ESTIMATIVA DO PÚBLICO-ALVO

Este subcapítulo tem como objetivo estimar a parte da população brasileira com interesse e capacidade financeira para adquirir as soluções propostas, considerando dados demográficos, indicadores econômicos e demanda de mercado.

Inicialmente, considerou-se toda a população de pessoas com deficiência física como potencial público-alvo, excluindo aquelas que enfrentam desafios financeiros significativos. De acordo com os dados da Tabela 3, aproximadamente 3,4% da população brasileira possui deficiências que impactam a locomoção, totalizando mais de 7 milhões de indivíduos. Após a exclusão da fração dessas pessoas que enfrentam dificuldades financeiras, estima-se que cerca de 4,3 milhões de brasileiros com deficiências possuem capacidade financeira para adquirir as soluções propostas, conforme indicado na Tabela 4.

Tabela 4 - Total de pessoas com dificuldade na mobilidade com poder de compra

Total	Pessoas com dificuldade para andar ou subir degraus	7.066 mil pessoas
	Fração de pessoas com poder de compra	60.70%
	Pessoas com dificuldade para andar ou subir degraus com poder de compra	4.289 mil pessoas

Fonte: De elaboração própria

Além da análise demográfica, foi adotado um método de amostragem de buscas online para avaliar o potencial público-alvo. Utilizando ferramentas como o Google Trends, identificaram-se tendências de mercado e obteve-se uma

estimativa preliminar do interesse do público. É importante ressaltar que essa estimativa não reflete precisamente o número de compradores, já que um único usuário pode realizar várias pesquisas antes de efetuar a compra do produto. Além disso, conforme dados do Google/Ipsos, apenas 51% dos consumidores realizam pesquisas no Google antes de efetivar a compra.

Considerando as médias anuais de pesquisas sobre elevadores residenciais, elevadores para escada e cadeiras elevatórias para escada, conforme apresentado no Anexo B, estima-se um potencial de 2.849 consumidores por ano, movimentando aproximadamente 71 milhões de reais no mercado brasileiro. Essa estimativa considera o comportamento de busca online dos consumidores e o preço médio dos produtos.

2.4 DEFINIÇÃO DO PÚBLICO-ALVO

O objetivo deste projeto é direcionado ao público-alvo que enfrenta dificuldades em subir ou descer escadas, independente da necessidade de auxílio. Esse grupo específico é avaliado pela Escala de Mobilidade Funcional de Tinetti, uma ferramenta amplamente reconhecida na medicina para medir equilíbrio e marcha. A escala, composta por testes que abordam diferentes aspectos da mobilidade, fornece uma pontuação indicativa do risco de quedas e ajuda a planejar intervenções para melhorar a mobilidade.

A pontuação na Escala de Tinetti é determinada por profissionais de saúde treinados, considerando diversos fatores, incluindo a dificuldade em subir e descer escadas. A dificuldade nessa tarefa pode afetar a pontuação nos itens relacionados à marcha e equilíbrio, evidenciando um comprometimento na

mobilidade. Os aspectos avaliados incluem equilíbrio, como levantar-se de uma cadeira, e marcha, como a iniciação do movimento e o comprimento do passo.

Embora as cadeiras elevatórias possam ser utilizadas por cadeirantes, esse processo não é simples de ser realizado de forma autônoma. A transferência de uma cadeira de rodas para a cadeira elevatória, e vice-versa, exige força física, equilíbrio e coordenação, fatores que podem dificultar o uso independente do equipamento por cadeirantes. Mesmo que alguns indivíduos com boa mobilidade dos membros superiores consigam fazer essa transferência sem assistência, o procedimento tende a ser complexo, o que pode comprometer tanto a segurança quanto a praticidade. Dessa forma, para este público, o uso de plataformas elevatórias é preferível ao invés de cadeiras elevatórias.

Dessa forma, o público-alvo prioritário para as cadeiras elevatórias são pessoas com mobilidade reduzida, seja essa limitação permanente ou temporária. Esse grupo inclui indivíduos que, apesar de enfrentarem dificuldades para subir ou descer escadas, ainda possuem algum grau de locomoção e conseguem realizar a transição para a cadeira elevatória sem grandes obstáculos.

A definição desse público-alvo é fundamentada na análise da funcionalidade e da segurança do equipamento, visando garantir que ele proporcione autonomia e acessibilidade a usuários que, mesmo com limitações, possam utilizar a cadeira elevatória de forma eficiente e segura.

3 ESTUDO ANTROPOMÉTRICO E PROJETO ERGONÔMICO DA CADEIRA ELEVATÓRIA

Neste capítulo, será explorada a relevância dos dados antropométricos no desenvolvimento de cadeiras elevatórias ergonômicas. A análise desses dados proporciona valiosas percepções para o design de cadeiras que ofereçam conforto e suporte adequados, adaptados às necessidades individuais dos usuários. Além disso esses dados influenciam as decisões de design e contribuem para a criação de uma solução que promova a saúde e o bem-estar dos usuários.

3.1 ANÁLISE DOS DADOS ANTROPOMÉTRICOS

A seguir, será apresentado o estudo antropométrico que orientou o design inicial do produto, com o objetivo de assegurar sua ergonomia e conforto para um amplo público. Essa etapa é de extrema importância para definir quantitativamente a parcela da população brasileira que será atendida pelo produto.

A antropometria é um campo de estudo que se concentra nas dimensões e medidas do corpo humano. No contexto deste projeto, o uso de tabelas antropométricas é essencial para analisar a distribuição estatística de diferentes medidas corporais, como o peso corporal. Essas informações são fundamentais para determinar a capacidade máxima que o motor do produto deve suportar, garantindo que ele possa transportar a maioria das pessoas, inclusive aquelas com sobrepeso.

Além disso, as tabelas antropométricas também desempenham um papel crucial na definição da altura mínima e máxima do banco da cadeira elevatória e

do encosto de cabeça. Essa análise permite que sejam estabelecidos os parâmetros adequados, a fim de evitar que usuários com pernas mais curtas fiquem com as pernas sem tocar na plataforma inferior, assim como evitar que usuários com pernas mais longas tenham que esticar a perna para fora da cadeira, proporcionando assim conforto e segurança para os diferentes tipos de usuários.

Existem diversas pesquisas antropométricas disponíveis para diferentes populações. Um exemplo são as pesquisas "Size", que são conhecidas por sua abrangência, utilizando scanners 3D para obter medidas precisas do corpo dos voluntários. Algumas dessas pesquisas incluem a SizeBR, SizeUS, SizeUK e CAESAR.

Consta ainda as pesquisas com maior amostragem populacional, porém com menos informações consultadas, como a Pesquisa Nacional de Saúde realizada pelo IBGE em 2019. Essa pesquisa coletou medidas de peso e altura da população brasileira, fornecendo dados relevantes para a análise antropométrica.

Outra organização importante nesse campo é a DINED, responsável pela gestão de bancos de dados de estudos antropométricos ao redor do mundo. Eles trabalham na geração de dados antropométricos de populações não pesquisadas diretamente, extrapolando estatisticamente informações de estudos existentes.

Essas fontes de pesquisa e organizações desempenham um papel crucial na disponibilização de dados antropométricos confiáveis, que são essenciais para embasar o design e desenvolvimento de produtos ergonomicamente adequados e adaptados às necessidades da população em questão.

Com base nos dados antropométricos fornecidos pelo IBGE, a pesquisa SizeBR e o banco de dados DINED, foi realizada uma análise detalhada para identificar a faixa da população brasileira que será beneficiada pelo produto. Essa análise considerou fatores como altura, peso e dimensões gerais do corpo,

segmentando os dados por sexo e idade. Essa abordagem permite uma compreensão abrangente das características físicas da população-alvo, garantindo que o produto seja projetado para atender às necessidades de diferentes grupos demográficos.

Baseado nos dados fornecidos pelo IBGE e DINED, presentes no Anexo C, foram elaboradas as Tabelas 5 e 6, com os extremos das medidas antropométricas que serão utilizados como referência no projeto.

Tabela 5 - Medidas antropométricas máximas para os percentis de interesse

Altura para percentil 0,1 (mulheres de 60 anos ou mais)	130,6 cm
Altura para percentil 99,9 (Homens de 40 a 59 anos)	195,4 cm
Peso para percentil 99,9 (Homens de 40 a 59 anos)	137 kg

Fonte: De elaboração própria

Tabela 6 - Medidas antropométricas máximas para os percentis de interesse

Medida Antropométrica	Variável	Valor
Largura do quadril, sentado	Percentil 0.1 (Mulheres)	263,02 mm
	Percentil 99.9 (Homens)	421,08 mm
Altura poplíteia, sentado	Percentil 0.1 (Mulheres)	287,29 mm
	Percentil 99.9 (Homens)	516,08 mm
Altura sentado	Percentil 0.1 (Mulheres)	758,02 mm
	Percentil 99.9 (Homens)	1041,25 mm
Comprimento do aperto do cotovelo	Percentil 0.1 (Mulheres)	260,11 mm
	Percentil 99.9 (Homens)	414,89 mm
Comprimento do pé	Percentil 0.1 (Mulheres)	193,65 mm
	Percentil 99.9 (Homens)	303,26 mm
Largura da mão sem o polegar	Percentil 0.1 (Mulheres)	54,55 mm
	Percentil 99.9 (Homens)	94,27 mm
Largura da mão	Percentil 0.1 (Mulheres)	146,46 mm
	Percentil 99.9 (Homens)	204,72 mm

Fonte: De elaboração própria

Com base nos dados fornecidos pelo IBGE e DINED, observam-se os extremos das medidas antropométricas para diferentes variáveis. Por exemplo,

para a altura, o percentil 0,1 para mulheres com 60 anos ou mais é de 130,6 cm, enquanto o percentil 99,9 para homens de 40 a 59 anos é de 195,4 cm. Além disso, ao analisar outras medidas antropométricas como a largura do quadril sentado, a altura poplítea sentada, a altura sentada, o comprimento do braço e a largura da mão sem o polegar, observam-se diferenças significativas entre os percentis extremos para homens e mulheres. Essa diferença de medidas entre os percentis extremos é observada em todas as variáveis antropométricas analisadas.

Os percentis são uma medida estatística que divide uma amostra em 100 partes iguais, representando assim a posição relativa de um valor em relação aos demais valores da amostra. No caso dos dados fornecidos, os percentis de 0,1 e 99,9 representam os extremos da distribuição de altura, peso e outras medidas antropométricas para homens e mulheres em diferentes faixas etárias. O percentil 0,1 indica que apenas 0,1% da população feminina tem valores iguais ou inferiores àquele específico, ou seja, é um valor muito baixo na distribuição e representa um extremo inferior. Por outro lado, o percentil 99,9 indica que apenas 0,1% da população masculina tem valores iguais ou superiores àquele específico, ou seja, é um valor muito alto na distribuição e representa um extremo superior. Essa escolha de percentis extremos permite destacar os valores mínimos e máximos da distribuição de dados antropométricos para homens e mulheres, fornecendo informações úteis para o design ergonômico de produtos destinados a diferentes segmentos da população.

Esses dados são fundamentais para o design e desenvolvimento de produtos ergonômicos, como cadeiras, garantindo que atendam às necessidades e dimensões do público-alvo de forma adequada e confortável.

3.2 PROJETO ERGONÔMICO DA CADEIRA ELEVATÓRIA

A partir das Figuras 3, 4 e 5, que representam um ser humano sentado, uma mão e um pé, respectivamente, e com as informações das Tabelas 5 e 6, foram adotadas medidas de design com base nos extremos das medidas antropométricas mencionadas anteriormente.

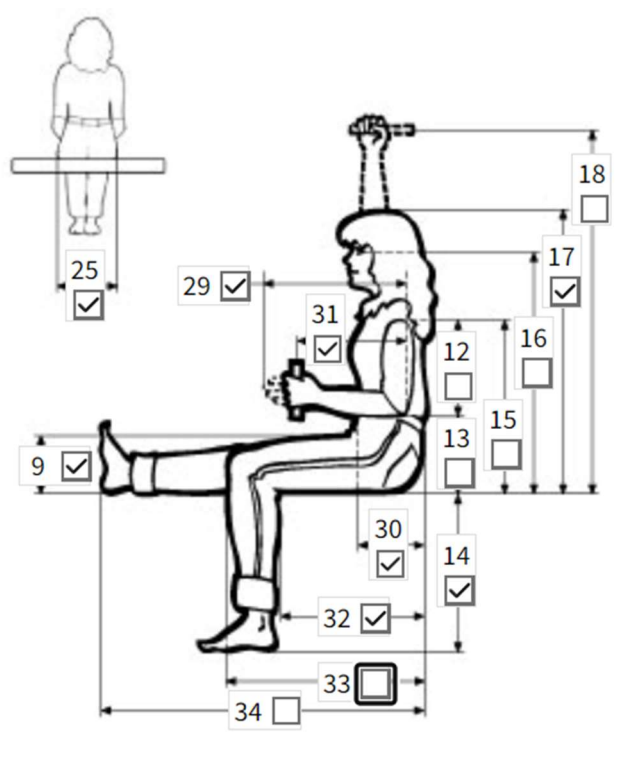


Figura 3 - Visão lateral de um humano sentado, com identificação das medidas antropométricas através de cotas
Fonte - DINED Anthropometric Database

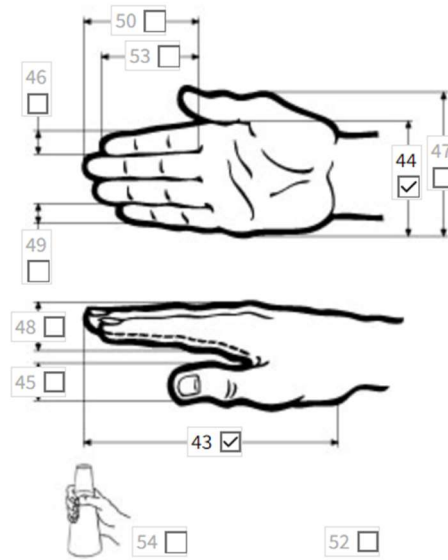


Figura 4 - Vistas da mão com identificação das medidas antropométricas através de cotas
Fonte: DINED Anthropometric Database

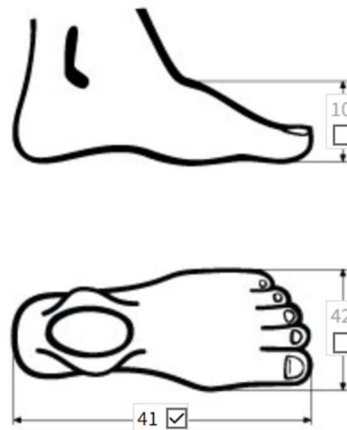


Figura 5 - Vistas do pé com identificação das medidas antropométricas através de cotas
Fonte: DINED Anthropometric Database

Para determinar o melhor valor para cada medida antropométrica, considerando o conforto e a adequação para a maioria dos usuários, podemos optar pelos valores médios entre os percentis 0,1 e 99,9, pois eles representam extremos opostos da distribuição. A seguir estão os valores selecionados para cada medida

3.2.1 Medidas Ideais do Banco

Largura do quadril, sentado (*Hip Breadth, sitting*), identificação 25 da Figura 3: A largura dos glúteos serve como referência para determinar a largura do banco. A média é de 342 mm.

Altura poplíteia, sentado (*Popliteal Height, sitting*) identificação 14 da Figura 3: A altura da dobra do joelho até a ponta do calcanhar é considerada para estabelecer a altura do banco. A média é de 401,6 mm.

Profundidade das nádegas até o joelho (*Buttock-Popliteal Depth*), identificação 32 da Figura 3: Essa medida refere-se à distância entre as costas e o vinco interno do joelho, influenciando no comprimento do banco para garantir conforto. Não havendo dados específicos para a população latino-americana, será utilizado os dados da população neerlandesa, com uma média de 502,5 mm para todos os sexos e idades.

3.2.2 Medidas Ideais do Encosto

Altura sentada (*Sitting Height*), identificação 17 da Figura 3: Esta medida representa a altura entre a extensão dos glúteos até o topo da cabeça, determinando o intervalo de regulagem do encosto de cabeça. A média é de 899,6 mm.

3.2.3 Medidas Ideais do Apoio de Braço

Comprimento do aperto de cotovelo (*Elbow-grip Length*), identificação 31 da Figura 3: Este é o comprimento horizontal do braço, com o cotovelo flexionado em 90 graus e os punhos fechados, utilizado para determinar o comprimento e

posicionamento dos apoios de braços e a colocação do controle da cadeira elevatória. A média é de 337,5 mm.

Largura da mão (*Hand Length*), identificação 43 da Figura 4: Esta medida é utilizada para determinar o tamanho máximo do controle, visando garantir conforto para pessoas com mãos menores. A média é de 175,6 mm.

Largura da mão sem o polegar (*Hand Width without Thumb*), identificação 44 da Figura 4: A largura da mão, excluindo o polegar, é usada como referência para definir a largura ideal dos apoios de braços.

Altura do cotovelo, sentado (*Elbow Height, sitting*), identificação 13 da Figura 3: Esta medida refere-se à altura entre a parte inferior da coxa e o cotovelo, influenciando na altura do encosto de braço. Não foram encontrados dados específicos para a população latino-americana, por isso, foram utilizados dados da população neerlandesa. A média para todos os sexos e todas as idades é de 252 mm.

3.2.4 Medidas do Apoio Para os Pés

O tamanho dos pés e do banco será utilizado para determinar o tamanho mínimo da plataforma de apoio para os pés. Além disso, será acrescentado um comprimento extra para proporcionar conforto aos usuários. A medida média é de 248,5 mm.

A largura do banco será utilizada como referência, acrescida do comprimento correspondente ao percentil 99,9 do tamanho do pé da população brasileira. Isso garantirá espaço adequado para acomodar os pés dos usuários de maneira confortável.

O projeto também poderá ser adaptado para acomodar cadeiras de rodas em estudos futuros, seguindo as medidas estabelecidas para plataformas

elevatórias conforme especificados na norma NBR 9050, que define requisitos de acessibilidade. Isso permitirá que a cadeira elevatória funcione como uma plataforma elevatória para facilitar o transporte de cadeiras de rodas.

Esses parâmetros antropométricos serão essenciais para orientar o design da cadeira elevatória, visando atender às necessidades de conforto e ergonomia de uma ampla gama de usuários.

4 ESTUDO DE CASO

No estudo de caso, identificou-se uma necessidade significativa em uma residência que, originalmente, era habitada por uma pessoa, mas agora abriga duas pessoas com dificuldades para subir e descer escadas. Os moradores expressaram a necessidade de uma solução que facilite o acesso ao andar superior, permitindo-lhes maior mobilidade e autonomia no dia a dia. A escada da residência foi identificada como tendo uma inclinação superior aos limites estabelecidos pelas normas, o que representa um desafio adicional. Essa constatação, juntamente com as necessidades dos residentes, serviu como um forte motivador para o estudo realizado. Em resposta a essas necessidades, decidiu-se implantar um protótipo inicial de cadeira elevatória na residência.

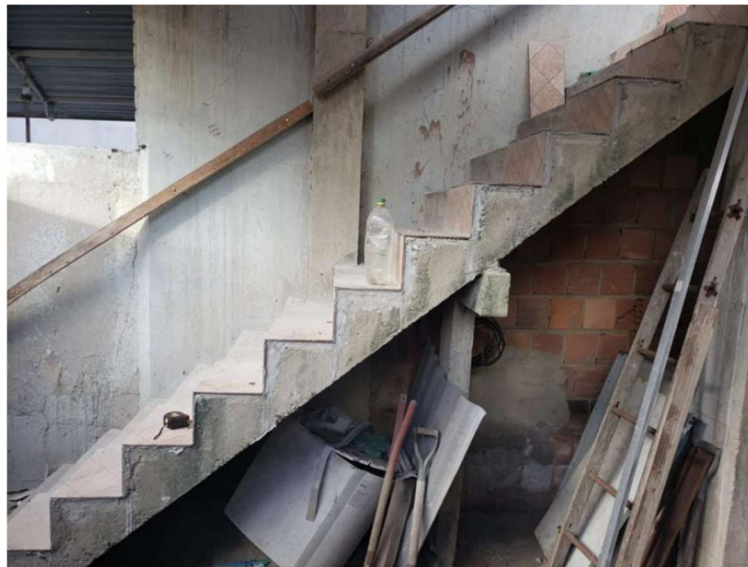


Figura 6: Vista lateral da escada do Estudo de Caso
Fonte: De autoria própria



Figura 7: Vista frontal da escada do Estudo de Caso
Fonte: De autoria própria

As Figuras 6 e 7 retratam a escada do estudo de caso. As especificações detalhadas da escada são as seguintes:

- Escada reta;
- 18 degraus;
- Largura do degrau de 1.000 mm (1 m);
- Espelho de 200 mm;
- Piso: 250 mm;
- Altura total da escada: 3.600 mm (3,6 m);
- Inclinação: 38,66°.

É importante ressaltar que as especificações de construção da escada não estão em conformidade com a norma ABNT NBR 9050. Este estudo de caso é relevante devido à escassez de pesquisas focadas em adaptações domiciliares em

regiões específicas ou para grupos populacionais com necessidades semelhantes. A análise e adaptação da escada são cruciais para garantir que a residência ofereça um ambiente acessível e seguro para seus moradores.

Outro fator a ser considerado, conforme ilustrado nas Figuras 6 e 7, é a presença de uma coluna que ocupa parte da parede ao longo da escada, além do muro compartilhado com o vizinho. Essas condições impõem desafios técnicos, uma vez que o vizinho pode não autorizar a instalação de componentes no muro, caso fosse necessário. Adicionalmente, deve-se respeitar um afastamento mínimo entre o trilho e a parede, para evitar interferências físicas entre a cadeira e a coluna durante o percurso. No entanto, a análise indica que a coluna existente na parede não comprometerá o funcionamento do sistema, pois foi projetado um recuo de 80 mm entre as colunas verticais de sustentação do trilho e a parede, o que assegura o trajeto livre da cadeira sem risco de colisão.

4.1 ESCADAS RETAS CONFORME NORMAS

As normas ABNT NBR 9050 e ABNT NBR 9077 estabelecem diretrizes para o projeto de escadas retas. Uma escada é definida como uma sequência de três degraus ou mais. Para estar em conformidade com essas normas, as dimensões devem ser uniformes em toda a extensão da escada. A Figura 8 apresenta uma ilustração que exemplifica as dimensões de altura e largura do degrau, o espelho e o piso, e o dimensionamento deve obedecer as seguintes condições:

- Comprimento do Piso (p): $280 \text{ mm} \leq p \leq 320 \text{ mm}$.
- Altura do Espelho (e): $160 \text{ mm} \leq e \leq 180 \text{ mm}$.
- $630 \text{ mm} \leq p + 2e \leq 650 \text{ mm}$ (Fórmula de Blondel).
- 15 mm de bocel (nariz) ou quina avançada em 15 mm.

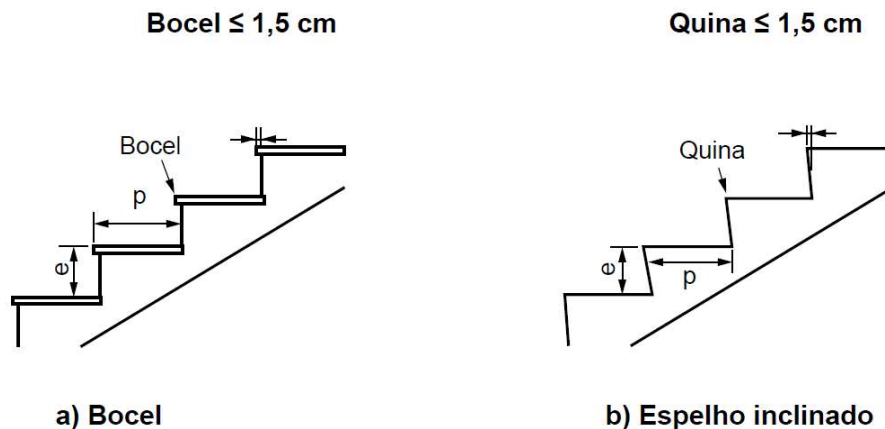


Figura 8 - Altura e largura do degrau com e sem bocel

Fonte: ABNT NBR 9050

- A largura mínima para escadas em rotas acessíveis é de 1200 mm (1,20 m). Porém pode ser maior dependendo do fluxo de pessoas, conforme a ABNT NBR 9077.
- As escadas devem ter, no mínimo, um patamar a cada 3,20 m de desnível e sempre que houver mudança de direção.
- Em construções novas, é requisito que o primeiro e o último degraus de um lance de escada estejam posicionados a uma distância mínima de 0,30 m da área de circulação adjacente.

Devido às condições impostas, utilizando o estudo da geometria e obedecendo à fórmula de Blondel, é possível concluir que as inclinações máximas de uma escada, segundo a norma, são:

- Inclinação mínima: $\arctg(\text{Espelho mínimo}/\text{Piso Máximo}) = \text{Arctg}(160/320) = 26,56^\circ$
- Inclinação máxima: $\arctg(\text{Espelho máximo}/\text{Piso mínimo}) = \text{Arctg}(180/280) = 32,74^\circ$

A Tabela 7 apresenta uma análise comparativa detalhada das características da escada do estudo de caso, em relação aos requisitos estabelecidos pela norma ABNT NBR 9050. Esta tabela destaca as discrepâncias entre as especificações atuais da escada da estudo e os padrões normativos, bem como o impacto dessas diferenças sobre a acessibilidade e a segurança dos usuários.

Tabela 7 - Comparativa ampliada das características da escada

Característica	Valor medido	Norma ABNT NBR 9050	Conformidade	Impacto para o usuário
Largura do degrau	1.000 mm	≥ 1200 mm	Não conforme	Dificuldade de passar com cadeira de rodas ou andador
altura do espelho	200 mm	$160 \text{ mm} \leq e \leq 180 \text{ mm}$	Não conforme	Risco de tropeços e quedas
Presença de corrimão	Não	Obrigatório em escadas com mais de 3 degraus	Não conforme	Dificuldade de se apoiar ao subir e descer
Inclinação da escada	$38,66^\circ$	$26,56^\circ \leq \theta \leq 32,74^\circ$	Não conforme	Inclinação excessiva pode dificultar o uso e aumentar o risco de acidentes

Fonte: De autoria própria

5 PROJETO ELEVADOR DE PLANO INCLINADO

Neste capítulo, procederá com a determinação das dimensões do dispositivo de elevação e dos componentes essenciais para assegurar seu desempenho adequado, em conformidade com as normativas pertinentes. Além da estrita aderência às normas, os cálculos são fundamentados na experiência técnica de empresas especializadas e na literatura técnica consagrada da engenharia.

As Figuras 9 e 10 apresentam o design proposto para a cadeira elevatória, que visa atender às necessidades identificadas no estudo de caso, e o dimensionamento de sua estrutura será detalhado ao longo deste capítulo.

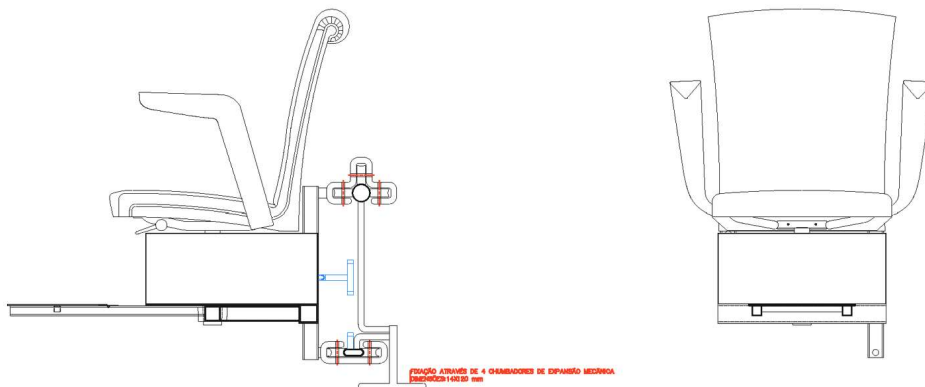


Figura 9 - Design proposto da cadeira elevatória
Fonte: De elaboração própria

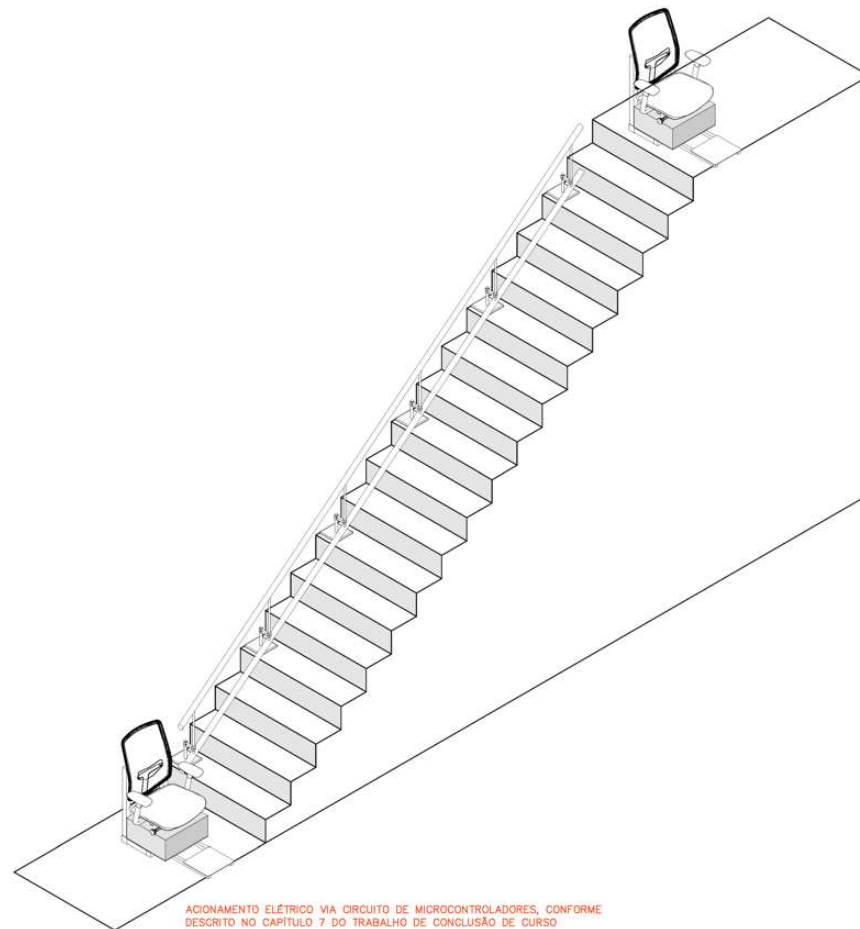


Figura 10 - Cadeira elevatória posicionada em relação à escada
Fonte: De elaboração própria

5.1 DEFININDO DIMENSÕES E VALORES DE TRABALHO DA PLATAFORMA

Carga nominal:

A norma ABNT NBR ISO 9386-1¹ estabelece que a carga nominal mínima para plataformas de elevação deve ser de 150 kg.

¹ ABNT NBR ISO 9386-1:2013. Plataformas de elevação motorizadas para pessoas com mobilidade reduzida – Requisitos para segurança, dimensões e operação funcional. Parte 1: Plataformas de elevação vertical.

Velocidade nominal:

A norma NBR 15655² estabelece que a velocidade máxima de operação recomendada para plataformas destinadas a usuários de mobilidade reduzida é de 0,15 m/s.

Vida útil:

Estima-se que a plataforma seja utilizada em 2 ciclos diários ao longo de 10 anos. Com base nessa estimativa, o número total de ciclos de operação é calculado da seguinte forma:

$$N^{\circ} \text{ de ciclos previstos} = 2 (\text{ciclos diários}) \times 365 (\text{dias}) \times 10 (\text{anos}) = 7300 \text{ ciclos}$$

De acordo com a norma NBR 8400³, ao considerar um número total de 7.300 ciclos ao longo de 10 anos, a plataforma em questão pode ser classificada como Classe de Utilização A.

Estado de tensão:

A norma NBR 8400⁴ descreve 4 principais tipos de estado de carga, sendo que o valor adotado neste caso será o estado de carga 1, que corresponde a uma carga leve e trabalha normalmente com 1/3 da carga nominal.

Com base nos valores definidos para o estado de carga e a vida útil da plataforma, o coeficiente de majoração (Mx) é determinado. Considerando que a

² NBR 15655-1:2009. Plataformas de elevação motorizadas para pessoas com mobilidade reduzida – Requisitos para segurança, dimensões e operação funcional. Parte 1: Plataformas de elevação vertical.

³ NBR 8400-1:2019. Equipamentos de elevação e movimentação de carga — Regras para projeto. Parte 1: Classificação e cargas sobre as estruturas e mecanismos.

plataforma se enquadra no grupo de estrutura 2, o coeficiente de majoração adotado é igual a 1, e o coeficiente de carga dinâmica é igual a 1,15.

5.2 DIMENSIONAMENTO DA PLATAFORMA

No desenvolvimento deste tópico, as principais referências utilizadas foram as normas NBR 8400 e NBR 8800, que tratam do dimensionamento de equipamentos para levantamento e deslocamento de cargas. Nas análises estáticas realizadas, será sempre considerada a condição mais desfavorável, procedimento fundamental para antecipar possíveis usos inadequados do equipamento por parte do usuário e prevenir falhas que possam ocorrer devido a uso impróprio. As análises estáticas detalhadas para cada componente estão descritas no Apêndice. A Figura 11 apresenta o modelo de dimensionamento bruto idealizado para a plataforma da cadeira elevatória.



Figura 11 - Modelo idealizado bruto da plataforma
Fonte: De elaboração própria

Cálculo das máximas tensões admissíveis:

A norma brasileira NBR 15655, aplicável a plataformas de elevação, determina que, salvo exceções específicas, o coeficiente de segurança para todas as partes do equipamento deve ser igual ou superior a 1,6 quando o material utilizado for aço ou equivalentes dúcteis.

a) Cálculo da tensão admissível:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_e}{n} \quad (5-1)$$

b) Cálculo da tensão de cisalhamento:

$$\tau_{adm} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}} \quad (5-2)$$

$$\tau_{adm} = 90,21 \text{ MPa}$$

5.2.1 Dimensionamento da Base da Plataforma.

A Figura 12 apresenta o dimensionamento das barras da base da plataforma da cadeira, com suas respectivas identificações. A seguir, será detalhado o dimensionamento dessas barras neste tópico.

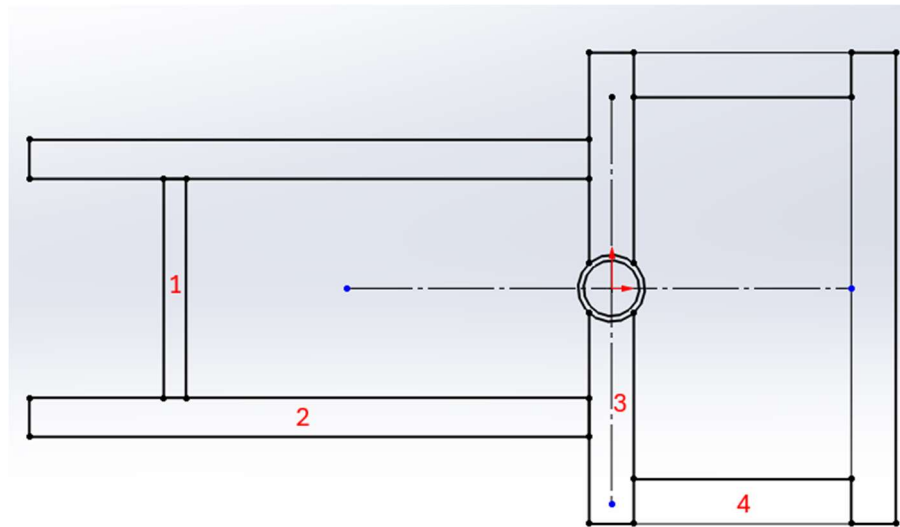


Figura 12 - Identificação das barras da base da plataforma
Fonte: De elaboração própria

Vão central do apoio dos pés (1):

Nesta barra, adotou-se uma hipótese conservadora, assumindo que o usuário pode aplicar até 50% da carga de serviço sobre ela. O comprimento da barra considerado para os cálculos foi de 0,264 m.

Os valores dos máximos esforços exercidos sobre a barra são:

$$M = 26,70 \text{ Nm}$$

$$V = 404,66 \text{ N}$$

A determinação da seção resistente foi realizada com base nas fórmulas retiradas do livro de Beer:

$$\sigma_{adm} \geq \frac{M_{m\acute{a}x}}{W} \quad (5-3)$$

$$W \geq \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_{adm}} \geq \frac{26,70}{156,25} \geq 170,88 \text{ mm}^3$$

$$\tau_{adm} \geq \frac{V \times Q}{I \times t} \quad (5-4)$$

$$\frac{I \times t}{Q} \geq \frac{V}{\tau_{adm}} \geq \frac{404,66}{90,21} \geq 4,48 \text{ mm}^2$$

Com o valor mínimo estabelecido, foi identificada uma solução comercial adequada no catálogo Tubos Oliveira, presente no Anexo D. O tubo quadrado selecionado é fabricado em aço ASTM-A36, com dimensões de 16 mm de lado e espessura de 0,9 mm. Com base nessas informações, foram calculadas a massa da barra e a deflexão máxima. As fórmulas utilizadas para o cálculo da deflexão estão apresentadas no Anexo E:

$$m = 0,43 \frac{kg}{m}$$

$$\mathbf{massa \ da \ barra = m \times L} \quad \mathbf{(5-5)}$$

$$m \times L = 0,11 \text{ kg}$$

$$I = 2073 \text{ mm}^4$$

$$E = 200000 \text{ Mpa}$$

$$Y = \frac{P \times L^3}{192 \times E \times I} \quad \mathbf{(5-6)}$$

$$Y = 0,18 \text{ mm}$$

Considerando que a massa da barra representa menos de 0,01% da massa da carga estipulada, a barra selecionada não requer novos cálculos.

Barra lateral de apoio dos pés (2):

Para a barra de apoio para os pés (2), assumiu-se que toda a carga de serviço, até o limite de 50%, é aplicada em um dos lados do apoio. O comprimento da barra utilizado nos cálculos foi de 0,502 m.

Os valores dos máximos esforços exercidos sobre a barra são:

$$V = 809,32 \text{ N}$$

$$M = 299,04 \text{ Nm}$$

A determinação da seção resistente foi realizada com base nas equações (5-3) e (5-4):

$$W \geq \frac{299,04}{156,25} \geq 1914 \text{ mm}^3$$

$$\frac{I \times t}{Q} \geq \frac{809,32}{90,21} \geq 8,97 \text{ mm}^2$$

O tubo quadrado selecionado é fabricado em aço ASTM-A36, com dimensões de 25 mm de lado e espessura de 3,75 mm. Com base nessas informações, foram calculadas a massa da barra, a partir da fórmula (5-5) e sua deflexão.

$$m = 1,78 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$m \times L = 0,89 \text{ kg}$$

$$I = 24736 \text{ mm}^4$$

$$Y = \frac{P \times L^3}{3 \times E \times I} \quad (5-7)$$

$$Y = 0,50 \text{ mm}$$

Barra do vão central (3):

Nesta seção, foram consideradas as condições estabelecidas pela NBR 9386-2, incluindo o cenário em que o usuário se senta na extremidade da cadeira, gerando um torque sobre a barra. Além disso, foram avaliadas duas hipóteses desfavoráveis: uma em que toda a carga de serviço é distribuída sobre a cadeira

e outra em que a maior parte da carga é concentrada em um dos lados da plataforma. O comprimento da barra utilizado nos cálculos foi de 0,422 m.

1) Carga concentrada no banco

Os valores dos máximos esforços exercidos sobre a barra são:

$$V = 2096,86 \text{ N}$$

$$M = 295,47 \text{ Nm}$$

$$T = 209,61 \text{ Nm}$$

2) Carga de serviço de 50%, concentrado parte na cadeira parte na barra lateral

$$V = 1915,34 \text{ N}$$

$$M = 120,22 \text{ Nm}$$

$$T = 356,99 \text{ Nm}$$

Embora o cenário 1 seja mais crítico para a barra que sustenta a cadeira, o cenário 2 representa uma condição mais desfavorável devido ao elevado torque aplicado.

Para o caso mais crítico da barra (cenário 1), foram utilizadas as equações (5-3) e (5-4) para determinação da seção resistente:

$$W \geq \frac{295,47}{156,25} \geq 1891 \text{ mm}^3$$

$$\frac{I \times t}{Q} \geq \frac{2096,86}{90,21} \geq 23,24 \text{ mm}^2$$

O tubo quadrado selecionado é fabricado em aço ASTM-A36, com dimensões de 40 mm de lado e espessura de 3,75 mm. Será calculado a massa com a fórmula (5-5) e sua deflexão.

$$m = 4,35 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$m \times L = 1,83 \text{ kg}$$

$$I = 120361,3 \text{ mm}^4$$

A deflexão da viga será calculada utilizando a equação (5-6):

$$Y = 0,03 \text{ mm}$$

Os cálculos para determinar a carga total na cadeira podem ser utilizados para determinar os esforços sobre o tubo que recebe o pistão.

$$W \geq \frac{295,47}{156,25} \geq 1891 \text{ mm}^3$$

O tubo circular selecionado é fabricado em aço ASTM-A36, com dimensões de 60 mm de diâmetro e espessura de 5 mm.

Dimensionamento da barra lateral (4):

Os esforços que sucederam nessa barra serão do segundo caso da barra da cadeira.

Os valores dos máximos esforços exercidos sobre a barra são:

$$V = 1915,34 \text{ N}$$

$$M = 724,73 \text{ Nm}$$

$$T = 122 \text{ Nm}$$

Para a barra lateral, a determinação da seção resistente foi realizada utilizando as equações (5-3) e (5-4):

$$W \geq \frac{724,73}{156,25} \geq 4638 \text{ mm}^3$$

$$\frac{I \times t}{Q} \geq \frac{1915,34}{90,21} \geq 21,23 \text{ mm}^2$$

O tubo quadrado selecionado é fabricado em aço ASTM-A36, com dimensões de 40 mm de lado e espessura de 3,75 mm. A seguir, foram calculados a massa com a fórmula (5-5) e sua deflexão.

$$m = 4,35 \frac{kg}{m}$$

$$m \times L = 0,84 kg$$

$$I = 120361,3 mm^4$$

A deflexão da viga será calculada utilizando a equação (5.26) combinado com a fórmula de momento concentrado.

$$Y = \frac{M \times L^2}{2 \times E \times I} \quad (5-8)$$

$$Y = 0,73 mm$$

5.2.2 Dimensionamento da Base Vertical da Plataforma

A Figura 13 apresenta, com identificação, as barras que compõem a base vertical da plataforma da cadeira.

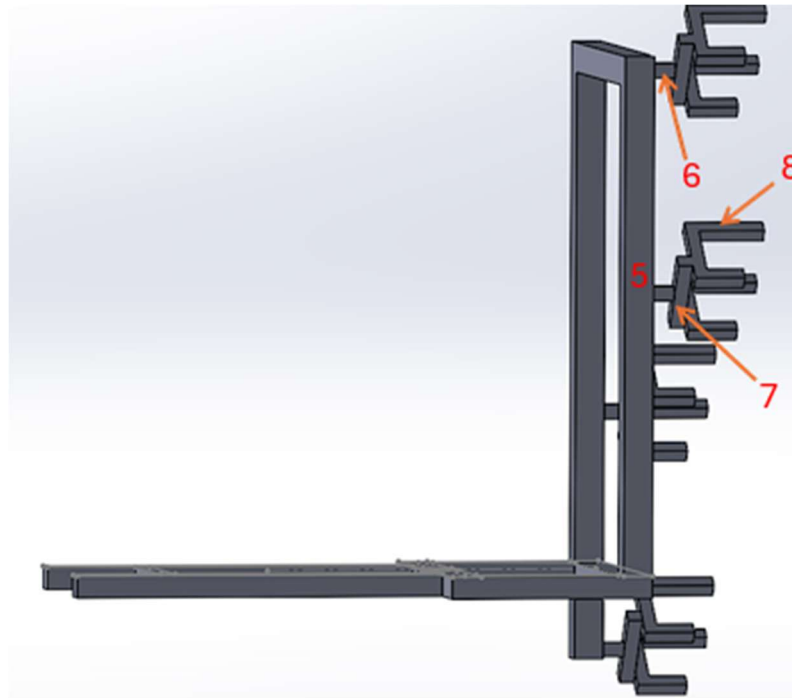


Figura 13 - Identificação da base vertical
Fonte: De elaboração própria

Dimensionamento da Coluna (5):

Na coluna correspondente ao caso mais crítico, são aplicados esforços de tração e um momento concentrado. Devido ao fato de a coluna estar bi apoiada, forma-se um binário que exerce forças opostas, resultando em uma ação de tração e compressão nos apoios.

Os valores dos máximos esforços exercidos sobre a barra são:

$$N = 1997,66 \text{ N}$$

$$V = 2070 \text{ N}$$

Para determinar a barra sujeita aos esforços de tração, serão utilizados cálculos conforme os critérios estabelecidos pela NBR

$$N_{t,rd} = \frac{A_g \times f_y}{\gamma_{a1}} \quad (5-9)$$

$$N_{t,rd} = N \times \gamma_g \quad (5-10)$$

Para determinar a tração solicitante, deve-se consultar as Tabelas 8 e 9 para obter os coeficientes de solicitação e de ponderação, que são, respectivamente, 1,50 e 1,10.

$$N_{t,rd} = 2996,49$$

Tabela 8: Coeficiente de solicitação

Combinações	Ações permanentes (γ_g) ^{a,c}					
	Diretas					Indiretas
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)

Fonte: NBR 8800

Tabela 9: Coeficiente de ponderação

Combinações	Aço estrutural ^a		Concreto γ_c	Aço das armaduras γ_s
	γ_a			
	Escoamento, flambagem e instabilidade γ_{a1}	Ruptura γ_{a2}		
Normais	1,10	1,35	1,40	1,15
Especiais ou de construção	1,10	1,35	1,20	1,15
Excepcionais	1,00	1,15	1,20	1,00

Fonte: NBR 8800

A área necessária pode ser determinada reformulando a equação e considerando a tensão de escoamento do aço ASTM A36.

$$A_g = \frac{f_y}{\gamma_{a1} \times N_{t,rd}} = 75,84 \text{ mm}^2$$

Determinação da seção resistente com a equação (5-4):

$$\frac{I \times t}{Q} \geq \frac{2070}{90,21} \geq 22,94 \text{ mm}^2$$

O tubo quadrado selecionado é fabricado em aço ASTM-A36, com dimensões de 40 mm de lado e espessura de 3,75 mm. A massa da barra será calculada utilizando a fórmula (5-5) e sua deflexão.

$$m = 4,35 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$m \times L = 3,0 \text{ kg}$$

Dimensionamento da barra central (6) e do dispositivo C (7 e 8):

Nesta seção, será determinada a distribuição das cargas para as rodas do lado da plataforma sobrecarregada. Primeiro será dimensionado a barra principal.

Os valores dos máximos esforços exercidos sobre a barra são:

$$V = 1449,25 \text{ N}$$

$$M = 44,71 \text{ Nm}$$

Para determinar a seção resistente da barra, utilizando o caso mais crítico, aplicam-se as equações (5-3) e (5-4):

$$W \geq \frac{44,71}{281,25} \geq 158,96 \text{ mm}^3$$

$$\frac{I \times t}{Q} \geq \frac{1449,25}{162,37} \geq 8,90 \text{ mm}^2$$

A barra circular selecionada é fabricada em aço SAE 1045, conforme o catálogo da Gerdau presente no Anexo D, com dimensões de 20 mm de diâmetro. A massa da barra será calculada usando a fórmula (5-5) e sua deflexão.

$$m = 2,466 \frac{kg}{m}$$

$$m \times L = 0,27 kg$$

A barra distribui as cargas para dois ramos sendo o dado mais importante o efeito vertical no ramo (1) e (2).

$$F_{y1} = 1449,25 N$$

$$F_{y2} = 44,71 N$$

As demais forças se distribuem de maneira equilibrada, tanto a força F_x , que induz o movimento descendente da plataforma, quanto a força normal à parede, que exerce pressão sobre as rodas superiores, empurrando a plataforma contra a parede pelas rodas inferiores.

$$F_x = 623,83 N$$

$$N = 1035 N$$

Com a definição das cargas que atuam sobre as rodas, é possível identificar e selecionar as rodas em U adequadas para o projeto. As rodas em U foram selecionadas por sua capacidade de suportar as cargas calculadas e pela compatibilidade com o design da estrutura.

$$Carga\ verticala = \frac{F_y}{9,81} = 147,73 kg$$

$$Carga\ Normal\ a\ parede = \frac{N}{9,81} = 105,50 kg$$

Dimensionamento do tubo circular utilizado como trilho superior:

Utilizando as cargas mais críticas atuantes no tubo e admitindo uma distância de 960mm ao longo do tubo inclinado dos dois postes fazendo com que o tubo seja considerado como uma viga bi engastada temos os seguintes esforços.

Os postes são estruturas verticais posicionadas ao longo da escada que suportam a estrutura de deslocamento da cadeira elevatória.

Os valores dos máximos esforços exercidos sobre a barra são:

$$V = 1470,68 \text{ N}$$

$$M = 294,4 \text{ Nm}$$

Determinação da seção resistente com a equação (5-3) e (5-4):

$$W \geq \frac{294,4}{156,25} \geq 1884,16 \text{ mm}^2$$

$$\frac{I \times t}{Q} \geq \frac{1915,34}{90,21} \geq 21,23 \text{ mm}^2$$

O tubo circular selecionado é fabricado em aço ASTM-A36, com dimensões de 40 mm de diâmetro e espessura de 3,75 mm.

Com a possibilidade dessa distância fica definido um total de 6 postes para suportar as cargas.

Dimensionamento do tubo circular utilizado como trilho inferior:

Esse tubo tem as mesmas condições desfavoráveis

Os valores dos máximos esforços exercidos sobre a barra são:

$$V = 1562,31 \text{ N}$$

$$M = 294,33 \text{ Nm}$$

Determinação da seção resistente com a equação (5-3) e (5-4):

$$W \geq \frac{294,33}{156,25} \geq 1883,71 \text{ mm}^3$$

$$\frac{I \times t}{Q} \geq \frac{1915,34}{90,21} \geq 17,31 \text{ mm}^2$$

O tubo circular oblongo selecionado é fabricado em aço ASTM-A36, com dimensões de 9,75 mm de raio e lado de 15 mm e espessura de 3,75 mm.

Dimensionamento das barras que ligam o tubo ao poste:

Para o dimensionamento das barras que ligam o tubo ao poste, o tubo pode ser considerado como uma viga engastada.

Os valores dos máximos esforços exercidos sobre a barra são:

$$V = 1470,68 \text{ N}$$

$$M = 367,93 \text{ Nm}$$

Determinação da seção resistente com a equação (5-3) e (5-4):

$$W \geq \frac{367,93}{156,25} \geq 2354,75 \text{ mm}^2$$

$$\frac{I \times t}{Q} \geq \frac{1915,34}{90,21} \geq 16,29 \text{ mm}^2$$

A barra circular selecionado do catálogo da Gerdau é fabricado em aço SAE 1045, com 24 mm de diâmetro.

Dimensionamento do poste:

Os postes, posicionados estrategicamente ao longo da escada, atuam como suportes para a estrutura de deslocamento da cadeira elevatória. Esses componentes são responsáveis por garantir a estabilidade e a segurança do sistema, sustentando os trilhos e outros elementos fundamentais que compõem o mecanismo de elevação.

Para o correto dimensionamento do poste, admite-se que ele sofre compressão com carga excêntrica.

Os valores dos máximos esforços exercidos sobre a barra são:

$$V = 1470,68 \text{ N}$$

$$M = 367,93 \text{ Nm}$$

A seção resistente é determinada utilizando as equações (5-3) e (5-4):

$$W \geq \frac{294,4}{156,25} \geq 2354 \text{ mm}^2$$

$$\frac{I \times t}{Q} \geq \frac{1915,34}{90,21} \geq 221 \text{ mm}^2$$

O tubo circular selecionado é fabricado em aço ASTM-A36, com 38,10 mm de diâmetro e espessura de 3,75 mm.

Com os esforços e a previsão de perfil definidos, procede-se à análise da flambagem da coluna.

$$\frac{P}{A} + \frac{M \times c}{I} \leq \sigma_{adm}$$

$$I = 60397 \text{ mm}^4$$

$$c = 19,05$$

$$\sigma_{adm} \geq 47,01 \text{ MPa}$$

Para a determinação da tensão admissível da flambagem da coluna, segue-se a Tabela 10.

Tabela 10 - Determinação da tensão admissível

Colunas de aço		
Tensão admissível	Fator de segurança (FS)	Índice de esbeltez
$\sigma_{adm} = \frac{1}{FS} \cdot \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$	$FS = \frac{23}{12} \approx 1,92$	$\left(\frac{KL}{r}\right)_c \leq \left(\frac{KL}{r}\right) \leq 200$
$\sigma_{adm} = \frac{1}{FS} \cdot \left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2(KL/r)_c^2}\right] \sigma_e$	$FS = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \frac{(KL/r)}{(KL/r)_c} - \frac{(KL/r)^3}{8(KL/r)_c^3}$	$\left(\frac{KL}{r}\right) < \left(\frac{KL}{r}\right)_c$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_e}}$$

Fonte: Resistência dos materiais, Hibbler

Primeiramente, determina-se o raio de giração e, em seguida, o índice de esbeltez:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (5-11)$$

$$A = 355 \text{ mm}^2$$

$$r = 12,69 \text{ mm}$$

Admitindo-se o valor de K mais desfavorável, que é igual a 2, e um comprimento de 700 mm:

$$\frac{K \times L}{r} = 113$$

O valor de λ encontrado é menor que 200. A verificação do mínimo é realizada por:

$$\frac{K \times L}{r} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{\sigma_e}} = 125,66$$

Com um λ abaixo do mínimo, a determinação é feita pelas fórmulas da segunda linha da Tabela 10:

$$F_s = 1,91$$

$$\sigma_{adm} = 77,71 \text{ MPa}$$

Como a tensão admissível encontrada é inferior à que atua na coluna, o tubo é válido.

$$77,71 \text{ MPa} \geq 47,01 \text{ MPa}$$

Obs.: O poste sofre tensão em duas seções no seu comprimento, porém são esforços contrários anulando-se por isso foi admitido o momento de 102,41 MPa.

5.3 DIMENSIONAMENTO DA FIXAÇÃO

Dimensionamento das soldas:

Para o correto dimensionamento das soldas e para evitar gastos excessivos, considera-se cada seção de barra para prevenir o

superdimensionamento dos cordões de solda do tipo filete. Utiliza-se a NBR 8800 como referência normativa.

Antes de iniciar os cálculos, é necessário determinar o material da solda e os coeficientes de segurança relacionados. A Tabela 11 apresenta a compatibilidade do metal base com o metal da solda.

Tabela 11 - Compatibilidade do metal base com metal da solda

	Metal-base		Metal da solda compatível			
	ABNT	ASTM	Arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW)	Arco submerso (SAW)	Arco elétrico com proteção gasosa (GMAW)	Arco elétrico com fluxo no núcleo (FCAW)
Grupo I	NBR 6648 (CG-26 - $t \leq 20$ mm) NBR 6649 (CF-26) NBR 6650 (CF-26) NBR 7007 (MR 250 - $t \leq 19$ mm)	A36 ($t \leq 19$ mm) A500 Grau A A500 Grau B	AWS A5.1 - E60XX, E70XX AWS A5.5 ^e - E70XX-X	AWS A5.17 - F6XX-EXXX, F6XX-ECXXX, F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX AWS A5.23 ^e - F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX	AWS A5.18 - ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (exceto -GS) AWS A5.28 ^e - ER70S-XXX, E70C-XXX	AWS A5.20 - E6XT-X, E6XT-XM, E7XT-X, E7XT-XM (exceto -2, -2M, -3, -10, -13, -14 e -GS e exceto -11 com espessura superior a 12 mm) AWS A5.29 ^e - E6XTX-X, E6XT-XM, E7XTX-X, E7XTX-XM

Fonte: ABNT NBR 8800

Como os metais de base estão todos classificados no grupo, será então considerado um eletrodo revestido E70.

Tabela 12 - Resistência ao escoamento do metal de solda.

Metal da solda	f_w MPa
Todos os eletrodos com classe de resistência 6 ou 60	415
Todos os eletrodos com classe de resistência 7 ou 70	485
Todos os eletrodos com classe de resistência 8 ou 80	550

Fonte: ABNT NBR 8800

Segundo a Tabela 12 acima, a resistência ao escoamento do metal de solda é de:

$$f_w = 485 \text{ MPa}$$

Tabela 13 - Força resistente de cálculo de soldas

Tipo de solda	Tipo de solicitação e orientação	Força resistente de cálculo $F_{w,Rd}^{a b d}$
Penetração total ^{g)}	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda	Não precisa ser considerado
	Tração ou compressão normal à seção efetiva da solda	Metal-base: $A_{MB} f_y / \gamma_{s1}^{e f i}$
	Cisalhamento (soma vetorial) na seção efetiva	Metal-base: $0,60 A_{MB} f_y / \gamma_{s1}^i$
Penetração parcial ^{g)}	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda ^{c)}	Não precisa ser considerado
	Tração ou compressão normal à seção efetiva da solda	O menor dos dois valores: a) Metal-base: $A_{MB} f_y / \gamma_{s1}^i$ b) Metal da solda: $0,60 A_w f_w / \gamma_{w1}^{j)}$
	Cisalhamento paralelo ao eixo da solda, na seção efetiva	Metal-base deve atender a 6.5 Metal da solda: $0,60 A_w f_w / \gamma_{w2}^k$
Filete	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda ^{c)}	Não precisa ser considerado
	Cisalhamento na seção efetiva (a solicitação de cálculo é igual à resultante vetorial de todas as forças de cálculo na junta que produzam tensões normais ou de cisalhamento na superfície de contato das partes ligadas)	Metal-base deve atender a 6.5 Metal da solda: $0,60 A_w f_w / \gamma_{w2}^{h k}$

Fonte: ABNT NBR 8800

O tipo de solda utilizado será o do tipo filete. Portanto, a fórmula aplicada, com base na Tabela 13, será:

$$F_{w,Rd} = \frac{0,60 \times A \times f_w}{\gamma_{w2}} \quad (5-12)$$

Por norma o coeficiente γ_{w2} em casos normais vale 1,35.

Tabela 14 - Tamanho mínimo de perna de solda de filete.

Menor espessura do metal-base na junta mm	Tamanho mínimo da perna da solda de filete, d_w^a mm
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19	8

Fonte: NBR 8800

A Tabela 14 apresenta o tamanho mínimo da perna da solda de filete. É importante observar que o tamanho máximo da perna da solda do tipo filete deve ser igual à espessura da chapa de menor espessura envolvida na solda.

Esse dado é importante para o cálculo da área da solda resistente.

$$A = h \times L \times 0,7 \quad (5-13)$$

Onde L é o comprimento da base da solda.

O momento polar utilizado será o do segundo e terceiro exemplo apresentado na Figura 14. No entanto, como a maior parte dos tubos é quadrada, a fórmula será adaptada para um tubo quadrado.

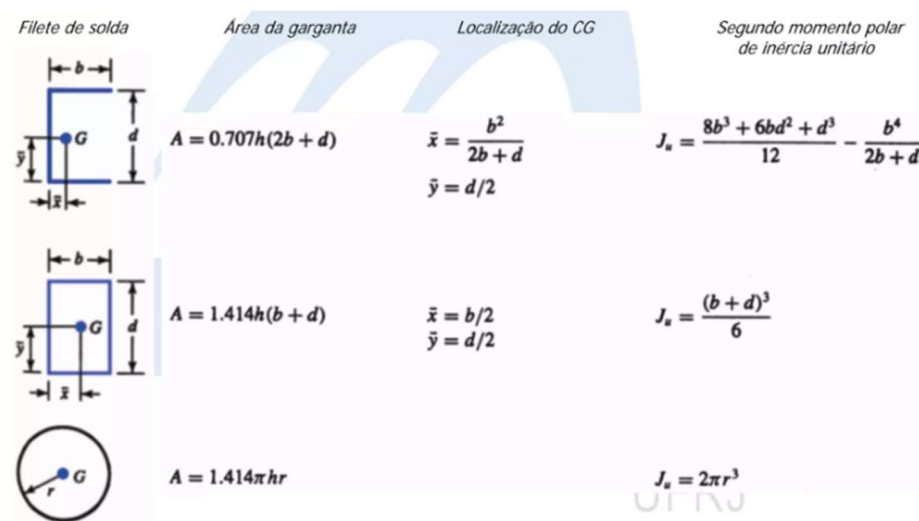


Figura 14 - Fórmulas do segundo momento polar de inércia

Fonte: COPPE-UFRJ

$$J = \frac{4 \times d^3}{6} \quad (5-14)$$

$$J = 2 \times \pi \times r^3 \quad (5-15)$$

O vão está sujeito a dois tipos de esforços. Para obter cálculos mais precisos, será determinada a força de cálculo exigida por cada tipo de esforço, considerando o comprimento da solda unitária

$$P_V = \frac{P}{L} \quad (5-16)$$

$$P_M = \frac{M}{J} \times \bar{y} \quad (5-17)$$

$$P_T = \sqrt{P_V^2 + P_M^2} \quad (5-18)$$

$$P_{sd} = P_T \times \gamma_f \quad (5-19)$$

Por norma γ_f é igual a 1,4.

Solda no vão central do apoio dos pés:

$$M = 26,70 \text{ Nm}$$

$$P = 404,66 \text{ N}$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$e = 0,9 \text{ mm}$$

Toda lateral do tubo será usada no comprimento da solda.

$$L = d \times 4 \quad (5-20)$$

$$L = 64 \text{ mm}$$

Utilizando a equação (5-14) para determinar o momento polar:

$$J = 5461 \text{ mm}^4$$

Determinando os esforços com as equações (5-16), (5-17), (5-18) e (5-19):

$$P_V = 6,32 \text{ N/mm}$$

$$P_M = 39,11 \text{ N/mm}$$

$$P_T = 45,43 \text{ N/mm}$$

$$P_{sd} = 63,60 \text{ N/mm}$$

Avaliando se a solda suporta os esforços aplicados por meio da equação (5-12):

$$F_{w,Rd} = 135,80 \text{ N/mm}$$

A solda resiste.

$$135,80 \text{ N/mm} \geq 63,60 \text{ N/mm}$$

Solda do apoio lateral dos pés:

$$M = 299,04 \text{ Nm}$$

$$P = 809,32 \text{ N}$$

$$d = 25 \text{ mm}$$

$$e = 3,75 \text{ mm}$$

Calculando o comprimento total da utilizando a equação (5-20):

$$L = 120 \text{ mm}$$

Utilizando a equação (5-14) para determinar o momento polar:

$$J = 20833 \text{ mm}^4$$

Determinando os esforços com as equações (5-16), (5-17), (5-18) e (5-19):

$$P_V = 8,09 \text{ N/mm}$$

$$P_M = 179,42 \text{ N/mm}$$

$$P_T = 187,52 \text{ N/mm}$$

$$P_{sd} = 262,52 \text{ N/mm}$$

Avaliando se a solda suporta os esforços aplicados por meio da equação (5-12):

$$F_{w,Rd} = 565,83 \text{ N/mm}$$

A solda resiste.

$$565,83 \text{ N/mm} \geq 262,52 \text{ N/mm}$$

Solda do vão central da plataforma:

$$M = 295,47 \text{ Nm}$$

$$P = 2096,46 \text{ N}$$

$$d = 40 \text{ mm}$$

$$e = 3,75 \text{ mm}$$

Calculando o comprimento total da utilizando a equação (5-20):

$$L = 160 \text{ mm}$$

Utilizando a equação (5-14) para determinar o momento polar

$$J = 85333 \text{ mm}^4$$

Determinando os esforços com as equações (5-16), (5-17), (5-18) e (5-19):

$$P_V = 13,10 \text{ N/mm}$$

$$P_M = 69,25 \text{ N/mm}$$

$$P_T = 82,35 \text{ N/mm}$$

$$P_{sd} = 115,30 \text{ N/mm}$$

Avaliando se a solda suporta os esforços aplicados por meio da equação (5-12):

$$F_{w,Rd} = 565,83 \text{ N/mm}$$

A solda resiste.

$$565,83 \text{ N/mm} \geq 115,30 \text{ N/mm}$$

Solda do tubo lateral da plataforma:

$$M = 724,73 \text{ Nm}$$

$$P = 1924,34 \text{ N}$$

$$d = 40 \text{ mm}$$

$$e = 3,75 \text{ mm}$$

Calculando o comprimento total da utilizando a equação (5-20):

$$L = 160 \text{ mm}$$

Utilizando a equação (5-14) para determinar o momento polar

$$J = 85333 \text{ mm}^4$$

Determinando os esforços com as equações (5-16), (5-17), (5-18) e (5-19):

$$P_V = 12,03 \text{ N/mm}$$

$$P_M = 169,86 \text{ N/mm}$$

$$P_T = 181,89 \text{ N/mm}$$

$$P_{sd} = 254,64 \text{ N/mm}$$

Avaliando se a solda suporta os esforços aplicados por meio da equação (5-12):

$$F_{w,Rd} = 565,83 \text{ N/mm}$$

A solda resiste.

$$565,83 \text{ N/mm} \geq 254,64 \text{ N/mm}$$

Barra redonda que conecta o disposto C:

$$M = 59,93 \text{ Nm}$$

$$P = 1997,66 \text{ N}$$

Como a barra é redonda, será considerada seu diâmetro para o tratamento.

$$d = 20 \text{ mm}$$

A espessura da menor peça da união.

$$e = 3,00 \text{ mm}$$

Calculando o comprimento total.

$$L = \pi \times d \quad (5-21)$$

$$L = 62,38 \text{ mm}$$

Utilizando a equação (5-15) para determinar o momento polar:

$$J = 6283,19 \text{ mm}^4$$

Determinando os esforços com as equações (5-16), (5-17), (5-18) e (5-19):

$$P_V = 31,79 \text{ N/mm}$$

$$P_M = 95,38 \text{ N/mm}$$

$$P_T = 127,17 \text{ N/mm}$$

$$P_{sd} = 178,04 \text{ N/mm}$$

Avaliando se a solda suporta os esforços aplicados por meio da equação (5-12):

$$F_{w,Rd} = 282,92 \text{ N/mm}$$

A solda resiste.

$$282,92 \text{ N/mm} \geq 178,04 \text{ N/mm}$$

Estrutura do disposto C:

$$M = 153 \text{ Nm}$$

$$P = 1449,25 \text{ N}$$

Como a barra é redonda, será considera seu diâmetro para o tratamento.

$$d = 18 \text{ mm}$$

A espessura, determinada por norma, varia entre 12,5 mm até 19 mm.

$$e = 6,00 \text{ mm}$$

Calculando o comprimento total pela equação (5.39):

$$L = 56,55 \text{ mm}$$

Utilizando a equação (5-15) para determinar o momento polar

$$J = 4580,44 \text{ mm}^4$$

Determinando os esforços com as equações (5-16), (5-17), (5-18) e (5-19):

$$P_V = 25,63 \text{ N/mm}$$

$$P_M = 300,63 \text{ N/mm}$$

$$P_T = 326,25 \text{ N/mm}$$

$$P_{sd} = 456,76 \text{ N/mm}$$

Avaliando se a solda suporta os esforços aplicados por meio da equação (5-12):

$$F_{w,Rd} = 905,33 \text{ N/mm}$$

A solda resiste.

$$905,33 \text{ N/mm} \geq 456,76 \text{ N/mm}$$

Barra circular que conecta o trilho ao poste:

$$M = 367 \text{ Nm}$$

$$P = 1470,68 \text{ N}$$

Como a barra é redonda, será considera seu diâmetro para o tratamento.

$$d = 27 \text{ mm}$$

$$e = 3,75 \text{ mm}$$

Calculando o comprimento total pela equação (5-21):

$$L = 84,82 \text{ mm}$$

Utilizando a equação (5-15) para determinar o momento polar:

$$J = 15458,99 \text{ mm}^4$$

Determinando os esforços com as equações (5-16), (5-17), (5-18) e (5-19):

$$P_V = 17,34 \text{ N/mm}$$

$$P_M = 320,49 \text{ N/mm}$$

$$P_T = 337,83 \text{ N/mm}$$

$$P_{sd} = 472,96 \text{ N/mm}$$

Avaliando se a solda suporta os esforços aplicados por meio da equação (5-12):

$$F_{w,Rd} = 565,83 \text{ N/mm}$$

A solda resiste.

$$565,83 \text{ N/mm} \geq 472,92 \text{ N/mm}$$

5.4 DIMENSIONAMENTO DA PLACA BASE E FIXAÇÃO

O dimensionamento da placa que sustentará o poste responsável por manter os trilhos será realizado com base no manual da AISC. Para este dimensionamento, serão considerados os esforços aplicados ao poste, conforme ilustrado na Figura 15, e adota-se algumas premissas referentes aos materiais utilizados. Foi considerado o aço SAE 1045 para a chapa e o aço SAE 1020 para os chumbadores. Além disso, admite-se que o concreto está limitado a tensões de 15 MPa, valores adotados por serem os mais comumente utilizados.

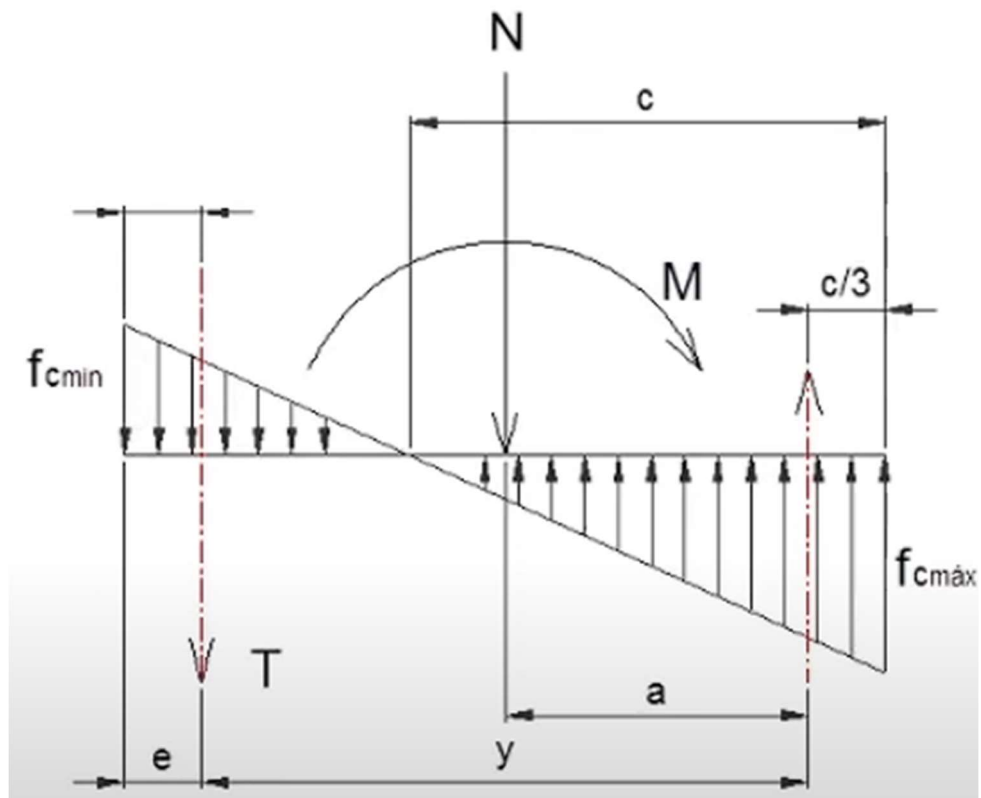


Figura 15 - Ilustração dos esforços sobre a placa
Fonte: Site Engenheiro Projetista

Será admitido inicialmente que a placa quadrada cobrirá parte do piso, ou seja, uma placa $100 \times 100 \text{ mm}^2$.

$$L = 100 \text{ mm}$$

$$B = 100 \text{ mm}$$

Os valores dos máximos esforços exercidos sobre a barra são:

$$V = 1470,68 \text{ N}$$

$$M = 102,41 \text{ Nm}$$

Por determinação a placa tem que distribuir apenas 35% da carga que o concreto suporta.

$$f_{ck} = 15 \text{ MPa}$$

$$F_c = 15 \times 0,35 = 5,25 \text{ MPa}$$

Calcula-se a carga máxima e mínima que a placa suporta utilizando as equações a seguir:

$$F_{cmax} = \frac{N}{B \times L} + \frac{M}{B \times L^2} \quad (5-22)$$

$$F_{cmin} = \frac{N}{B \times L} - \frac{M}{B \times L^2} \quad (5-23)$$

$$F_{cmax} = 0,76 \text{ MPa}$$

$$F_{cmin} = -0,46 \text{ MPa}$$

A seguir, determina-se a distância da maior distribuição de carga:

$$c = \frac{F_{cmax} \times L}{F_{cmax} - F_{cmin}} \quad (5-24)$$

$$c = 61,79 \text{ mm}$$

Para determinar a espessura da chapa de aço, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$t = 2 \times m \times \sqrt{\frac{F_{cmax}}{fy}} \quad (5-25)$$

Calcula-se o valor de m:

$$m = \frac{L - 0,8 \times d}{2} \quad (5-26)$$

$$m = 34,76 \text{ mm}$$

Logo, o valor de t será:

$$t = 3,83 \text{ mm}$$

Determinando a distância da carga principal ao centro do tubo:

$$a = \frac{L}{2} - \frac{c}{3} \quad (5-27)$$

$$a = 29,40 \text{ mm}$$

Para determinar a distância entre os chumbadores, considera-se uma distância do chumbador até a borda da placa de 30 mm.

$$e = 30 \text{ mm}$$

$$Y = L - e - \frac{c}{3} \quad (5-28)$$

$$y = 50 \text{ mm}$$

Para dimensionar corretamente um chumbador, é necessário encontrar os esforços que atuam sobre ele, como os esforços que os tracionam.

$$T = \frac{M - N \times a}{y} \quad (5-29)$$

$$T = 1196 \text{ N}$$

Definindo o diâmetro do chumbador:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times T}{n \times F_y \times \pi}} \quad (5-30)$$

Irá ser usado dois chumbadores, logo:

$$n = 2$$

$$D = 1,74 \text{ mm}$$

Com esses dados é possível selecionar os materiais, foi escolhido um chumbador com o menor diâmetro disponível no mercado 6,35 mm.

5.5 TRILHO DA CREMALHEIRA

As unidades de trilho com cremalheiras retas (UTCR) são peças modulares que se encaixam entre si, para formar uma unidade final de trilho contínuo e reto. Essas UTCR podem ser classificadas em um pequeno catálogo de modelos, que depende apenas da inclinação da escada.

Será utilizado as cremalheiras retas fabricadas em aço carbono SAE 1045⁵ da marca Kalatec Automação⁶ ou da empresa A.T.I. BRASIL⁷.

5.5.1 Dimensionamento da Cremalheira

O dimensionamento adequado da cremalheira foi realizado conforme normas internas e procedimentos fornecidos pelo fabricante.

Determinação do fator de segurança (K):

O fator de segurança é determinado levando em conta a utilização diária do equipamento. Segundo a Tabela 15 o fator de segurança tem valor de 1,5.

Tabela 15: Fator de segurança

TEMPO DE TRABALHO	TIPO DE CARGA		
	Uniforme	Moderada	Severa
Ocasional (1/2 hora)	1,5	1,8	2,3
Intermediário (3 horas)	1,8	2	2,5
8 a 10 horas	2	2,25	2,8
24 horas	2	2,5	3

Fonte: A.T.I. BRASIL

Velocidade:

A velocidade foi estabelecida como 0,15 m/s, conforme estipulado pela NBR 15655.

⁵ Aço carbono SAE 1045: Aço carbono composto principalmente de Ferro (Fe) e cerca de 0,45% de Carbono (C). Esse aço é normatizado pela Society of Society of Automotive Engineers (SAE), localizada nos Estados Unidos.

⁶ Catálogo de cremalheiras e engrenagens Kalatec:
<https://www.kalatec.com.br/cremalheiras/>. Acesso em: 03/10/2023.

⁷ Catálogo de cremalheiras ATI Brasil:
<https://www.atibrasil.com.br/img/cms/Catalogos/Material-Engrenagens.pdf>. Acesso em: 06/11/2023

Aceleração:

Foi decidida uma aceleração de $0,03 \text{ m/s}^2$ para que qualquer variação de velocidade ao longo do percurso seja minimamente perceptível.

Inclinação do terreno:

O terreno tem uma inclinação de $38,65^\circ$.

Atrito:

O coeficiente de atrito adotado foi o de 0,3 entre aços e as rodas de nylon.

Determinação da força horizontal:

Os cálculos referentes à cremalheira consideram os esforços horizontais e verticais, representados na Figura 16. No entanto, os esforços horizontais que a cremalheira precisará incorporar é o atrito entre as rodas e o trilho mais a parcela da carga em situação de plano inclinado. O pinhão não está sujeito as forças verticais.

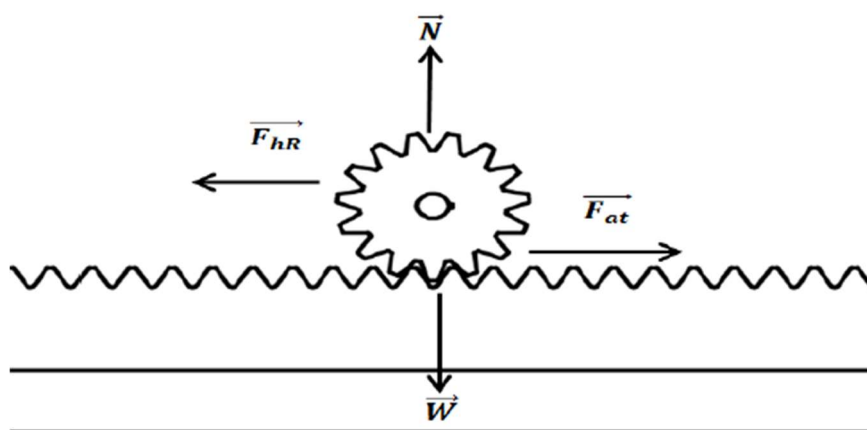


Figura 16 - Força tangencial horizontal
Fonte: Revista Acadêmica Augusto Guzzo

$$P_{inclinado} = 1247,66 \text{ N}$$

$$F_{sobre\ rodas} = \text{Força normal sobre as rodas} = 4019,26$$

$$\sum F_x = m * a \quad (5-31)$$

$$-P_{inclinado} - F_{at} + F_{hr} = m * a$$

$$F_{hr} = P + F_{sobre\ rodas} \times 0,2 - \frac{P_{inclinado}}{9,81} \times a$$

$$F_{hr} = 2449,72 \text{ N}$$

Força horizontal corrigida:

Basicamente, a força horizontal corrigida é obtida ao multiplicar o resultado do cálculo anterior pelo coeficiente de segurança correspondente.

$$F_{hc} = F_{hr} * K \quad (5-32)$$

$$F_{hc} = 3674,58 \text{ N}$$

Determinação do módulo da cremalheira:

De acordo com as instruções do fabricante, ao ficar entre dois módulos, conforme o Gráfico 1, como é o caso aqui entre M2 e M3, deve-se optar pelo maior, que neste caso é o módulo M3.

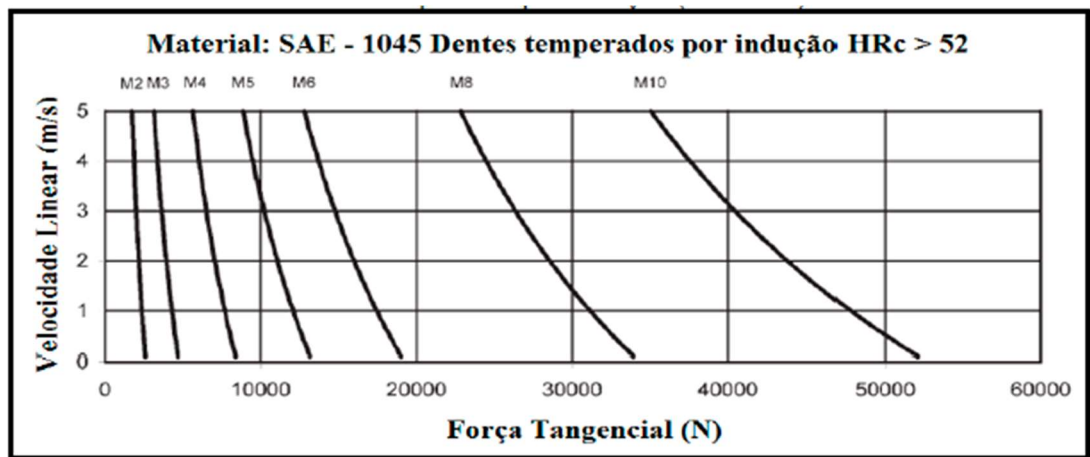


Gráfico 1 - Gráfico de determinação do módulo

Fonte: A.T.I. BRASIL

Determinação dos dentes do pinhão e a distância D:

Ao definir o módulo M3, é viável determinar o número de dentes. Um maior número de dentes resulta em menor esforço para cada um, enquanto um menor número implica em maiores velocidades. Optou-se, conforme a Tabela 16, por um valor de 18 dentes.

Tabela16: Escolha da distância entre eixo e base da cremalheira

DIMENSÕES DA COTA "D"							
Z	Módulo do Pinhão com dentes retos (m)						
	2	3	4	5	6	8	10
18	-	62	81	104	-	157	195
20	-	65	85	109	125	165	205
22	-	68	89	114	131	173	215
24	50	71	93	119	137	181	225
26	52	74	97	124	143	189	235
28	54	-	-	129	149	197	-
30	56	-	-	-	155	-	-
32	58	-	-	-	161	-	-

Fonte: KOOM

Determinação do diâmetro primitivo:

$$d = m * Z \quad (5-33)$$

$$d = 54mm$$

Dimensionamento da largura do pinhão/cremalheira:

o valor de Y depende do suporte do pinhão. Para engrenagens com suporte em ambos os lados, o valor de Y deve ser $\leq 1,2$, enquanto para engrenagens com suporte apenas em uma extremidade, (y) deve ser $\leq 0,75$. Logo o valor de Y escolhido será de 0,75.

$$Y = \frac{b}{d} \quad (5-34)$$

$$0,75 \geq \frac{b}{54}$$

$$b \leq 40,5mm$$

Agora, é necessário verificar a menor largura do pinhão:

$$b \geq \frac{F_{hc} \times \varphi}{Y \times \sigma_{adm} \times m} \quad (5-35)$$

O fator de forma admitido, de acordo com a Tabela 17 é de 0,485

Tabela 17: Fator de forma Y .

Número de dentes	Y	Número de dentes	Y
12	0,245	28	0,353
13	0,261	30	0,359
14	0,277	34	0,371
15	0,290	38	0,384
16	0,296	43	0,397
17	0,303	50	0,409
18	0,309	60	0,422
19	0,314	75	0,435
20	0,322	100	0,447
21	0,328	150	0,460
22	0,331	300	0,472
24	0,337	400	0,480
26	0,346	Cremalheira	0,485

Fonte: Projeto de Elementos de Máquinas de Shigley

O fator de serviço admitido é de 1,00, conforme a Tabela 18.

Tabela 18: Fator de sobrecarga φ

Caráter do acionador principal	Caráter da carga na máquina acionada			
	Uniforme	Choques leves	Choques médios	Choques intensos
Uniforme	1,00	1,25	1,50	1,75 ou maior
Choques leves	1,10	1,35	1,60	1,85 ou maior
Choques médios	1,25	1,50	1,75	2,00 ou maior
Choques intensos	1,50	1,75	2,00	2,25 ou maior

Fonte: Projeto de Elementos de Máquinas de Shigley

Calculando o b mínimo com a equação (5-35):

$$b \geq 5,61$$

Com base nas larguras mínima e máxima da cremalheira, optou-se por uma largura de 15 mm.

Após o dimensionamento do pinhão e da cremalheira, torna-se necessário dimensionar o motor. Para isso, deve-se determinar o torque necessário:

$$M_t = \frac{d \times F_{hc}}{2 \times \eta} \quad (5-36)$$

O rendimento admitido para o motor é de 85%.

$$M_t = 116 N * m$$

Determinando a potência necessária:

$$P = \frac{F_{hc} \times v}{\eta} \quad (5-37)$$

$$P = 648,45 \text{ W}$$

Determinando rotação:

$$n = \frac{30 \times P}{\pi \times M_t} \quad (5-38)$$

$$n = 53 \text{ rpm}$$

Unidade de trilho com cremalheira curva (UTCC):

As unidades de trilho com cremalheira curva demandam um processo de projeto, encomenda e fabricação personalizado para cada local de instalação. Isso ocorre devido ao grande número de variáveis envolvidas que cada arquiteto pode escolher, sem muita padronização, incluindo os raios externos das escadas curvas, ângulo de inclinação e ângulo de cobertura da escada, visto de cima.

Além disso, essas unidades empregam cremalheiras curvas que não estão disponíveis em grande escala no mercado, tornando necessário adquirir cremalheiras sob medida para cada aplicação.

Ao contrário das cremalheiras convencionais de formato reto, as cremalheiras curvas são fabricadas sob medida para se adequar à configuração específica do trajeto curvilíneo que a cadeira elevadora deve percorrer. Adicionalmente, o trilho ao qual essas cremalheiras podem ser soldadas ou fixadas também deve ser customizado de acordo com o raio externo, ângulo de inclinação e ângulo de cobertura da escada em questão.

Por essas razões, detalhar e dimensionar as Unidades de Trilho com Cremalheira Curva (UTCC) neste capítulo não é viável, uma vez que cada situação requer uma análise de caso específica, adaptada às particularidades do ambiente em que serão instaladas.

Controle e minimização de ruído em cremalheiras:

Em sistemas que utilizam cremalheira e pinhão, o nível de ruído é influenciado por diversos fatores, incluindo o material dos componentes, o tipo de lubrificação empregada e a precisão de fabricação. Cremalheiras metálicas, em particular, tendem a gerar mais ruído, especialmente quando a lubrificação não é adequada ou quando há folgas no sistema. O ruído é gerado pelo contato contínuo entre os dentes do pinhão e da cremalheira, o que provoca vibrações e ressonâncias.

Para minimizar esses problemas, foi selecionada uma cremalheira de alta capacidade com dentes endurecidos por indução. Essa escolha visa reduzir o desgaste da cremalheira sob a carga especificada, aumentando assim sua durabilidade. Além disso, a velocidade operacional da plataforma é relativamente baixa, o que contribui para uma redução adicional no nível de ruído e no desgaste dos componentes. No entanto, mesmo em condições de baixa velocidade, a aplicação de lubrificantes é recomendada, como por exemplo o uso de graxas com aditivos de dissulfeto de molibdênio (MoS_2), para garantir um desempenho otimizado e prolongar a vida útil do sistema.

5.6 DIMENSIONAMENTO DAS PLACAS DA PLATAFORMA

No processo de dimensionamento da plataforma, optou-se por uma chapa metálica de aço ASTM A36 devido às propriedades desejáveis de resistência mecânica e adotou-se também um fator de segurança igual a 5 para uma melhor robustez nas características dessa placa.

Placa de apoio dos pés:

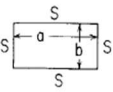
As dimensões da chapa correspondem à área de um retângulo com medidas de 250 x 266 mm.

Cálculo da tensão máxima admissível para a chapa de com a fórmula (5-1):

$$\sigma_a = \frac{250}{5} = 50 \text{ MPa}$$

Cálculo dos coeficientes necessários para o cálculo da tensão exercida sobre a placa, conforme Tabela 19.

Tabela 19 – Placa com carregamento uniforme

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) $\sigma_{max} = \sigma_b = \frac{\beta qb^2}{t^2}$ and $y_{max} = \frac{-\alpha qb^4}{Et^3}$ (At center of long sides) $R_{max} = \gamma qb$																																										
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>a/b</th> <th>1.0</th> <th>1.2</th> <th>1.4</th> <th>1.6</th> <th>1.8</th> <th>2.0</th> <th>3.0</th> <th>4.0</th> <th>5.0</th> <th>∞</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>β</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>α</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>γ</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> </tbody> </table>	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
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: Roark's Formulas for Stress and Strain, Young and Budyns

$$\sigma_{max} = \frac{\beta \times q \times b^2}{t^2} \quad (5-39)$$

$$\frac{a}{b} = 1,06$$

$$\beta = 0,3158$$

$$\alpha = 0,0499$$

Calculando o carregamento distribuído:

$$q = \frac{P}{A} \quad (5-40)$$

$$P = 846,11 \text{ N}$$

$$A = 0,06 \text{ m}^2$$

$$q = 12,72 \text{ kN/m}^2$$

Determinando a espessura da placa utilizando a equação (5-39):

$$t = \sqrt{\frac{\beta \times q \times b^2}{\sigma_{max}}}$$

$$t = 2,24 \text{ mm}$$

Determinando a deflexão máxima da placa segundo a Tabela 19:

$$y_{max} = \frac{-\alpha \times q \times b^4}{E \times t^3} \quad (5-41)$$

$$y_{max} = -1,10 \text{ mm}$$

Placa de apoio das máquinas:

As dimensões da chapa correspondem à área de um retângulo com medidas de 422 x 382 mm, e admite-se uma carga de máquinas de 20 kg.

Cálculo dos coeficientes necessários para o cálculo da tensão exercida sobre a placa segundo a Tabela 19.

$$\frac{a}{b} = 1,10$$

$$\beta = 0,3339$$

$$\alpha = 0,0534$$

Calculando o carregamento distribuído pela equação (5-40):

$$P = 196,2 \text{ N}$$

$$A = 0,16 \text{ m}^2$$

$$q = 1,21 \text{ kN/m}^2$$

Determinando a espessura da placa pela equação (5-39):

$$t = 1,09 \text{ mm}$$

Determinando a deflexão máxima da placa segundo a equação (5-41):

$$y_{max} = -5,36 \text{ mm}$$

5.7 FIXAÇÃO DO MOTOR

O dimensionamento da fixação do motor é viável após a determinação dos esforços atuantes, incluindo o torque do motor e a distância das furações em relação ao seu eixo do motor escolhido, a seleção dos motores será detalhada no próximo capítulo

Os valores dos máximos esforços exercidos sobre o parafuso:

$$F = 1280 \text{ N}$$

Calculando o diâmetro do parafuso pela reformulação da equação (5-4):

$$d \geq \sqrt{\frac{F \times 16}{\tau_{adm} \times 3}}$$

$$d \geq 8,69 \text{ mm}$$

Para uma maior robustez da placa que irá receber os parafusos, foi admitido um fator de segurança igual a 5, utilizando da equação (5-1):

$$\sigma_{adm} = 50 \text{ MPa}$$

Para determinar a espessura da placa, será utilizada a equação de tensão de esmagamento:

$$\sigma_{adm} \geq \frac{F}{A} \quad (5-42)$$

$$A = t \times d$$

$$t \geq \frac{F}{d \times \sigma_{adm}}$$

$$t \geq 2,94 \text{ mm}$$

5.8 MONTAGEM DA CADEIRA ELEVATÓRIA

A montagem da cadeira elevatória envolve dois processos principais: o acoplamento da cadeira à plataforma e o acoplamento da plataforma ao trilho. É importante ressaltar que a cadeira utilizada para o transporte dos usuários é um modelo comercial, ou seja, será adotada uma cadeira disponível no mercado. Portanto, a montagem da cadeira não será detalhada, uma vez que o manual de montagem será fornecido pelo próprio fabricante.

Acoplamento da cadeira à plataforma:

A cadeira utilizada neste projeto já é um modelo disponível no mercado, semelhante a uma cadeira de escritório, composta por um pistão com certificação

BIFMA⁸ e uma cadeira com certificação SGS⁹ e conformidade com a NR1¹⁰, garantindo que o produto atenda aos padrões de segurança e ergonomia exigidos.

O conjunto da cadeira e pistão é fornecido como um kit completo. O pistão será fixado à plataforma da cadeira por meio da caixa que abriga o motor, as baterias e todo o sistema elétrico. A fixação ocorre de maneira semelhante à de uma base convencional, inserindo a extremidade cônica do pistão no orifício correspondente. Devido ao formato cônico, não é necessário aplicar muita força inicial, pois o peso da cadeira é geralmente suficiente para pressionar o pistão de forma firme na base, conforme Figura 17. O design cônico oferece diversas vantagens dentre elas estão:

- **Autoalinhamento e centralização:** O formato cônico facilita o autoalinhamento do pistão com o orifício da base. Como a base é ligeiramente maior na entrada, o pistão se ajusta automaticamente conforme é inserido, garantindo uma centralização precisa.
- **Fixação por fricção:** O formato cônico permite uma fixação firme por fricção. Conforme o pistão é inserido na base, a área de contato aumenta,

⁸ A certificação BIFMA (Business and Institutional Furniture Manufacturers Association) é um padrão de qualidade estabelecido pela associação americana de fabricantes de móveis comerciais e institucionais. O selo BIFMA atesta que o produto (como cadeiras ou outros móveis) passou por rigorosos testes de segurança, durabilidade e desempenho, conforme critérios internacionais.

⁹ A SGS é uma organização global que realiza inspeções, verificações, testes e certificações de produtos para garantir que eles atendam às normas de qualidade e segurança.

¹⁰ A NR1 é uma norma brasileira que faz parte das Normas Regulamentadoras (NRs) estabelecidas pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). A NR1 trata das disposições gerais sobre Segurança e Saúde no Trabalho e estabelece as diretrizes básicas para garantir condições seguras no ambiente de trabalho. No contexto de equipamentos, como a cadeira elevatória, conformidade com a NR1 significa que o produto atende aos requisitos básicos de segurança no ambiente de trabalho, visando minimizar os riscos ocupacionais.

proporcionando uma conexão estável sem a necessidade de parafusos ou outros fixadores. Essa pressão mantida pela forma cônica evita que o pistão se solte durante o uso.

- **Distribuição de carga:** A geometria cônica ajuda a distribuir melhor as cargas aplicadas no pistão, como o peso do usuário e os movimentos da cadeira. Isso reduz a tensão localizada e prolonga a durabilidade do sistema.

A integração da cadeira à plataforma é fundamental para a operação segura e eficiente do equipamento, assegurando que a movimentação seja suave e sem solavancos.

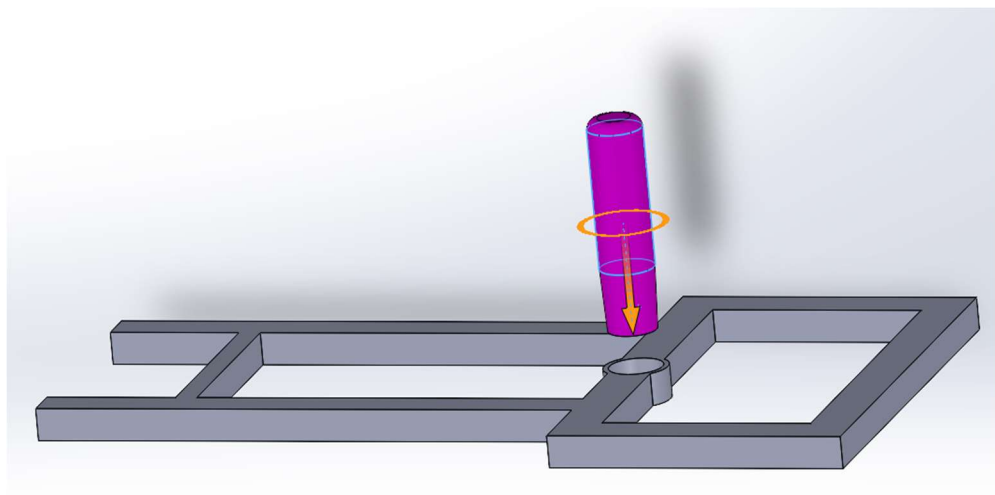


Figura 17: Acoplamento do pistão
Fonte: De elaboração própria

Acoplamento da plataforma ao trilho:

A plataforma da cadeira, equipada com o conjunto de assento e pistão, será acoplada aos trilhos de maneira simples e precisa. O usuário precisará apenas inserir os trilhos no dispositivo C, ilustrado na Figura 18. Graças ao alinhamento prévio das rodas com o tubo e à sua fabricação específica para rolar sobre os trilhos, o ajuste será imediato e eficiente. No entanto, será necessária

uma aplicação de força para o acoplamento no tubo, uma vez que o sistema opera sob pressão. As rodas utilizadas no dispositivo é de nylon 6 oferecem diversas vantagens, entre elas:

- **Flexibilidade e Resiliência:** O Nylon 6 tem uma certa flexibilidade que pode ser benéfica para acoplamentos sob pressão, pois pode se adaptar e moldar-se ligeiramente para melhorar o ajuste.
- **Menor Fricção e Ruído:** Sua superfície pode oferecer menos fricção e ruído em comparação com metais, o que pode ser vantajoso em aplicações onde a suavidade de operação é crucial.

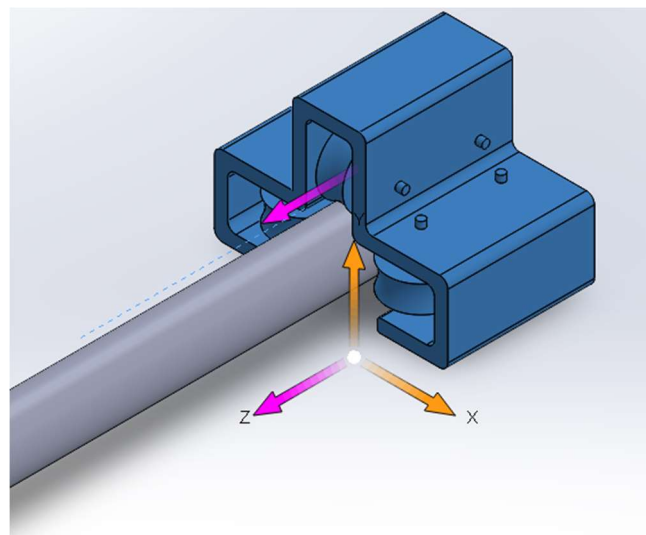


Figura 18: Acoplamento no trilho
Fonte: De elaboração própria

As Figuras 19, 20 e 21 apresentam a configuração final do projeto da cadeira elevatória, conforme o dimensionamento realizado. Nessas imagens, é possível observar a integração completa de todos os componentes dimensionados ao longo deste capítulo. As imagens fornecem uma visão abrangente do sistema, evidenciando o alinhamento dos elementos projetados para assegurar a funcionalidade, a durabilidade e a segurança do equipamento durante o uso

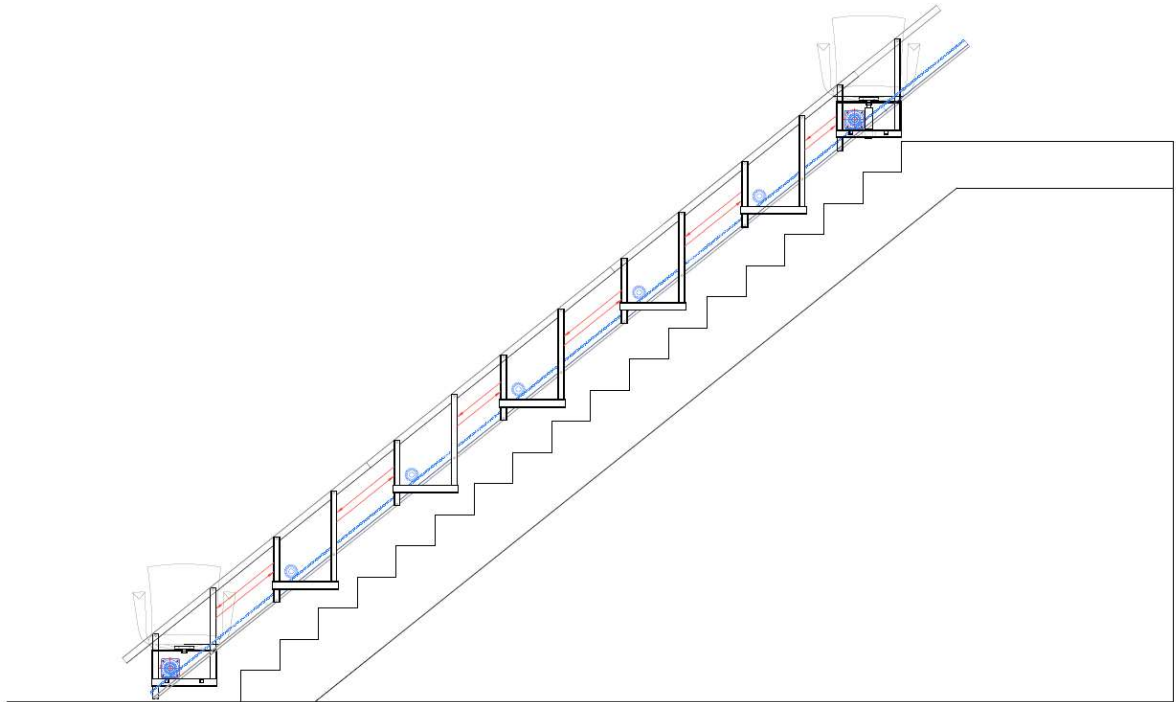


Figura 19 - Sistema da cadeira elevatória posicionada na escada
Fonte: De elaboração própria

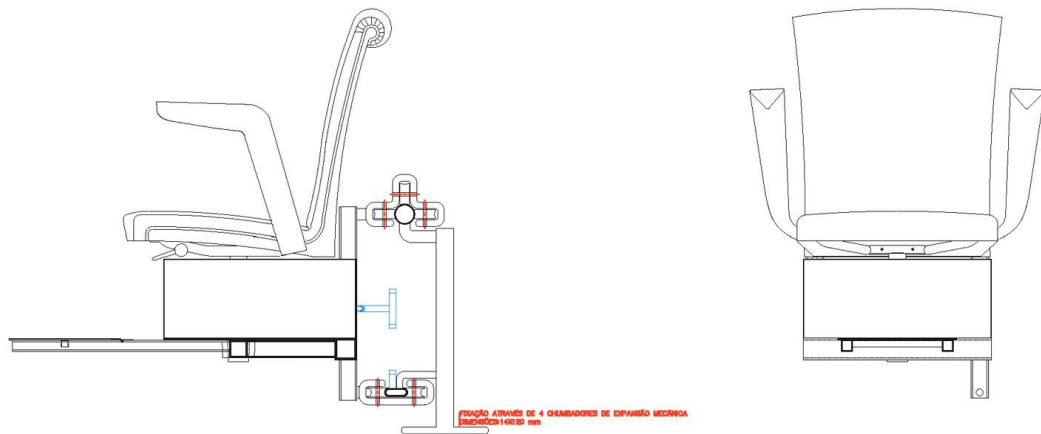


Figura 20 - Projeto detalhado da estrutura da cadeira elevatória
Fonte: De elaboração própria

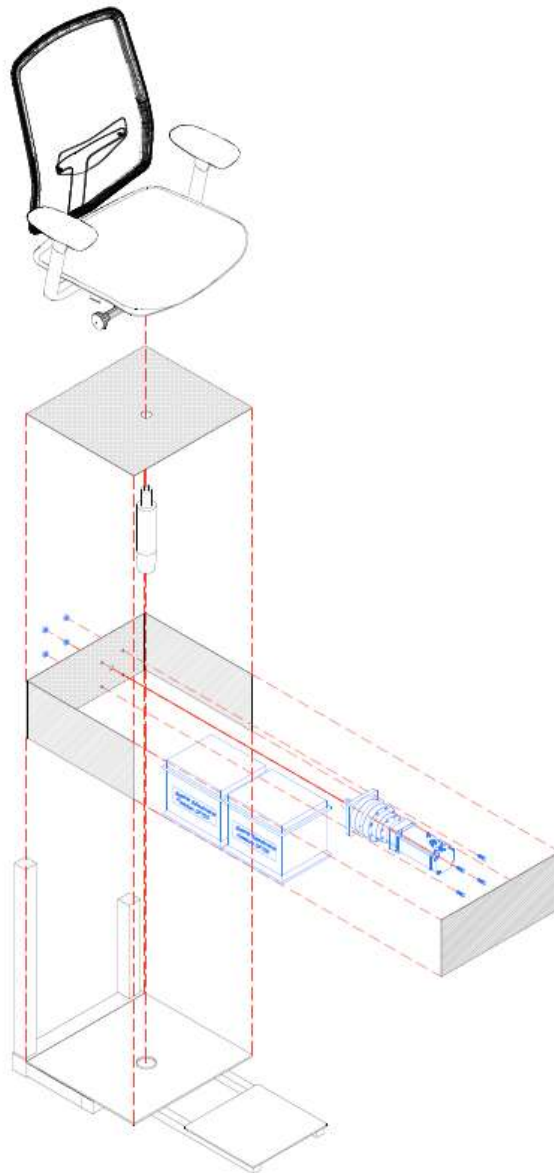


Figura 21 - Montagem final, com os componentes da cadeira elevatória integrados em conjunto

Fonte: De elaboração própria

6 ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA DA CADEIRA

Neste capítulo, serão abordados todos os aspectos relacionados à alimentação elétrica da cadeira elevatória, incluindo dimensionamento, seleção de modelos, lista de componentes, funcionamento e montagem. Toda a parte elétrica será projetada para suportar motores de corrente contínua (CC ou DC) com potência nominal de até 736 Watts (1 HP), operando com uma tensão de 24 Volts. Esta especificação garantirá que a cadeira elevatória ofereça o desempenho necessário, mantendo a eficiência e a segurança operacional.

6.1 SELEÇÃO DO MOTOR ELÉTRICO

Nesta seção, é especificada a opção de motor elétrico selecionado para o projeto. O motor deverá ser acoplado a um trem de engrenagens, o qual se encarregará de aumentar o torque e reduzir a velocidade angular, permitindo um controle mais preciso e eficaz do movimento da cadeira.

1) 1ª Opção:

- Modelo: Brushless DC - 24V - 750W (1 HP) – 12 rpm até 750 rpm
- Recursos extras: Freio de emergência e caixa de transmissão planetária
- Fabricante: DMKE Motor.
- Valor: R\$ 1702,00.
- Potência nominal: 736 Watts.
- Corrente: 40 A, corrente contínua.
- Tensão: 24 V.
- Peso: Não informado
- Garantia: 6 meses.

6.2 BANCO DE BATERIAS

Para garantir maior segurança e confiabilidade no fornecimento de energia, é essencial a aquisição de baterias estacionárias de marcas confiáveis, seguindo as especificações descritas.

Embora baterias automotivas possam atender às especificações, elas não são ideais para este projeto devido à sua menor vida útil e ao fato de serem projetadas para fornecer corrente alta por um curto período, como na partida de motores. O projeto visa criar cadeiras que, em situações extremas, podem operar até 6 horas contínuas diárias sem recarga, sem que ocorram falhas durante o período de garantia, que deve ser de pelo menos 24 meses.

As baterias automotivas são projetadas para manter-se sempre carregadas, com a função de recarga exercida pelo alternador dos veículos. Elas fornecem uma grande quantidade de corrente em um curto espaço de tempo, suficiente para dar partida no motor. Após o início do funcionamento do motor, o alternador mantém a bateria carregada.

Em contraste, as baterias estacionárias são projetadas para suportar ciclos de descargas profundos. Elas possuem placas de chumbo mais espessas e podem suportar maiores quantidades de ciclos de carga e descarga. Essas baterias podem sofrer até 80% de descarga sem comprometer sua vida útil e têm uma durabilidade muito maior.

Os cálculos para o dimensionamento da bateria são os seguintes:

$$\text{Corrente [A]} = \text{Potência [Watts]} / \text{Tensão [V]}$$

$$\text{Capacidade [Ah]} = \text{Corrente [A]} \times \text{Tempo de funcionamento sem carga [h]}$$

6.3 DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DOS BANCOS DE BATERIA

A alimentação do motor e do circuito será provida por duas baterias estacionárias conectadas em série, com uma tensão total de 24 Volts e uma capacidade de 180 Ah. Essas baterias fornecerão até 42 Amperes de corrente contínua. A capacidade da bateria é dimensionada para atender a diferentes requisitos, com valores mínimos de 42 Ah em C1¹¹, 84 Ah em C2¹², 126 Ah em C3¹³ ou 21 Ah em C0.5¹⁴, considerando uma autonomia mínima de 30 minutos de uso contínuo sem recarga.

Para o projeto, foram definidas três opções de banco de baterias. Recomenda-se a primeira opção para casos em que a cadeira elevatória será utilizada de forma ocasional, apresentando menor custo, tamanho e peso das baterias. Para situações de uso frequente ou intenso, são recomendadas as outras opções, que possuem maior capacidade, mas também são maiores, mais caras e pesadas. Para este projeto foi adotada a primeira opção de banco de baterias.

1) 1ª Opção de Banco de Baterias:

- Bateria estacionária DF700 12V da marca Freedom/Heliar¹⁵:
- Capacidade nominal de 21,5 Ah em C0.5.
- Autonomia mínima de 30 minutos.
- Cotada em R\$370,00 cada unidade no ano de 2024.
- Dimensões do item C x L x A: 210 x 175 x 175 milímetros.

¹¹ C1: Ciclo de descarregamento de 1 hora.

¹² C2: Ciclo de descarregamento de 2 horas.

¹³ C3: Ciclo de descarregamento de 3 horas.

¹⁴ C0.5: Ciclo de descarregamento de 30 minutos.

¹⁵ Fonte: <https://www.freedomestacionaria.com.br/>. Acesso em: 01/10/2023.

- Massa: 12,50 kg
- 24 meses de garantia.
- Vida útil projetada de 4 anos (a uma temperatura de 25°C e profundidade de descarga de 20%).

2) 2ª Opção de Banco de Baterias:

- Bateria estacionária DF3000 12V da marca Freedom/Heliar:
- Capacidade nominal de 123Ah em C3.
- Autonomia mínima de cerca de 3 horas.
- Cotada em R\$1030,00 cada unidade no ano de 2023.
- Dimensões do item C x L x A: 520 x 250 x 250 milímetros.
- Massa: 44 kg
- 24 meses de garantia.
- Vida útil projetada de 4 anos (a uma temperatura de 25°C e profundidade de descarga de 20%).

3) 3ª Opção de Banco de Baterias:

- Bateria estacionária modelo 12MF175 12V da marca Moura:
- Capacidade nominal de 125,2 Ah em C3.
- Autonomia mínima de cerca de 3 horas.
- Cotada em R\$1.625,00 cada unidade no ano de 2023.
- Dimensões do item C x L x A (Com polo): 517 x 272 x 246 milímetros.
- Dimensões do item C x L x A (Sem polo): 517 x 272 x 221 milímetros.
- Massa: 52,15 kg
- 24 meses de garantia.

6.4 FUSÍVEL

Para proteger os componentes elétricos em caso de sobrecarga, será utilizado um fusível do tipo ultrarrápido em série com as baterias, com o objetivo de interromper o circuito quando necessário. Os fusíveis são dispositivos de proteção de circuitos compostos por um fio que se funde quando a corrente ultrapassa o limite definido por um determinado tempo. Esse processo ocorre devido ao aquecimento do fio pelo efeito Joule, que supera a taxa de dissipação para o ambiente externo.

Os fusíveis devem ser capazes de suportar, sem fundir, o pico de corrente de partida (I_p) durante o tempo de partida do motor (T_p) e devem aguentar uma corrente até 20% superior à corrente nominal do motor em funcionamento. Com base no Gráfico 2, determina-se que um fusível de 25 A é apropriado para um tempo de interrupção de 1 segundo. Esta escolha considera que o motor possui um pico de corrente de partida de 35 A e um tempo de partida de 1 segundo.

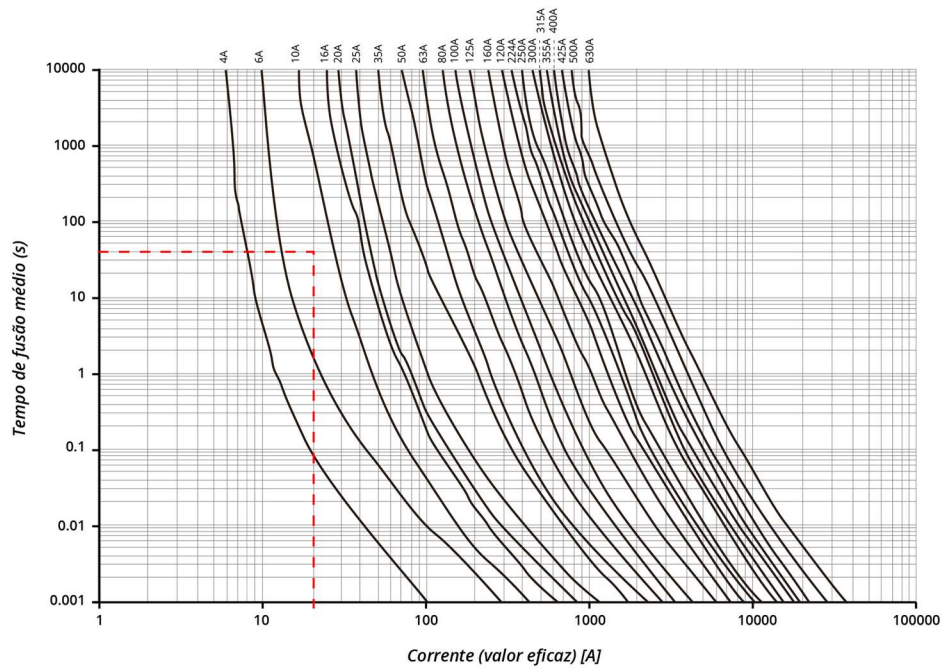


Gráfico 2 - Curvas de interrupções da corrente versus tempo
Fonte: Adaptado de WEG S.A. (2016)

6.5 COMUNICAÇÃO

O sistema de comunicação será composto por dois controles remotos, dois microcontroladores, dois suportes de pilha (para pilhas AA), um fusível e duas baterias.

Os controles remotos, fixados nas paredes dos andares superior e inferior, utilizarão duas placas de desenvolvimento ESP32-C6-DevKitM-1, fabricadas pela Espressif, equipadas com o microcontrolador ESP32-C6, também da mesma empresa.

Para o controle da cadeira elevatória, será empregada uma placa de desenvolvimento ESP32-C6-DevKitC-1, também produzida pela Espressif e equipada com o microcontrolador ESP32-C6. Esta placa será responsável pelo

acionamento de um MOSFET de Canal N, que permitirá a passagem de corrente elétrica para o motor. O MOSFET foi especificado para suportar uma potência mínima de 735,5 Watts, 24 Volts e 30,625 Amperes de corrente contínua.

O acionamento do circuito será realizado pela placa acoplada na cadeira, que se comunicará com as placas acopladas nos controles via protocolo Zigbee.

6.5.1 Especificações dos Componentes

Os microcontroladores ESP32-C6 foram escolhidos devido ao seu baixo custo, grande poder computacional, baixo consumo de energia e suporte à tecnologia Zigbee, que será utilizada para a comunicação sem fio entre as placas. Sua ampla aplicação em automação industrial e em casas inteligentes atesta sua confiabilidade, tornando improvável sua adoção em ambientes críticos caso apresentasse problemas. A seguir, estão as especificações detalhadas dos microcontroladores utilizados:

1) ESP32-C6-DevKitC-1:

- Wi-Fi 6 (Conformidade com o prot. IEEE 802.11ax)
- Bluetooth LE (Bluetooth 5.3 certified)
- Zigbee 3.0 e Thread 1.3 (Conformidade com o prot. IEEE 802.15.4-2015)
- MEMÓRIA ROM: 320 KB
- MEMÓRIA HP SRAM: 512 KB
- MEMÓRIA LP SRAM: 16 KB
- MEMÓRIA FLASH INTEGRADA: 8 MB
- Protocolos SPI suportados: SPI, SPI Duplo, SPI Quádruplo, interfaces QPI que permitem conexão flash
- Pico de consumo de energia: 316 mA
- Consumo de energia mínimo: 14 mA

2) ESP32-C6-DevKitM-1:

- Wi-Fi 6 (Conformidade com o prot. IEEE 802.11ax)
- Bluetooth LE (Bluetooth 5.3 certified)
- Zigbee 3.0 e Thread 1.3 (Conformidade com o prot. IEEE 802.15.4-2015)
- MEMÓRIA ROM: 320 KB
- MEMÓRIA HP SRAM: 512 KB
- MEMÓRIA LP SRAM: 16 KB
- MEMÓRIA FLASH INTEGRADA: 4 MB
- Protocolos SPI suportados: SPI, SPI Duplo, SPI Quádruplo, interfaces QPI que permitem conexão flash
- Pico de consumo de energia: 316 mA
- Consumo de energia mínimo: 14 mA

Para o acionamento do motor, será utilizado um MOSFET de potência de canal N, escolhido por seu baixo custo, alta durabilidade e eficiência energética. Ao contrário dos relês mecânicos convencionais, o MOSFET não possui partes móveis, possui um tempo de comutação menor e não gera ruído ao ligar e desligar o equipamento. A seguir, estão as características detalhadas do MOSFET utilizado:

3) MOSFET de potência de canal N IRLZ44N:

- Tensão Máxima entre Dreno e Fonte VDS: 55V
- Corrente Máxima do Dreno ID: 47A (TC=25°C, VGS=10V)
- Resistência entre Dreno e Fonte RDS(on): 0.022 Ohms (VGS=10V, ID=25A)
- Tensão Limiar do Gate VGS(th): 1V a 2V

6.6 ESQUEMÁTICO DO SISTEMA ELÉTRICO DA CADEIRA

Nesta seção, apresenta-se o esquema elétrico detalhado da cadeira elevatória. O esquema elétrico da cadeira, ilustrado na Figura 22, fornece uma visão geral da interconexão entre os principais componentes do sistema elétrico, incluindo baterias, fusíveis e o microcontrolador.

Além disso, são exibidos os layouts dos pinos das placas utilizadas para o controle e comunicação da cadeira. A Figura 23 mostra o layout dos pinos da placa ESP32-C6-DevKitM-1, detalhando as conexões disponíveis. A Figura 24 apresenta o layout dos pinos da placa ESP32-C6-DevKitC-1, que será responsável pelo acionamento do MOSFET e pela comunicação com os controles remotos.

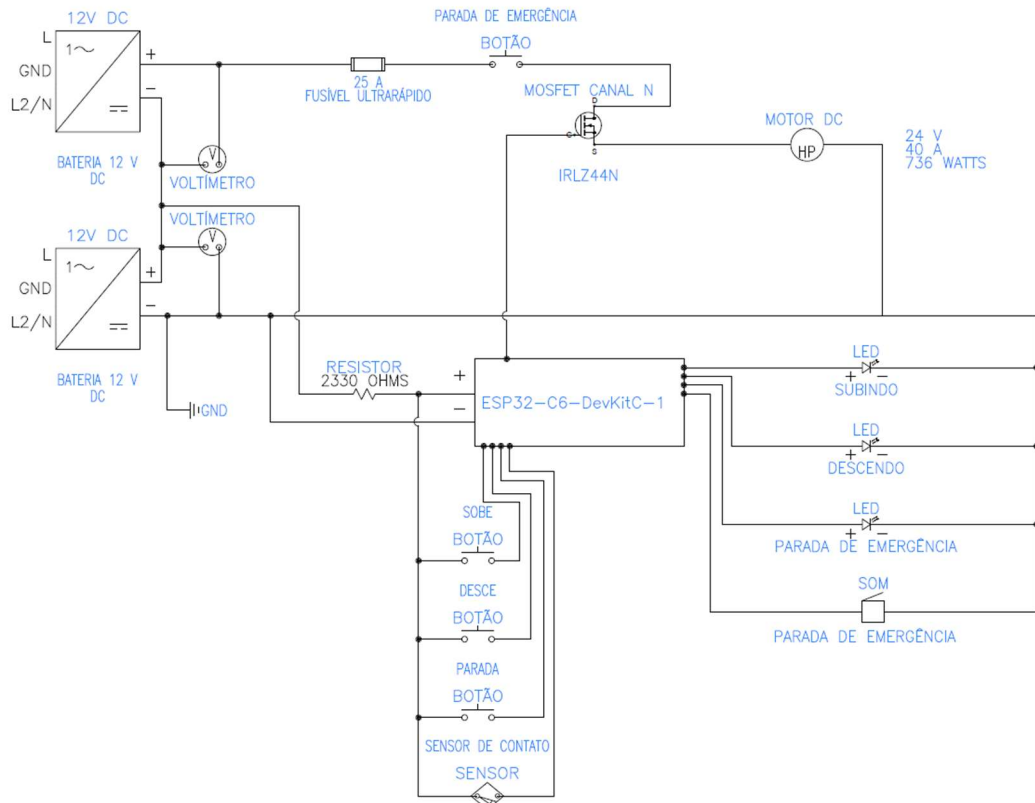
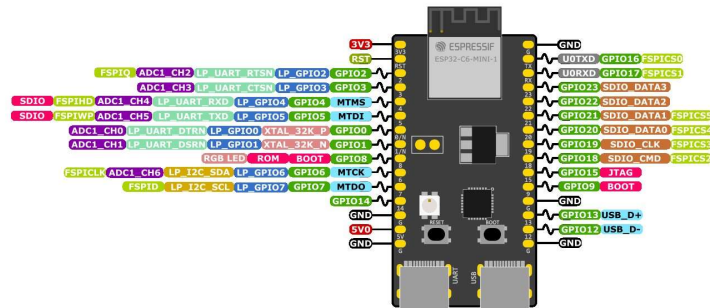


Figura 22 - Esquema elétrico da cadeira elevatória
 Fonte: De autoria própria

ESP32-C6-DevKitM-1



ESP32-C6 Specs
 32-bit RISC-V single-core @160 MHz
 Wi-Fi IEEE 802.11 ax 2.4 GHz + Bluetooth LE 5 + IEEE 802.15.4 (Zigbee and Thread)
 512 KB SRAM (21 KB for cache)
 320 KB ROM
 30 or 22 GPIOs, 3x SPI, 2x UART, 1x I2C, RMT
 LED PWM 6ch, 1x 12-bit ADC with 7ch, TWAI@
 USB Serial/JTAG, ETM, MCPWM, SDIO Slave



Figura 23 - Layout dos pinos da placa ESP32-C6-DevKitM-1

ESP32-C6-DevKitC-1

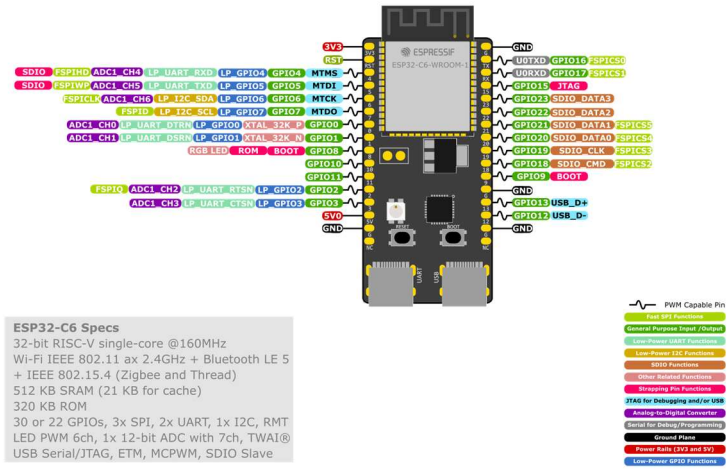


Figura 24 - Layout dos pinos da placa ESP32-C6-DevKitC-1

7 PINTURA E REVESTIMENTO

A pintura e o revestimento de uma cadeira elevatória para escadas desempenham papéis fundamentais que vão além da estética. Esses elementos são cruciais para a durabilidade, segurança e experiência do usuário. A escolha apropriada dos materiais e a aplicação correta das técnicas garantem que o equipamento se integre ao ambiente, resistindo às condições de uso e atendendo às normas técnicas.

A classificação de materiais como pintura ou revestimento pode variar dependendo do contexto e da finalidade de aplicação. De maneira geral, quando um material é aplicado principalmente para fins estéticos e como uma camada protetora adicional, é considerado uma pintura. No entanto, quando o material é utilizado para conferir propriedades específicas de proteção, como resistência química, mecânica e à abrasão, é classificado como revestimento.

A pintura é aplicada diretamente sobre a superfície do material para protegê-lo da corrosão, criando uma barreira contra umidade e agentes atmosféricos. Além de fornecer proteção, a pintura também confere um acabamento estético ao equipamento. Ela atua como uma camada superficial que melhora a aparência e protege contra fatores ambientais. Tintas e vernizes são exemplos de pinturas que oferecem uma proteção básica e realçam a estética dos materiais.

Em contraste, o revestimento pode ser aplicado tanto sobre a pintura quanto diretamente sobre o material base. Seu objetivo principal é proteger contra impactos e outros fatores externos, além de melhorar as propriedades físicas do material ou adicionar características estéticas. Revestimentos podem ser metálicos, cerâmicos ou poliméricos, entre outros. Eles garantem

propriedades específicas, como resistência a produtos químicos e abrasão, sendo amplamente utilizados em contextos industriais e técnicos para assegurar a durabilidade e eficiência dos materiais em condições exigentes.

Para o projeto, optou-se pelo aço ASTM A-36 para a estrutura da cadeira elevatória. Este tipo de aço carbono de baixa liga é amplamente utilizado em construções metálicas devido à sua resistência e facilidade de processamento. No entanto, é vulnerável à corrosão, especialmente em ambientes úmidos ou agressivos. Portanto, a pintura aplicada ao aço deve atender a requisitos específicos para garantir sua durabilidade e proteção. Esses requisitos são detalhados a seguir:

- Adesão: Deve aderir firmemente à superfície do aço para garantir uma proteção contínua;
- Resistência à Corrosão: A tinta escolhida deve ter alta resistência à corrosão, especialmente em áreas sujeitas à umidade e condensação;
- Flexibilidade: A pintura deve ser flexível para acomodar deformações da estrutura durante o uso da cadeira elevatória;
- Resistência à Abrasão: Deve ser resistente à abrasão, especialmente em áreas de contato com outras superfícies;
- Resistência aos Raios UV: Para ambientes externos, a pintura deve resistir aos raios ultravioletas para evitar desbotamento e degradação da cor.

7.1 TIPOS DE PINTURA E REVESTIMENTO

Considerando o custo-benefício e atender às necessidades de uso da cadeira elevatória, conforme o objetivo do projeto, foram pré-selecionadas três opções de tintas: epóxi, poliuretana e em pó (eletrostática). Cada uma dessas

tintas oferece vantagens distintas, a seguir, serão apresentadas as características de cada uma dessas tintas.

1) Tintas Epóxi

- Características: Alta resistência à corrosão, produtos químicos e abrasão. Excelente adesão ao aço.
- Preparo: Requer preparo cuidadoso da superfície, incluindo jateamento abrasivo.
- Aplicação: Pode ser aplicada a pincel, rolo ou pistola.
- Demãos: Geralmente 2 a 3 demãos são necessárias para uma cobertura adequada.
- Custo: Médio, variando conforme marca e tipo.
- Tempo de Secagem: Relativamente longo, de 6 a 24 horas.
- Manutenção: Baixa, geralmente apenas limpeza e reparos periódicos.

2) Tintas Poliuretânicas

- Características: Alta resistência à abrasão, raios UV e impactos. Excelente flexibilidade.
- Preparo: Similar ao epóxi, com jateamento abrasivo.
- Aplicação: Geralmente aplicada a pistola, mas pode ser aplicada a pincel ou rolo.
- Demãos: Duas ou mais demãos necessárias.
- Custo: Mais elevado em comparação com a epóxi.
- Tempo de Secagem: Mais rápido que a epóxi, geralmente de 4 a 8 horas.
- Manutenção: Baixa, similar à epóxi.

3) Tintas em Pó (Eletrostática)

- Características: Alta resistência à corrosão, abrasão e produtos químicos. Excelente acabamento.
- Preparo: Superfície deve estar limpa e livre de contaminantes, preferencialmente tratada requer jateamento abrasivo.
- Aplicação: Aplicação por pulverização eletrostática seguida de cura em forno.
- Demãos: Geralmente uma única demão é suficiente.
- Custo: Mais elevado inicialmente devido ao equipamento necessário, mas com alta durabilidade e menor custo de manutenção a longo prazo.
- Tempo de Secagem: Cura em forno a alta temperatura, garantindo secagem rápida e uniforme.
- Manutenção: Baixa, geralmente apenas limpeza periódica.

A Tabela 20 resume e compara as informações mais relevantes sobre as diferentes tintas.

Tabela 20 – Comparação das características das tintas

Característica	Epóxi	Poliuretânica	Em Pó
Resistência à Corrosão	Alta	Alta	Muito Alta
Resistência à Abrasão	Alta	Alta	Muito Alta
Flexibilidade	Boa	Muito Boa	Boa
Resistência UV	Boa	Muito Boa	Muito Boa
Custo	Médio	Alto	Alto
Aplicação	Pincel, rolo, pistola	Pincel, rolo, pistola	Eletrostática
Demãos	2+	2+	1
Tempo de Secagem	Médio	Rápido	Rápido (cura em forno)
Manutenção	Baixa	Baixa	Baixa

Fonte: De elaboração própria

7.2 SELEÇÃO E APLICAÇÃO DE PINTURA E REVESTIMENTO

Para a pintura da estrutura de aço da cadeira elevatória, foi escolhida a tinta epóxi devido ao seu excelente custo-benefício, facilidade de aplicação e ampla disponibilidade no mercado. A tinta epóxi é conhecida por sua durabilidade e resistência, tornando-a uma solução eficaz para proteger a estrutura da cadeira. No entanto, é importante considerar algumas desvantagens associadas ao uso de tintas epóxi, como a toxicidade durante a aplicação, que requer ventilação adequada e o uso de equipamentos de proteção individual (EPI).

Antes de pintar a superfície desejada, é necessário fazer uma avaliação do local para evitar manchas e desperdício de material. Para prevenir borrões, utilize jornais ou materiais plásticos para proteger as superfícies próximas. Além disso, é crucial verificar a condição da superfície. Se não houver presença de ferrugem, uma simples preparação do material é suficiente para aplicar a tinta seguindo as orientações do fabricante. Em muitos casos, antes de aplicar a tinta epóxi, é necessário utilizar um primer. O primer ajuda a melhorar a aderência da tinta e proporciona uma camada adicional de proteção contra corrosão. No entanto, a eficácia do primer pode ser reduzida se a superfície não for devidamente preparada, como mencionado anteriormente.

A preparação adequada da superfície e a aplicação cuidadosa são essenciais para garantir a integridade e longevidade da pintura.

A quantidade de tinta necessária para duas demãos pode ser calculada de forma simplificada pela fórmula:

$$\text{Quantidade de tinta (L)} = 2 \times \left(\frac{\text{Área a ser pintada (m}^2\text{)}}{\text{Rendimento da tinta (m}^2\text{/L)}} \right)$$

O rendimento médio da tinta epóxi varia de 8 a 12 m² por litro, com o preço médio por litro variando entre R\$ 160 e R\$ 230, dependendo do fabricante.

Para assegurar a aderência e durabilidade da pintura, a superfície deve ser preparada conforme os seguintes passos:

- Limpeza: Remoção de óleos, graxas e sujeira.
- Desengraxamento: Remoção de resíduos oleosos.
- Escareamento: Remoção de rebarbas e arestas vivas.
- Jateamento Abrasivo: Remoção de ferrugem e óxidos, criando uma superfície rugosa para melhorar a aderência.

O jateamento abrasivo pode representar um custo adicional significativo. Os preços para esse serviço variam dependendo da região, do tipo de material abrasivo utilizado e da complexidade do trabalho. Alugar ou adquirir equipamentos de jateamento pode custar entre R\$ 500 e R\$ 5.000, dependendo das especificações e condições de serviço. Além disso, o custo do material abrasivo, que pode variar de R\$ 50 a R\$ 200 por saco, também deve ser considerado.

Caso a superfície não esteja severamente contaminada e não exija remoção de ferrugem ou incrustações, é possível considerar a aplicação de um primer após uma limpeza básica, como lavagem ou escovação, em vez de realizar o jato abrasivo. No entanto, é importante observar que a eficácia do primer pode ser comprometida em comparação com a preparação completa proporcionada pelo jateamento. A aderência e a durabilidade da pintura podem não ser tão eficazes quando o primer é aplicado sobre uma superfície inadequadamente preparada.

Em muitos casos, a combinação de jateamento abrasivo e o uso de primer é a abordagem recomendada para garantir a melhor aderência e proteção possíveis. O jateamento cria uma superfície rugosa que promove uma melhor aderência do primer e da tinta, enquanto o primer proporciona uma camada

adicional de proteção e uniformidade, assegurando que a pintura tenha uma vida útil mais longa e uma aparência mais consistente.

8 ESPECIFICAÇÕES DO ACOLCHOAMENTO DO BANCO, APOIO DE COSTAS E APOIO DE CABEÇA

Para as partes da cadeira que serão estofadas, é essencial selecionar a densidade adequada da espuma de acordo com o biotipo dos usuários, a fim de evitar que o estofamento se torne desnivelado com o tempo ou que ocorram afundamentos nas áreas de maior concentração de peso. Dessa forma, para garantir um projeto ergonômico, deve-se realizar um levantamento dos biotipos dos usuários e escolher a densidade de espuma apropriada.

Espumas de baixa densidade podem oferecer maior conforto para pessoas mais leves, mas podem se deformar com o uso por indivíduos mais pesados ou altos. Por outro lado, espumas de alta densidade são recomendadas para pessoas mais altas ou pesadas, porém podem ser excessivamente firmes e desconfortáveis para usuários mais leves, o que pode comprometer a satisfação geral. Para encontrar um equilíbrio, é necessário analisar o perfil dos usuários e selecionar uma densidade que atenda adequadamente à maioria dos casos.

Em ambientes onde a variedade de usuários é grande, recomenda-se utilizar a densidade de espuma mais alta possível para prolongar a durabilidade do estofado. Embora isso possa tornar o produto menos confortável para alguns, não será um problema significativo, já que a maioria utilizará o elevador apenas ocasionalmente.

Portanto, para locais com alta diversidade de usuários, será utilizada espuma com densidade D45. Em situações em que o elevador será usado por um número reduzido de pessoas, a escolha da densidade deve ser orientada tabela

de biotipo do INER¹⁶ para a média dos indivíduos, presente na Figura 25, priorizando o usuário que requer maior densidade de espuma se houver grande divergência entre os biotipos.

Altura (m) Peso (kg)	Altura (m)					
	Até 1,50	1,51 a 1,60	1,61 a 1,70	1,71 a 1,80	1,81 a 1,90	Acima de 1,91
Até 50	D23	D23*/20	D23/20*	D20	-	-
51 a 60	D26	D26*/23	D26/23	D23	-	-
61 a 70	D28	D26/28*	D26/28*	D26/28*	D26	-
71 a 80	-	D33	D28/33*	D28/33*	D28	-
81 a 90	-	-	D33	D33*/28	D33*/28	D28
91 a 100	-	-	D40	D40/33*	D33	D33
101 a 120	-	-	D45	D40	D40	D40/33*
121 a 150	-	-	-	D45	D45/40*	D40

1 - *Preferencialmente. 2 - Para casais: A) De acordo com o cônjuge que requeira maior densidade; B) Encomendar colchão composto (duas densidades). 3 - D18 indicado para recém-nascidos e crianças até 3 anos.

Figura 25 – Tabela de seleção de espuma de acordo com biotipo

Fonte: INER

¹⁶ INER: Instituto Nacional de Estudos do Reposo

9 SISTEMAS DE SEGURANÇA

Este capítulo detalha os aspectos de segurança incorporados ao design da cadeira elevatória, incluindo as normas aplicáveis, dispositivos de proteção e soluções adotadas para garantir a segurança do usuário durante a operação.

9.1 DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA

Barras de segurança:

Em plataformas de elevação, as barras ou braços de segurança são recomendados para proteger os usuários, conforme as normas NBR 9386-2 e NBR 15655. Esses dispositivos são obrigatórios quando:

- O usuário permanece em pé durante o movimento da plataforma;
- A plataforma transporta cadeiras de rodas juntamente com o cadeirante.

Para a cadeira elevatória deste projeto, onde o usuário está sentado, o uso de barras ou braços de segurança é facultativo. Optou-se por não incluí-los, pois a estrutura da cadeira já oferece suporte adequado para a segurança do usuário.

Cinto de segurança:

O motor selecionado possui um freio de emergência embutido, oferecendo uma camada adicional de segurança em caso de falha mecânica ou interrupção de energia. O freio é do tipo eletromagnético passivo, ativado automaticamente na ausência de energia elétrica, necessitando de alimentação para se desengatar da cremalheira e permitir o movimento da cadeira. Durante o funcionamento normal, o freio permanece desativado. Em caso de falha, como queda de energia,

o freio é ativado por um mecanismo eletromagnético, que pressiona discos de frenagem contra o eixo do motor, parando a cadeira de forma controlada e segura.

Freio de emergência acoplado ao motor:

O motor selecionado para o projeto conta com um freio de emergência embutido, proporcionando uma camada adicional de segurança ao usuário em caso de falha mecânica ou interrupção do fornecimento de energia. O freio de emergência é do tipo eletromagnético passivo, o que significa que ele é ativado automaticamente na ausência de energia elétrica, necessitando de alimentação elétrica para se desengatar da cremalheira e permitir o movimento da cadeira.

Durante o funcionamento normal, o freio eletromagnético permanece desativado enquanto há fornecimento de energia. No entanto, em situações de falha, como a queda de energia ou uma avaria no motor, o freio é ativado por meio do mecanismo eletromagnético, que pressiona discos de frenagem contra o eixo do motor. Este mecanismo utiliza o atrito para imobilizar a cadeira de maneira controlada, evitando descidas bruscas e garantindo a segurança do usuário.

Sensor de contato no apoio de pés:

O apoio de pés inferior é equipado com um sensor de contato que detecta obstruções entre o apoio e a escada. Ao identificar um objeto ou parte do corpo em risco, o sensor envia um sinal ao microcontrolador central da cadeira, que desativa o motor e para o deslocamento da cadeira, evitando esmagamentos e garantindo a segurança do usuário.

Botão de parada de emergência:

A cadeira projetada possui um botão de parada de emergência conectado em série com o circuito de alimentação do motor. Este botão interrompe diretamente a alimentação do motor, sem enviar comandos ao microcontrolador central. Em caso de pane no microcontrolador, o botão de parada de emergência garante a parada imediata da cadeira, prevenindo falhas e aumentando a segurança do usuário.

Programação de segurança:

A programação do microcontrolador da cadeira elevatória deve incluir diversas funcionalidades que aprimoram a segurança da cadeira:

- **Monitoramento da Bateria:** O microcontrolador recebe sinais dos voltímetros em série com as baterias em tempo real e pode desativar o acionamento da cadeira quando a carga está baixa, prevenindo a parada da cadeira por falta de energia no trajeto.
- **Parada de Emergência via Sensor de Contato:** O sensor de contato no apoio de pés detecta obstruções e desativa o motor, parando a cadeira para evitar esmagamentos.
- **Acionamento dos LEDs Indicadores:** LEDs fornecem feedback visual sobre o status da cadeira, como indicativo de cadeira subindo, descendo, parada, em parada de emergência ou com baixa bateria.
- **Buzzer de Parada de Emergência:** Um buzzer emite um sinal sonoro quando a cadeira estiver em parada de emergência, alertando o usuário.
- **Armazenamento de Códigos de Erro:** O microcontrolador registra e armazena códigos de erro do motor e de outros componentes em sua memória interna. Esse recurso facilita o diagnóstico de falhas, permitindo

uma análise eficiente dos problemas. Além disso, a integração com um aplicativo para smartphones possibilita a visualização e o gerenciamento dos códigos de erro de forma prática e acessível.

- Parada Acionada via Controle Remoto: O controle remoto permite parar a cadeira à distância, oferecendo um meio adicional de interrupção em situações emergenciais.
- Outras Funções de Segurança: A cadeira pode opcionalmente incluir acelerômetros, temporizadores e sensores de temperatura para aprimorar a segurança, monitorando movimentos, tempo de operação e condições térmicas dos componentes.

9.2 PROCEDIMENTOS EM CASO DE FALTA DE ENERGIA

Para garantir a segurança do usuário durante interrupções no fornecimento de energia elétrica, a cadeira elevatória projetada utiliza baterias com grande autonomia, permitindo o uso contínuo mesmo com interrupção do fornecimento de energia elétrica pela Concessionária.

Se a energia não for restaurada rapidamente ou o uso for intenso, a bateria pode se esgotar. Para evitar que isso aconteça durante o trajeto e o usuário fique preso, o microcontrolador central da cadeira é programado para monitorar constantemente a carga da bateria. Quando a carga da bateria cai abaixo de 10%, o microcontrolador impede o movimento da cadeira fora dos pontos de carregamento superior e inferior da escada. Isso garante que a cadeira permaneça em áreas seguras para recarregar a bateria, evitando que o usuário fique em um local inadequado ou potencialmente perigoso.

Essa função de segurança assegura que a cadeira opere de forma confiável e segura, mesmo com a bateria em baixa carga. Importante destacar que a alimentação elétrica do motor provém exclusivamente das baterias, que são recarregadas nos pontos de carregamento localizados na parte superior e inferior da escada. Esse sistema garante maior confiabilidade e segurança ao equipamento e usuário, minimizando o risco de falhas associadas a mau contato e desgasta da fiação elétrica durante a movimentação da cadeira.

10 ORÇAMENTO DA CADEIRA ELEVATÓRIA

Este capítulo detalha o orçamento da cadeira elevatória sobre escadas, abordando os principais componentes e materiais necessários para a construção do equipamento. O objetivo é fornecer uma visão abrangente dos custos envolvidos, garantindo a escolha de materiais que atendam às especificações técnicas e normas de segurança.

1) Vigas metálicas da plataforma:

- Comprimento total de vigas 50x50x5: 422 mm;
- Comprimento total de vigas 40x40x3,75: 1140 mm;
- Comprimento total de vigas 25x25x2: 486 mm;
- Fornecedor: Gravia;
- Valor total: R\$ 103,00;

2) Viga metálica do trilho superior:

- Comprimento: 6 metros;
- Fornecedor: Gravia;
- Valor: R\$ 201,00;

3) Viga metálica do trilho inferior:

- Comprimento: 6 metros;
- Fornecedor: Gravia;
- Valor: R\$ 208,68;

4) Chapas de aço SAE 1020 para isolamento do chassi da cadeira:

- Área: 296 170 mm² de chapa;
- Chapa de 1 m² com 1mm de espessura;
- Fornecedor: AÇOTel;
- Valor: R\$ 115,00;

5) Chapas de aço SAE 1020 para isolamento do chassi da cadeira:

- Área: 73 675 mm² de chapa;
- Chapa de 1 m² com 5mm de espessura;
- Fornecedor: AÇOTel;
- Valor: R\$ 330,00;

6) Chapas de aço SAE 1020 para apoio de pés:

- Área: 66 250 mm² de chapa;
- Chapa de 1 m² com 3mm de espessura;
- Fornecedor: AÇOTel;
- Valor: R\$ 343,50;

7) Cremalheira:

- Módulo 4;
- Material: Aço 1045;
- Comprimento: 6 m;
- Fornecedor: A. T. I. Brasil;
- Valor: R\$ 2.202,00;

8) Pinhão cilíndrico de dentes retos:

- Pinhão Z19
- Módulo 4;
- Fornecedor: A.T.I. Brasil;
- Valor: R\$ 156,27;

9) Motor elétrico:

- Modelo: Brushless DC - 24V - 750W (1 HP) – 12 rpm até 750 rpm;
- Fabricante: DMKE Motor;
- Potência Nominal: 750 Watts;
- Tensão: 24 Volts;

- O motor escolhido é equipado com uma caixa de engrenagens;
- Valor: R\$ 3.580,62¹⁷ ou US\$ 647,28;

10) Micro controladores ESP:

- 1 unidade: ESP32-C6-DevKitC-;
- 2 unidades: ESP32-C6-DevKitM-1;
- Fornecedor: Espressif;
- Valor total: R\$ 163,00 (incluindo taxas de importação);

11) Banco de baterias estacionárias:

- Modelo: DF700 12V;
- Fabricante: Freedom/Heliar;
- 2 unidades;
- Valor total: R\$ 740,00;

12) MOSFET, fonte, fusíveis, conectores e fiação elétrica:

- Valor total: R\$ 50,00 (aproximadamente);

13) Rodas de fixação no trilho:

- Especificação: Rodas de nylon com engaste U;
- Dimensões: 8x40x20mm;
- Fabricante: LYJEE;
- Valor: R\$ 110,00 ou \$ 19,96;

14) Chumbadores de expansão M14 x 120mm:

- Quantidade: 28 unidades;
- Valor total: R\$ 855,26;

15) Conjunto cadeira e pistão:

¹⁷Considera-se a cotação do dólar em 27/06/2024, sendo 1 USD equivalente a 5,53 BRL. O valor do motor mencionado não inclui custos adicionais de frete nem impostos de importação.

- Pistão com certificação BIFMA;
- Cadeira com certificação SGS e NR1;
- Fabricante: Comfy;
- Valor: R\$ 483,91;

16)Cinto de Segurança: Para garantir a proteção adequada do usuário durante a movimentação da cadeira elevatória, será utilizado um cinto abdominal de 2 pontos com retrator, em conformidade com a norma NBR 15655-1.

- Modelo: Cinto abdominal de 2 pontos com retrator;
- Fabricante: Dialp;
- Valor: R\$: 30,99;

17)Mão de obra:

- Serviços contratados: 1 diária de soldador e 1 diária de montador;
- Valor: R\$ 700,00 (aproximadamente).

10.1 VALOR FINAL

O custo final de produção e montagem da cadeira elevatória é aproximadamente R\$ 10.373,00, considerando os custos de materiais, equipamentos e mão de obra. Este valor não inclui o custo do frete dos fornecedores. Os orçamentos foram obtidos por meio de lojas virtuais e contato direto com fabricantes. É importante notar que o custo final pode ser reduzido para encomendas de maior quantidade.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma cadeira elevatória para escadas retas, com o objetivo de proporcionar maior independência e qualidade de vida para pessoas com mobilidade reduzida em residências de múltiplos andares. A solução proposta destaca-se pela acessibilidade financeira e pela integração com a estrutura existente.

O custo final de produção e montagem da cadeira elevatória projetada é de aproximadamente R\$ 10.373,00. Comparado ao custo médio de mercado de cadeiras elevatórias semelhantes, que é de R\$ 40.000,00, o custo do projeto representa uma economia significativa. Esse valor reduzido não só demonstra a eficiência do projeto, mas também proporciona uma oportunidade para tornar a cadeira elevatória mais acessível a um público mais amplo.

Embora o objetivo principal deste trabalho tenha sido alcançado, ainda existem diversas oportunidades de aprimoramento no projeto. Uma sugestão para trabalhos futuros é a prototipagem e testagem no mundo real, com o objetivo de obter *feedback* dos usuários e refinar o produto final. Além disso, a substituição dos dois pontos de apoio inferiores por um único ponto centralizado pode reduzir custos e otimizar o espaço, embora a escolha por dois pontos tenha sido motivada pela simplicidade no cálculo dos esforços e pela robustez. A melhoria da qualidade estética, especialmente dos apoios de pés, também é um ponto relevante a ser explorado.

Outra possível evolução seria adaptar o sistema de fixação para permitir a movimentação em trilhos curvos, incluindo o dimensionamento de UTCCs para diferentes ângulos e tamanhos. Essas sugestões visam aprimorar o desempenho,

a estética e a versatilidade da cadeira elevatória, contribuindo para o desenvolvimento contínuo de soluções mais eficazes e inovadoras.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9077**: Saídas de emergência em edifícios. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 9386-1**: Plataformas de elevação motorizadas para pessoas com mobilidade reduzida – Requisitos para segurança, dimensões e operação funcional. Parte 1: Plataformas de elevação vertical. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 9386-2**: Plataformas de elevação motorizadas para pessoas com mobilidade reduzida – Requisitos para segurança, dimensões e operação funcional. Parte 2: Elevadores de escadaria para usuários sentados, em pé e em cadeira de rodas, deslocando-se em um plano inclinado. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8400-1**: Equipamentos de elevação e movimentação de carga – Regras para projeto. Parte 1: Classificação e cargas sobre as estruturas e mecanismos. Rio de Janeiro, 2019

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15655-1**: Plataformas de elevação motorizada para pessoas com mobilidade reduzida – Requisitos para segurança, dimensões e operação funcional. Parte 1: Plataformas de elevação vertical. Rio de Janeiro, 2009

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION – AISC. **AISC 360**: Specification for Structural Steel Buildings. Chicago, 2016.

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Projeto de Elementos de Máquinas de Shigley**. 9. Ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2016. 1120 p.

ELLEVA ACESSIBILIDADE. Elleva: Equipamentos de acessibilidade e cadeiras sobre escadas. Página Inicial. Disponível em: <<https://www.ellevabr.com/>>. Acesso em: 28 de jun. de 2023.

GARAVENTA LIFT. Garaventa Lift. Página Inicial. Disponível em: <<https://www.garaventalift.com/>>. Acesso em: 28 de jun. de 2023.

STANNAH STAIRLIFT. Stannah Brasil: Especialistas em Mobilidade. Página Inicial. Disponível em: <<https://www.stannah.com.br/>>. Acesso em: 28 de jun. de 2023.

YOUNG, W. C.; BUDYNAS, R. L. **Roark's Formulas for Stress and Strain**. 8. ed. New York: McGraw-Hill, 2012.

APÊNDICE A – Análise Estática da Base da Plataforma

Vão central do apoio dos pés (1):

Para determinar o perfil apropriado a ser utilizado será considerado inicialmente apenas a carga de serviço e os casos mais desfavoráveis. Está sendo projetado um apoio que aguente até 50% da carga, ou seja 75kg, e o caso mais desfavorável foi a força concentrada no centro da barra. A Figura 26 ilustra o arranjo da estrutura:

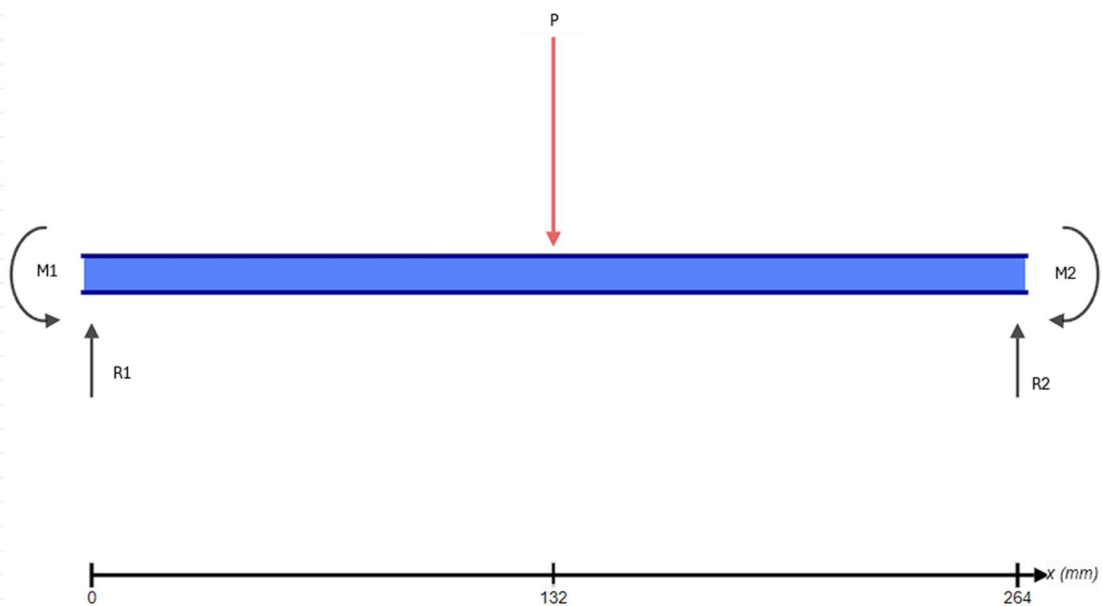


Figura 26 - Diagrama de corpo livre
Fonte: Skyciv

$$m \times g \times \psi = P$$

$$P = 75 \times 9,81 \times 1,1 = 809,32 \text{ N}$$

Este caso representa um tubo hiperestática onde será necessário usar as Tabelas 44, 45 e 46 dos métodos dos deslocamentos, que se encontra no Anexo E, para determinar os esforços solicitados pela barra.

Esforços solicitantes:

$$R_1 = R_2 = \frac{P}{2} = 404,66 \text{ N}$$

$$M_1 = M_2 = \frac{P \times L}{8} = 26,70 \text{ Nm}$$

Momento máximo:

$$M_{m\acute{a}x} = 26,70 \text{ Nm}$$

Cortante máxima em módulo:

$$V_{m\acute{a}x} = 404,66 \text{ N}$$

Barra lateral do apoio dos pés (2):

Admitindo que toda a carga de serviço disposta no apoio, 75 kg, seja aplicada exclusivamente em um braço do apoio, conforme ilustrado na Figura 27 abaixo.

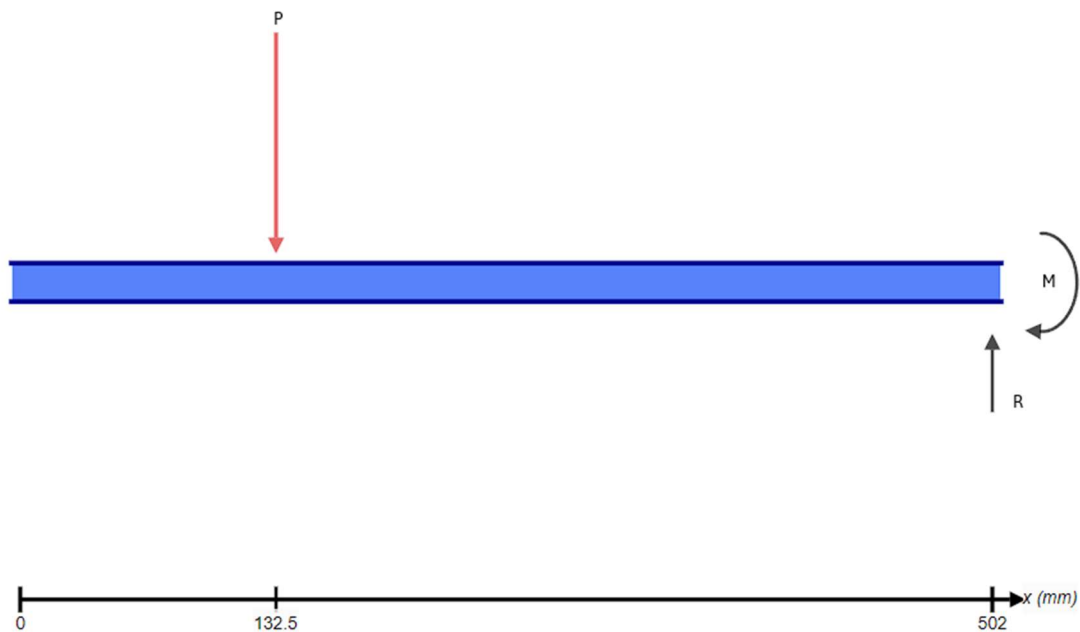


Figura 27: diagrama de corpo livre da barra lateral do apoio dos pés (2).

Fonte: Skyciv

Esforços solicitantes:

Como existe apenas um ponto de apoio as reações do engaste terá valor absoluto iguais a da cortante e do momento fletor.

$$\sum fy = 0$$

$$R - P = 0$$

$$R = P = V_{m\acute{a}x} = 809,32 \text{ N}$$

$$\sum Mz = 0$$

$$P \times 0,369 - M = 0$$

$$M = M_{m\acute{a}x} = 299,04 \text{ Nm}$$

Barra do v\~ao central (3):

A resolu\~ao desta se\~cao seguir\~a o mesmo procedimento aplicado no primeiro caso hiperest\~atico, utilizando as equa\~oes apresentadas no Anexo E. O momento gerado na cadeira ser\~a equivalente ao torque aplicado na barra. As Figuras 28 e 29 representam a indica\~ao dos esfor\~os na cadeira.

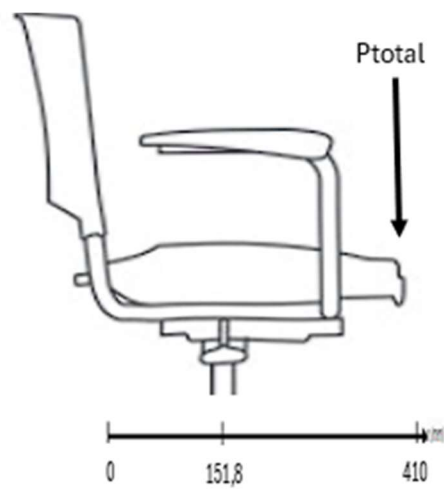


Figura 28: Esfor\~os na cadeira.
Fonte: Zornimat

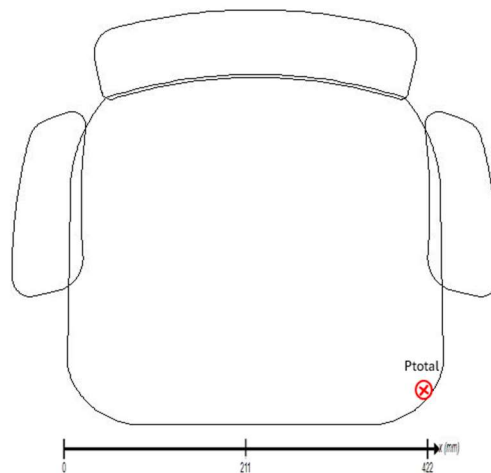


Figura 29: Esforços na cadeira outra vista.
Fonte: Zornimat

- 1) Considera-se que a carga de serviço incidirá integralmente sobre a cadeira, somada ao peso da própria cadeira, que é de 15 kg.

$$P = P_{total} + 15 \times 9,81$$

$$\sum fy = 0$$

$$R - P = 0$$

$$R = P = V_{m\acute{a}x} = 1765,79 \text{ N}$$

Momento causado pela figura 1 (que segue como momento):

$$\sum Mz = 0$$

$$P_{total} \times (0,41 - 0,151) - M = 0$$

$$M = M_{m\acute{a}x} = 419,23 \text{ Nm}$$

Momento causado pela figura 2 (que vai virar torque):

$$\sum Mz = 0$$

$$P \times (0,422 - 0,211) - M = 0$$

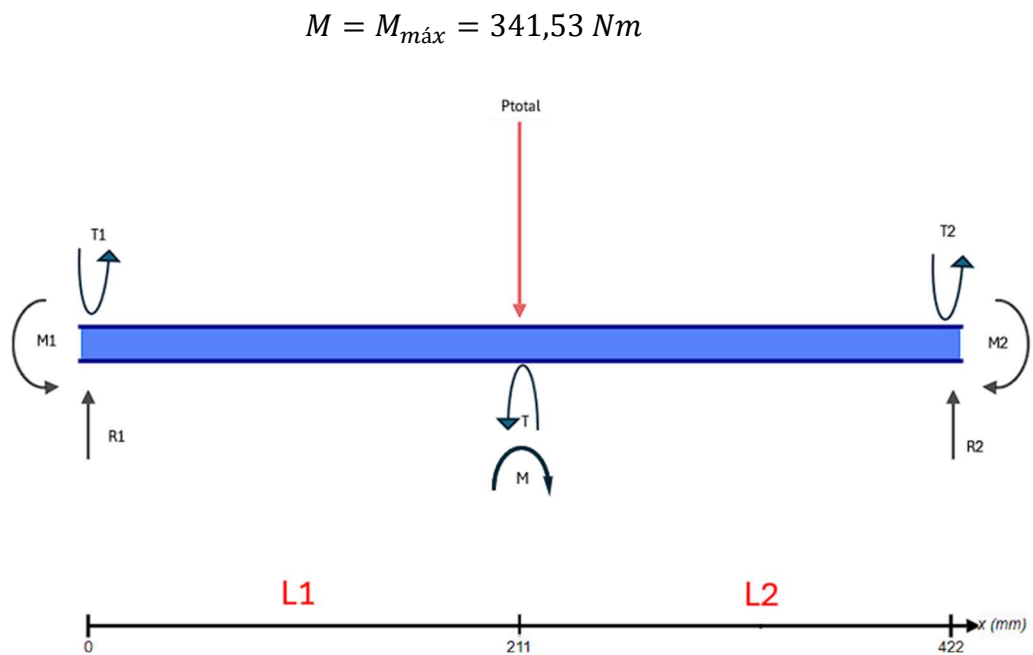


Figura 30 - Diagrama de corpo livre da barra do vão central (3)

Fonte: Skyciv

$$L_1 = L_2$$

Esforços solicitantes:

$$R_1 = R_2 = \frac{P}{2} + \frac{6 \times M \times L_1^2}{L^3} = 2096,86 \text{ N}$$

$$M_1 = M_2 = \frac{P \times L}{8} + \frac{M \times L_1^2}{L^2} = 295,47 \text{ Nm}$$

Momento máximo:

$$M_{m\acute{a}x} = 295,47 \text{ Nm}$$

Cortante máxima em módulo:

$$V_{m\acute{a}x} = 2096,86 \text{ N}$$

Determinando torque nos apoios pelo ângulo de torção

$$\phi_1 = \phi_2$$

$$\frac{T_1 \times L_1}{J \times G} = \frac{T_2 \times L_2}{J \times G}$$

$$T_1 \times L_1 = T_2 \times L_2$$

$$T_1 = \frac{T_2 \times L_2}{L_1}$$

$$T_1 = T_2 = 209,61 \text{ Nm}$$

- 2) O usuário utiliza integralmente o limite de carga do apoio, ou seja, 50% da carga total, o que gera um torque sobre a barra. A carga restante é aplicada na extremidade da cadeira, além do peso da própria cadeira, os cálculos estão utilizando as tabelas do Anexo E.

Cadeira:

$$P = P_{50\%} + 15 \times 9,81 = 956,47$$

$$\sum fy = 0$$

$$R - P = 0$$

$$R = P = V_{m\acute{a}x} = 956,47 \text{ N}$$

Momento causado pela figura 1 (continua como momento pela plataforma):

$$\sum M_z = 0$$

$$P \times (0,41 - 0,151) - M = 0$$

$$M = M_{m\acute{a}x} = 247,72 \text{ Nm}$$

Momento causado pela figura 2 (continua como torque pela plataforma):

$$\sum M_z = 0$$

$$P \times (0,422 - 0,211) - M = 0$$

$$M = M_{m\acute{a}x} = 201,86 \text{ Nm}$$

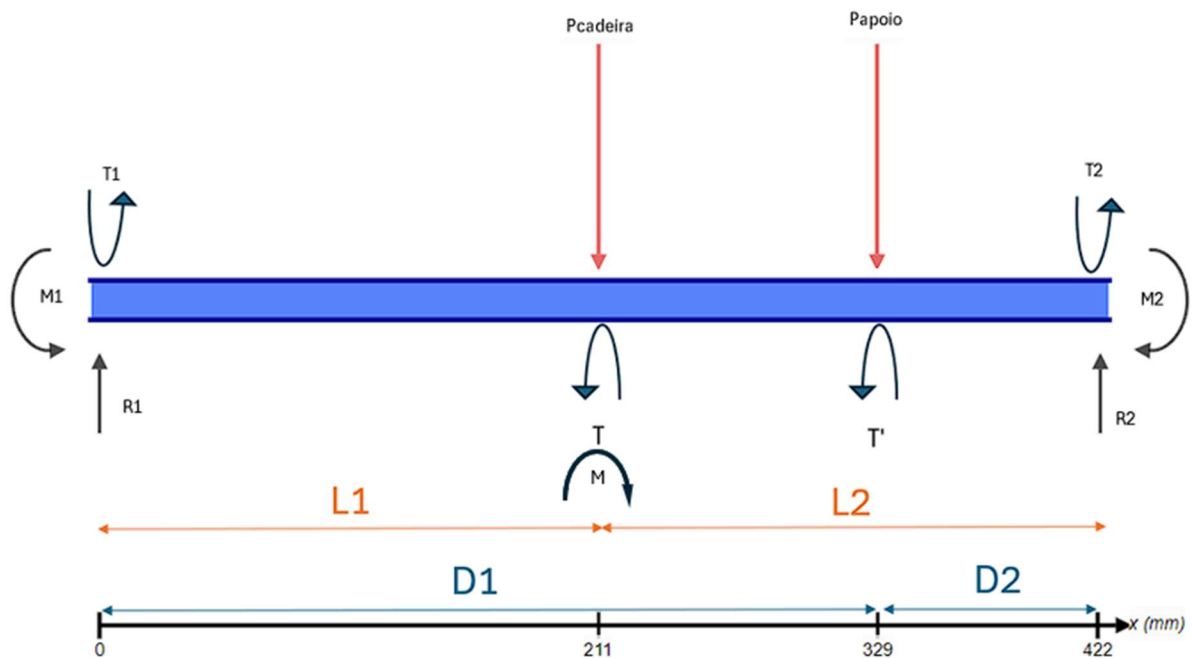


Figura 31: Diagrama de corpo de livre barra do vão central (3).

Fonte: Skyciv

Esforços solicitantes:

$$R_1 = \frac{P_{cadeira}}{2} + \frac{P_{apoio} \times D_2^2 (3 \times D_1 + D_2)}{L_{total}^3} - \frac{6 \times M \times L_1^2}{L^3} = -138,68 \text{ N}$$

$$R_2 = \frac{P_{cadeira}}{2} + \frac{P_{apoio} \times D_1^2 (3 \times D_2 + D_1)}{L_{total}^3} + \frac{6 \times M \times L_2^2}{L^3} = 1904,47 \text{ N}$$

$$M_1 = \frac{P_{cadeira} \times L_{Total}}{8} + \frac{P_{apoio} \times D_2^2 \times D_1}{L_{total}^2} - \frac{M \times L_1^2}{L_{total}^2} = 12,92 \text{ Nm}$$

$$M_2 = \frac{P_{cadeira} \times L_{Total}}{8} + \frac{P_{apoio} \times D_1^2 \times D_2}{L_{total}^2} + \frac{M \times L_2^2}{L_{total}^2} = 120,22 \text{ Nm}$$

Momento máximo:

$$M_{m\acute{a}x} = 120,22 \text{ Nm}$$

Cortante máxima em módulo:

$$V_{m\acute{a}x} = 1915,34 \text{ N}$$

Determinando torque nos apoios pelo ângulo de torção pela contribuição de cada torque

- T:

$$\phi_1 = \phi_2$$

$$\frac{T_1 \times L_1}{J \times G} = \frac{T_2 \times L_2}{J \times G}$$

$$T_1 \times L_1 = T_2 \times L_2$$

$$T_1 = \frac{T_2 \times L_2}{L_1}$$

$$T_1 = T_2 = 123,86 \text{ Nm}$$

- T':

$$\phi_1 = \phi_2$$

$$\frac{T_1 \times L_1}{J \times G} = \frac{T_2 \times L_2}{J \times G}$$

$$T_1 \times L_1 = T_2 \times L_2$$

$$T_1 = \frac{T_2 \times L_2}{L_1}$$

$$T_1 = 65,90 \text{ Nm}$$

$$T_2 = 233,13 \text{ Nm}$$

- Torque total:

$$T_1 = 189,76 \text{ Nm}$$

$$T_2 = 356,99 \text{ Nm}$$

Barra lateral da plataforma (4):

Nesta seção, será abordada a carga concentrada aplicada exclusivamente em um lado da plataforma. Considerou-se que a barra se comporta como uma viga engastada, conforme ilustrado na Figura 32.

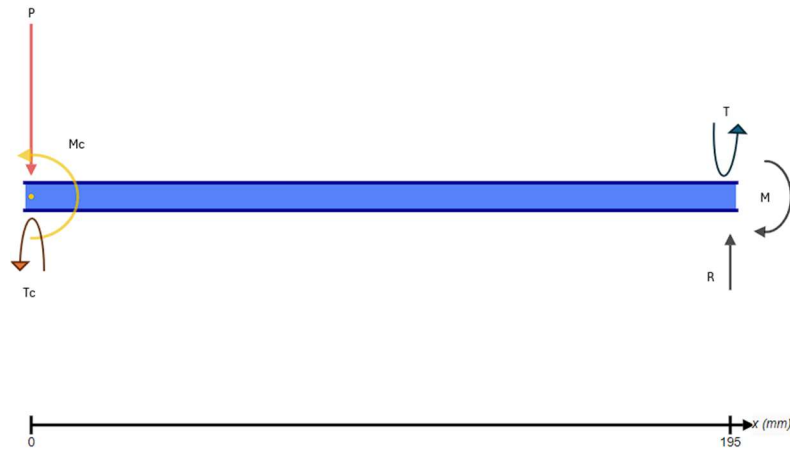


Figura 32 – Diagrama de corpo livre da barra lateral da Plataforma (4)

Fonte: Skyciv

$$\sum f_y = 0$$

$$R - P = 0$$

$$R = P = V_{m\acute{a}x} = 1915,34 \text{ N}$$

$$\sum M_z = 0$$

$$P \times (0,195) + M + M_c = 0$$

$$M = M_{m\acute{a}x} = 724,73 \text{ Nm}$$

$$T_c = T = 122,22 \text{ Nm}$$

Análise do torque sobre a base vertical:

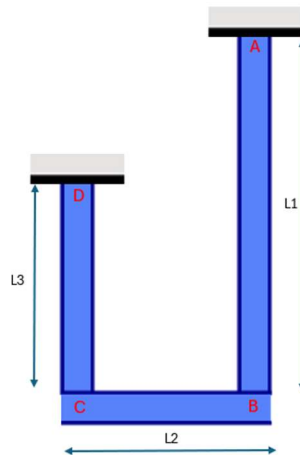


Figura 33: Análise do torque sobre a barra vertical.

Fonte: Skyciv

Admitiu-se que a base vertical se comporta como um pórtico bi engastado, conforme ilustrado na Figura 33, sujeito a dois momentos concentrados. O modelo será resolvido por meio dos métodos dos deslocamentos, admitindo-se a utilização de duas chapas fixadas nos pontos B e C para restringir a rotação. As fórmulas utilizadas na análise estão presentes nas tabelas anexas.

- Sistema 0, representado na Figura 34:

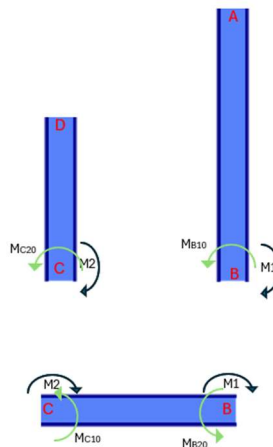


Figura 34: Sistema 0.

Fonte: Skyciv

Dados:

$$L_1 = 600 \text{ mm} \quad L_2 = 422 \text{ mm} \quad L_3 = 300 \text{ mm}$$

$$M_1 = 120,22 \text{ Nm} \quad M_2 = 12,92 \text{ Nm}$$

$$M_{b10} = M_1$$

$$M_{b20} = M_1$$

$$M_{c20} = M_2$$

$$M_{c10} = M_2$$

$$\beta_{10} = M_{b1} + M_{b20} = 2 \times M_1 = 240,44 \text{ Nm}$$

$$\beta_{20} = M_{c1} + M_{c20} = 2 \times M_2 = 25,84 \text{ Nm}$$

- Sistema 1, representado na Figura 35:

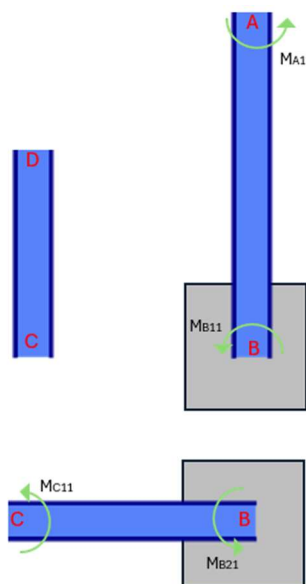


Figura 35: Sistema 1.
Fonte: Skyciv

Considerando a placa no ponto 1

$$M_{a11} = \frac{2 \times E \times I}{L_1} = 3,3 \times E \times I$$

$$M_{b11} = \frac{4 \times E \times I}{L_1} = 6,6 \times E \times I$$

$$M_{b21} = \frac{4 \times E \times I}{L_2} = 9,4 \times E \times I$$

$$M_{c11} = \frac{2 \times E \times I}{L_2} = 4,7 \times E \times I$$

$$K_{11} = M_{b11} + M_{b21} = 16 \times E \times I$$

$$K_{21} = M_{c11} = 4,7 \times E \times I$$

- Sistema 2, representado na Figura 36:

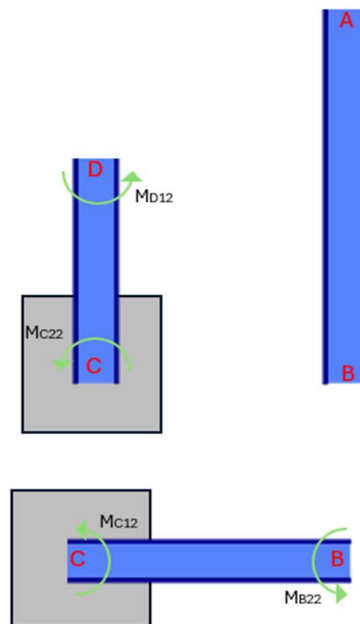


Figura 36: Sistema 2.

Fonte: Skyciv

Considerando a placa no ponto 2

$$M_{d12} = \frac{2 \times E \times I}{L_3} = 6,6 \times E \times I$$

$$M_{c22} = \frac{4 \times E \times I}{L_3} = 13,33 \times E \times I$$

$$M_{c12} = \frac{4 \times E \times I}{L_2} = 9,47 \times E \times I$$

$$M_{b22} = \frac{2 \times E \times I}{L_2} = 4,7 \times E \times I$$

$$K_{12} = M_{b2} = 4,7 \times E \times I$$

$$K_{22} = M_{c12} + M_{c22} = 22,8 \times E \times I$$

Equação de compatibilidade:

$$\beta_{10} + K_{11} \times \Delta_1 + K_{12} \times \Delta_2 = 0$$

$$\beta_{20} + K_{21} \times \Delta_1 + K_{22} \times \Delta_2 = 0$$

$$\Delta_2 = \frac{2,09}{E \times I}$$

$$\Delta_1 = -\frac{15,63}{E \times I}$$

Determinando os momentos:

$$M_{a1} = M_{a11} \times \Delta_1 = -51,5 \text{ Nm}$$

$$M_{b1} = M_{b10} + M_{b11} \times \Delta_1 = 17 \text{ Nm}$$

$$M_{b2} = M_{b20} + M_{b21} \times \Delta_1 + M_{b22} \times \Delta_2 = -16,8 \text{ Nm}$$

$$M_{c1} = M_{c10} + M_{c11} \times \Delta_1 + M_{c12} \times \Delta_2 = -40,74 \text{ Nm}$$

$$M_{c2} = M_{c10} + M_{c12} \times \Delta_2 = 32,71 \text{ Nm}$$

$$M_{d1} = M_{d1} \times \Delta_2 = 13,79 \text{ Nm}$$

Determinação dos esforços em A, conforme ilustrado nas Figuras 37 e 38:

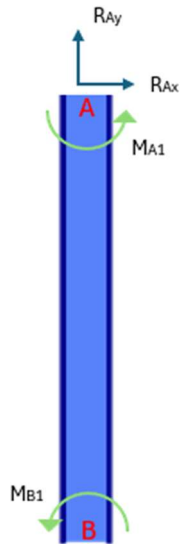


Figura 37: Análise do esforço horizontal.

Fonte: Skyciv

$$\sum M_b = 0$$

$$-R_{ax} \times L_1 + M_{b1} + M_{a1} = 0$$

$$R_{ax} = -57,5 \text{ N}$$

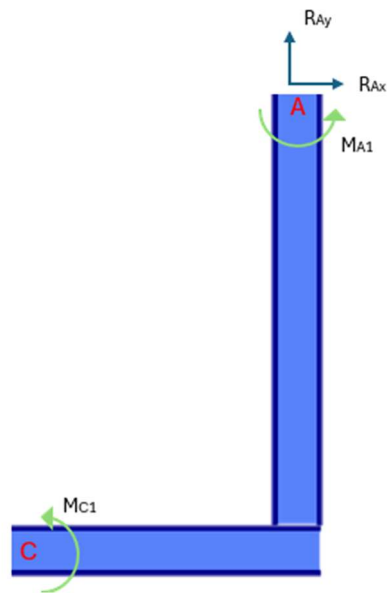


Figura 38: Análise do esforço Vertical.
Fonte: Skyciv

$$\sum M_c = 0$$

$$-R_{ax} \times L_1 + M_{c1} + M_{a1} + R_{ay} \times L_2 = 0$$

$$R_{ay} = 82,32 \text{ N}$$

Para que o sistema total esteja em equilíbrio:

$$\sum f_y = 0$$

$$R_{ay} = -R_{dy}$$

$$\sum f_x = 0$$

$$R_{ax} = -R_{dx}$$

Dimensionamento da Coluna (5):

Nesta seção, além de suportar todos os esforços da barra lateral, considerou-se que a barra se comporta como uma barra bi-apoiada, com um apoio de dois gêneros, que impede as movimentações horizontais e verticais, permitindo a rotação da plataforma, e um apoio de primeiro gênero, que impede a rotação da barra, conforme ilustrado na Figura 39. Foram analisados os dois momentos que atuam na barra.

Momento causado pela plataforma:

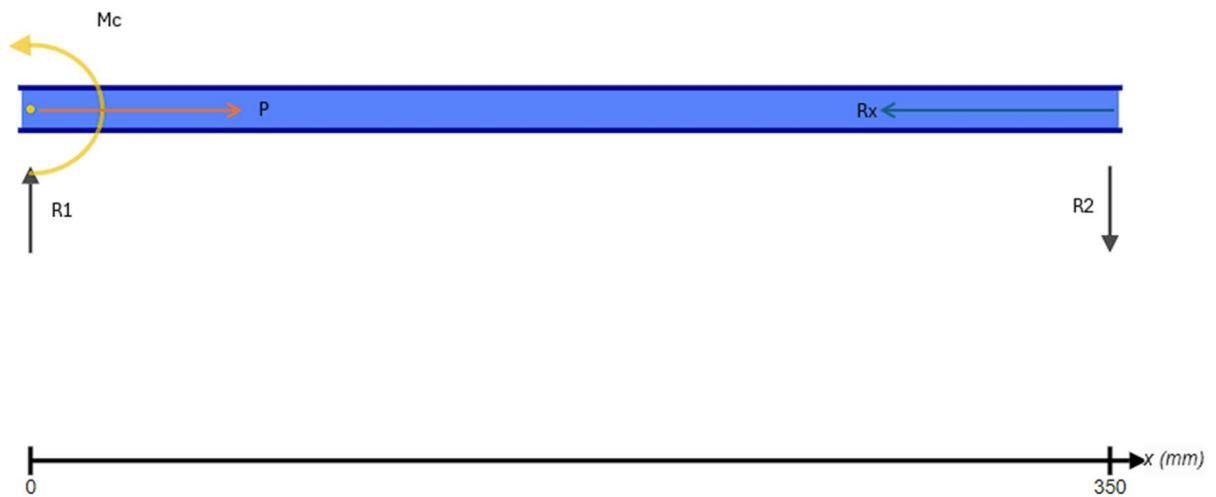


Figura 39 - Diagrama do corpo livre da coluna (5)
Fonte: Skyciv

Obs.: A coluna foi representada na horizontal na imagem.

$$P = 82,32 + 1915,34 = 1997,66 \text{ N}$$

$$\sum f_x = 0$$

$$R_x - P = 0$$

$$R = P = 1997,66 \text{ N}$$

$$\sum fy = 0$$

$$R_1 - R_2 = 0$$

$$R_1 = R_2$$

$$\sum M_1 = 0$$

$$M_c - R_2 \times 0,35 = 0$$

$$R_2 = 2070 \text{ N}$$

$$R_1 = 2070 \text{ N}$$

Barra central do dispositivo C:

O suporte está inclinado a $38,65^\circ$ em relação à cadeira, o que tornou necessário decompor as forças atuantes sobre ele, conforme representado na Figura 40.

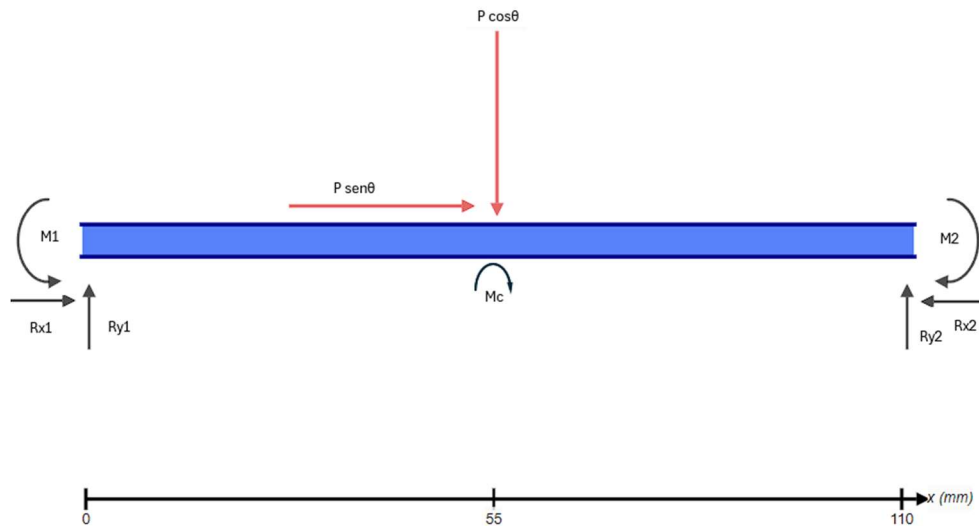


Figura 40: Diagrama do corpo livre do dispositivo C.
Fonte: Skyciv

O dimensionamento do suporte foi realizado considerando-o como uma viga engastada entre dois pontos, com o objetivo de evitar qualquer rotação do suporte.

Esforços solicitantes:

$$P = 1997,66 \text{ N}$$

$$M_c = 51,5 \text{ Nm}$$

$$R_{y1} = \frac{P \times \cos 38,65}{2} - \frac{6 \times M \times L^2}{L^3 \times 4} = 44,71 \text{ N}$$

$$R_{y2} = \frac{P \times \cos 38,65}{2} + \frac{6 \times M \times L^2}{L^3 \times 4} = 1449,25 \text{ N}$$

$$R_{x1} = R_{x2} = \frac{P \times \sin 38,65}{2} = 623,83N$$

$$M_1 = \frac{P \times \cos 38,65 \times L}{8} - \frac{M \times L_1^2}{L_{total}^2 \times 4} = 8,57 Nm$$

$$M_2 = \frac{P \times \cos 38,65 \times L}{8} + \frac{M \times L_2^2}{L_{total}^2 \times 4} = 34,32 Nm$$

Momento máximo:

$$M_{máx} = 34,32 Nm$$

Cortante máxima em módulo:

$$V_{máx} = 1449,25 N$$

Normal:

$$N = 623,83$$

Estudo da reação do apoio com a força do binário:

A Figura 41 apresenta o diagrama de corpo livre, que ilustra as forças e momentos atuantes sobre o apoio.

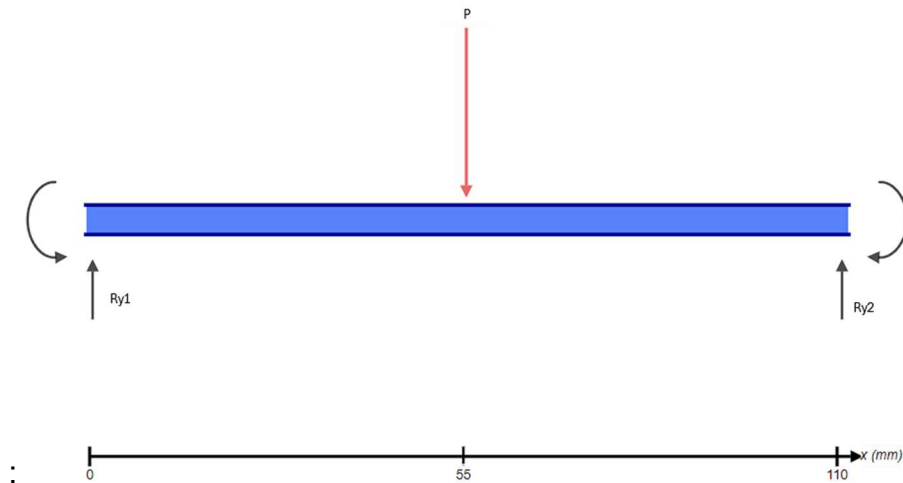


Figura 41 – Diagrama de apoio com a força do binário

Fonte: Skyciv

Esforços solicitantes:

$$P = 2070 \text{ N}$$

$$R_{y1} = R_{y2} = \frac{P}{2} = 1035 \text{ N}$$

$$M_1 = M_2 = \frac{P \times L}{8} = 28,46 \text{ Nm}$$

Momento máximo:

$$M_{m\acute{a}x} = 28,46 \text{ Nm}$$

Cortante máxima em módulo:

$$V_{m\acute{a}x} = 1035 \text{ N}$$

Dispositivo de sustentação das rodas

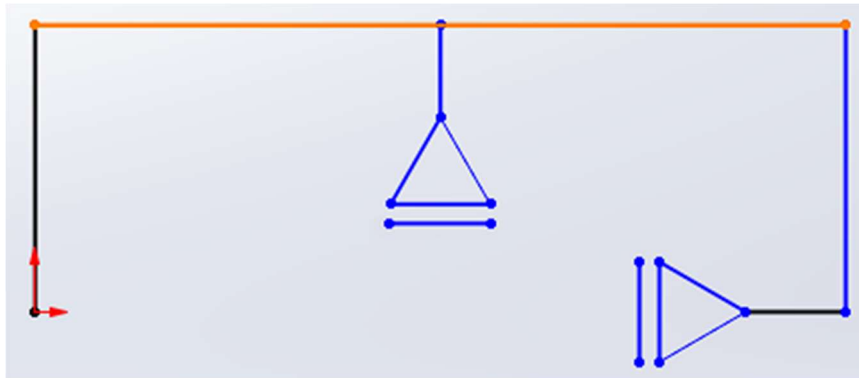


Figura 42: Representação do dispositivo C.

Fonte: De elaboração própria

Nesta seção, as rodas foram substituídas pela representação dos pontos de apoio equivalentes, que servirão de sustentação para o binário gerado pelo momento e pela força peso da plataforma, conforme ilustrado nas Figuras 42 e 43.

Obs.: O dispositivo é disposto por duas seções, o que vai dividir a carga recebida.

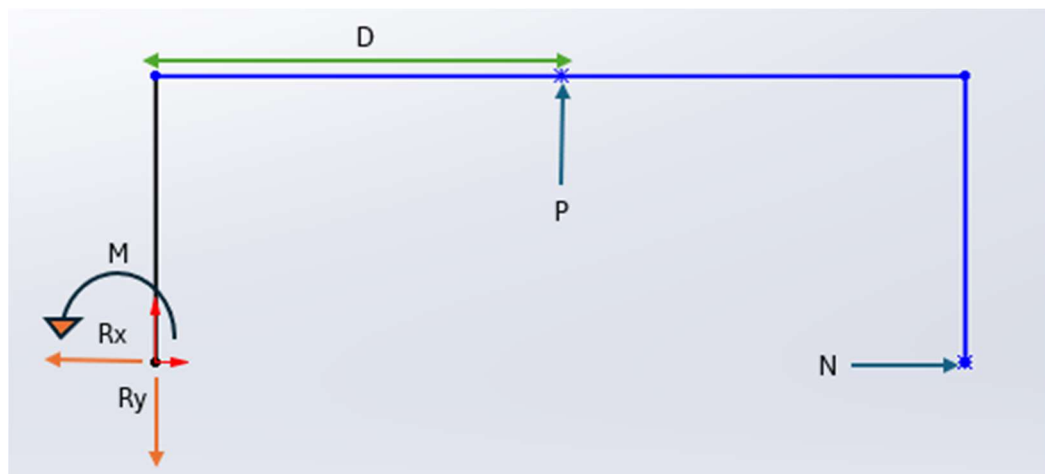


Figura 43: Diagrama do corpo livre do dispositivo C.

Fonte: De elaboração própria

$$D = 106,08 \text{ mm}$$

$$P = 1449,25 \text{ N}$$

$$N = 1035 \text{ N}$$

$$\sum f_x = 0$$

$$N - R_x = 0$$

$$N = R_x = 1035 \text{ N}$$

$$\sum f_y = 0$$

$$P - R_y = 0$$

$$P = R_y = 1449,25 \text{ N}$$

Momento causado pela força P:

$$\sum M_z = 0$$

$$P \times D - M = 0$$

$$M = P \times D = 153,62 \text{ Nm}$$

Dimensionamento da coluna no lado da plataforma sem concentração de carga:

A Figura 44 mostra o diagrama de forças da coluna, que está representada horizontalmente na imagem.

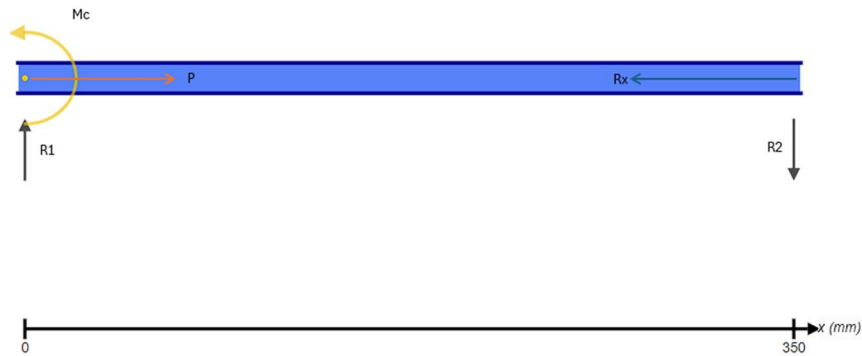


Figura 44: Diagrama da coluna do lado da plataforma sem concentração de carga.

Fonte: Skyciv

$$M_c = 12,92$$

$$P = -138,68 - 82,32 = -221 \text{ N}$$

$$\sum f_x = 0$$

$$R_x - P = 0$$

$$R_x = P = -221 \text{ N}$$

$$\sum f_y = 0$$

$$R_1 - R_2 = 0$$

$$R_1 = R_2$$

$$\sum M_1 = 0$$

$$M_c - R_2 \times 0,35 = 0$$

$$R_2 = 36,91 \text{ N}$$

$$R_1 = 36,91 \text{ N}$$

Suporte para o dispositivo C no lado sem concentração de carga:

A Figura 45 apresenta o digrama de esforços do suporte.

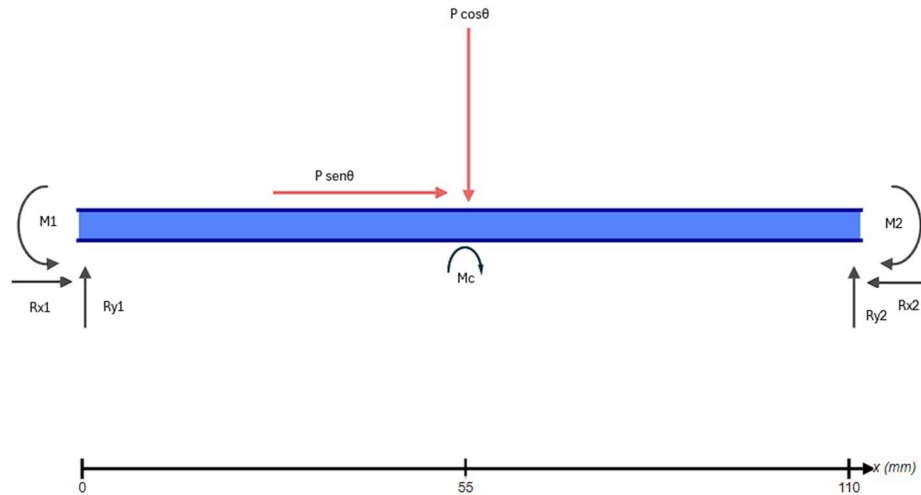


Figura 45: Suporte do dispositivo C no lado sem concentração de carga

Fonte: Skyciv

Esforços solicitantes:

$$P = -221 \text{ N}$$

$$M_c = 13,79 \text{ Nm}$$

$$R_{y1} = \frac{P \times \cos 38,65}{2} - \frac{6 \times M \times L^2}{L^3 \times 4} = -274,34 \text{ N}$$

$$R_{y2} = \frac{P \times \cos 38,65}{2} + \frac{6 \times M \times L^2}{L^3 \times 4} = 101,74 \text{ N}$$

$$R_{x1} = R_{x2} = \frac{P \times \sin 38,65}{2} = -69,01 \text{ N}$$

$$M_1 = \frac{P \times \cos 38,65 \times L}{8} - \frac{M \times L^2}{L^2 \times 4} = -2,75 \text{ Nm}$$

$$M_2 = \frac{P \times \cos 38,65 \times L}{8} + \frac{M \times L^2}{L^2 \times 4} = -1,99 \text{ Nm}$$

Momento máximo:

$$M_{m\acute{a}x} = -2,75 \text{ Nm}$$

Cortante máxima em módulo:

$$V_{m\acute{a}x} = -274,34 \text{ N}$$

Normal:

$$N = -69,01$$

Estudo da reação do apoio com a força do binário:

A Figura 46 representa os esforços envolvidos no apoio.

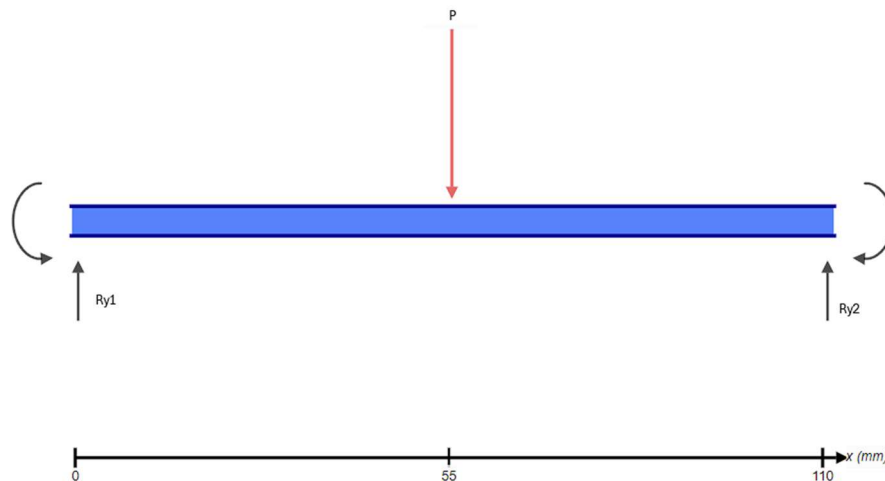


Figura 46: Estudo da reação do apoio com a força do binário.

Fonte: Skyciv

Esforços solicitantes:

$$P = 36,91 \text{ N}$$

$$R_{y1} = R_{y2} = \frac{P}{2} = 18,45 \text{ N}$$

$$M_1 = M_2 = \frac{P \times L}{8} = 0,25 \text{ Nm}$$

Momento máximo:

$$M_{m\acute{a}x} = 0,25 \text{ Nm}$$

Cortante máxima em módulo:

$$V_{m\acute{a}x} = 18,45 \text{ N}$$

Trilho superior:

O trilho superior está sujeito a vários esforços. Considerou-se o cenário mais severo, onde o usuário concentra a carga apenas em um lado da plataforma, resultando em esforços críticos apenas desse lado, enquanto o lado oposto apresenta esforços mínimos. A Figura 47 ilustra essa situação por meio do diagrama de corpo livre.

$$P = 2070 \text{ N}$$

$$T_c = 153,62 \text{ Nm}$$

$$M_c = 34,32 \text{ Nm}$$

$$L = 960 \text{ mm}$$

Por análise constatou-se que a carga será mais crítica sobre o trilho quando ele estiver a 320 mm de uma coluna de apoio

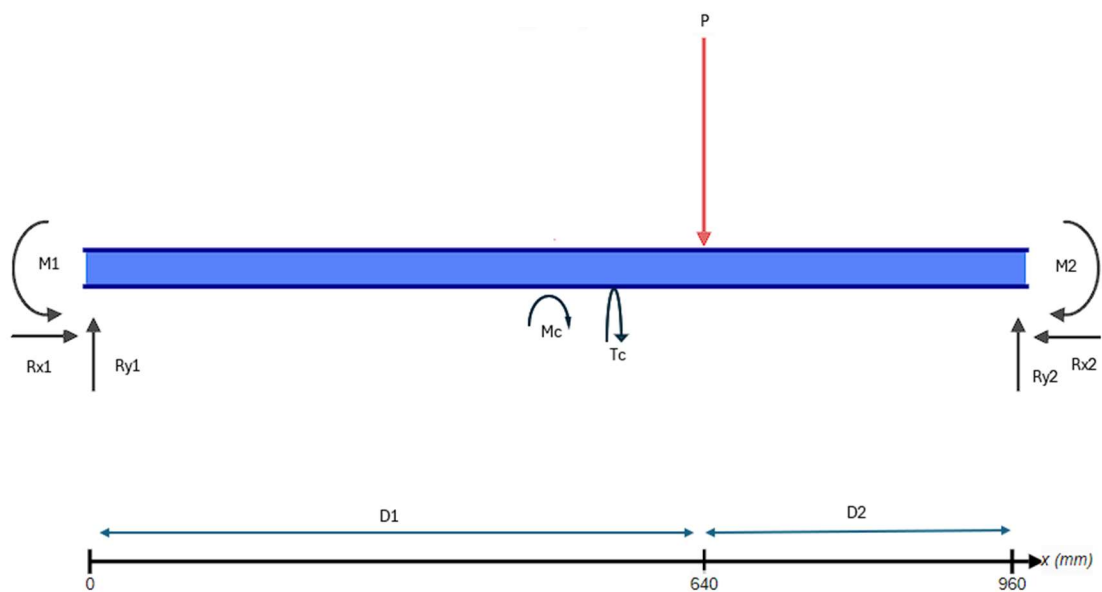


Figura 47: Diagrama do corpo livre do trilho superior.

Fonte: Skyciv

$$R_1 = \frac{P \times D_2^2(3 \times D_1 + D_2)}{L^3} - \frac{6 \times M \times D_2 \times D_1}{L^3} = 446,92 \text{ N}$$

$$R_2 = \frac{P \times D_1^2(3 \times D_2 + D_1)}{L^3} + \frac{6 \times M \times D_2 \times D_1}{L^3} = 1470,68 \text{ N}$$

$$M_1 = \frac{P \times D_2^2 \times D_1}{L^2} - \frac{M \times D_2 \times (2 \times D_1 - D_2)}{L^2} = 143,53 \text{ Nm}$$

$$M_2 = \frac{P \times D_1^2 \times D_2}{L^2} + \frac{M \times D_1 \times (2 \times D_2 - D_1)}{L^2} = 294,4 \text{ Nm}$$

Momento máximo:

$$M_{\text{máx}} = 294,4 \text{ Nm}$$

Cortante máxima em módulo:

$$V_{\text{máx}} = 1470,68 \text{ N}$$

Determinando torque nos apoios pelo ângulo de torção pela contribuição de cada torque:

$$\phi_1 = \phi_2$$

$$\frac{T_1 \times L_1}{J \times G} = \frac{T_2 \times L_2}{J \times G}$$

$$T_1 \times L_1 = T_2 \times L_2$$

$$T_1 = \frac{T_2 \times L_2}{L_1}$$

$$T_1 = 51,20 \text{ Nm}$$

$$T_2 = 102,41 \text{ Nm}$$

Barra até a coluna:

A Figura 48 apresenta o diagrama de corpo livre da barra que conecta o poste.

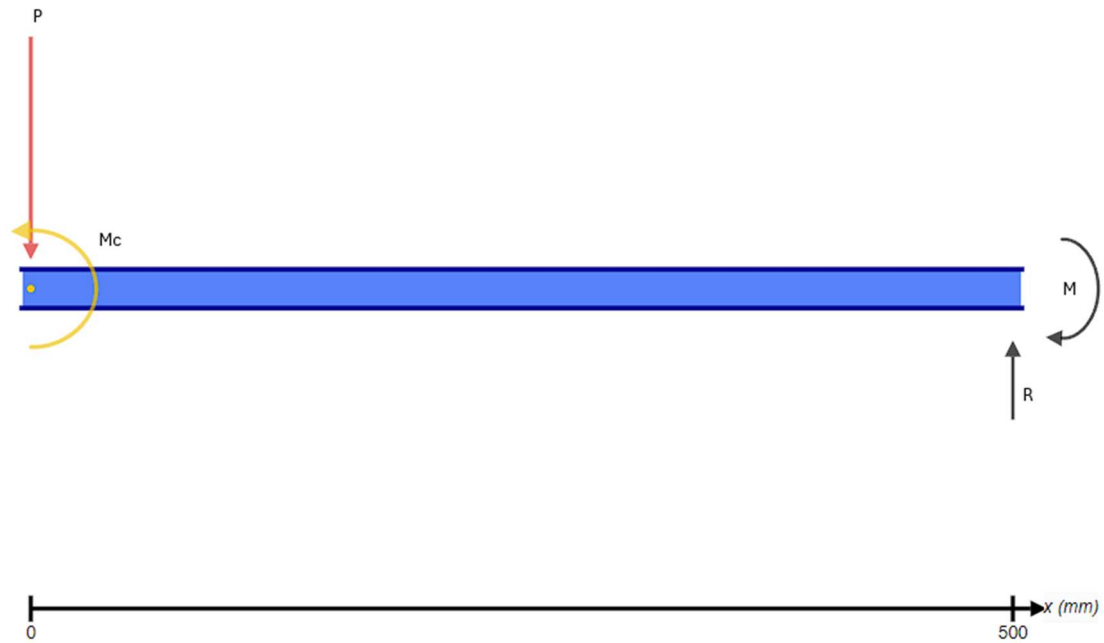


Figura 48: Diagrama do corpo livre da barra que conecta o poste.

Fonte: Skyciv

$$P = 1470,68 \text{ N}$$

$$M_c = 294,4 \text{ Nm}$$

$$\sum f_y = 0$$

$$R - P = 0$$

$$R = P = V_{m\acute{a}x} = 1470,68$$

$$\sum M_z = 0$$

$$P \times (0,500) + M + M_c = 0$$

$$M = 367,93 \text{ Nm}$$

Poste:

A Figura 49 apresenta o diagrama de corpo livre do poste.

Os esforços serão os mesmos do dimensionamento anterior.

$$P = 1470,68 \text{ N}$$

$$M_c = 367,93 \text{ Nm}$$

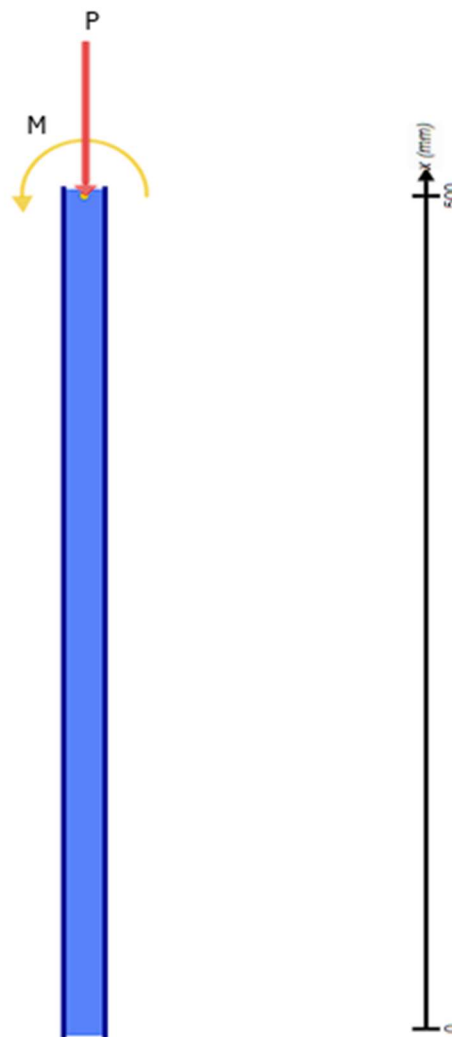


Figura 49: Diagrama do corpo livre do poste.

Fonte: Skyciv

Trilho inferior

A Figura 50 apresenta o diagrama de corpo livre do trilho inferior.

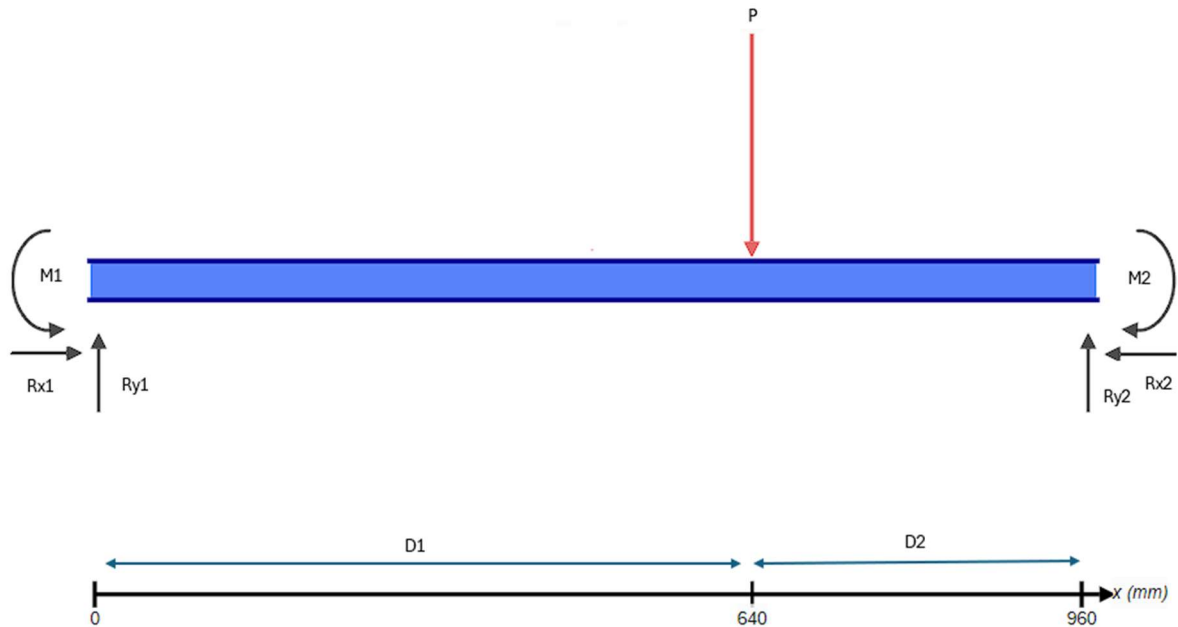


Figura 50: Diagrama do corpo livre do trilho inferior.

Fonte: Skyciv

A situação mais desfavorável é a mesma do trilho superior.

$$P = 2070 \text{ N}$$

$$L = 960 \text{ mm}$$

$$R_1 = \frac{P \times D_2^2 (3 \times D_1 + D_2)}{L^3} = 507,69 \text{ N}$$

$$R_2 = \frac{P \times D_1^2 (3 \times D_2 + D_1)}{L^3} = 1562,31 \text{ N}$$

$$M_1 = \frac{P \times D_2^2 \times D_1}{L^2} = 133,38 \text{ Nm}$$

$$M_2 = \frac{P \times D_1^2 \times D_2}{L^2} = 294,33 \text{ Nm}$$

Momento máximo:

$$M_{m\acute{a}x} = 294,33 \text{ Nm}$$

Cortante máxima em módulo:

$$V_{m\acute{a}x} = 1562,31 \text{ N}$$

Contudo, quando o trilho de cima está no seu caso mais desfavorável à distância da roda debaixo até a coluna 357,51 mm, logo, seu esforço no poste será de:

$$R_1 = \frac{P \times D_2^2 (3 \times D_1 + D_2)}{L^3} = 645,32 \text{ N}$$

$$R_2 = \frac{P \times D_1^2 (3 \times D_2 + D_1)}{L^3} = 1424,68 \text{ N}$$

$$M_1 = \frac{P \times D_2^2 \times D_1}{L^2} = 172,58 \text{ Nm}$$

$$M_2 = \frac{P \times D_1^2 \times D_2}{L^2} = 291,74 \text{ Nm}$$

Fixação do motor

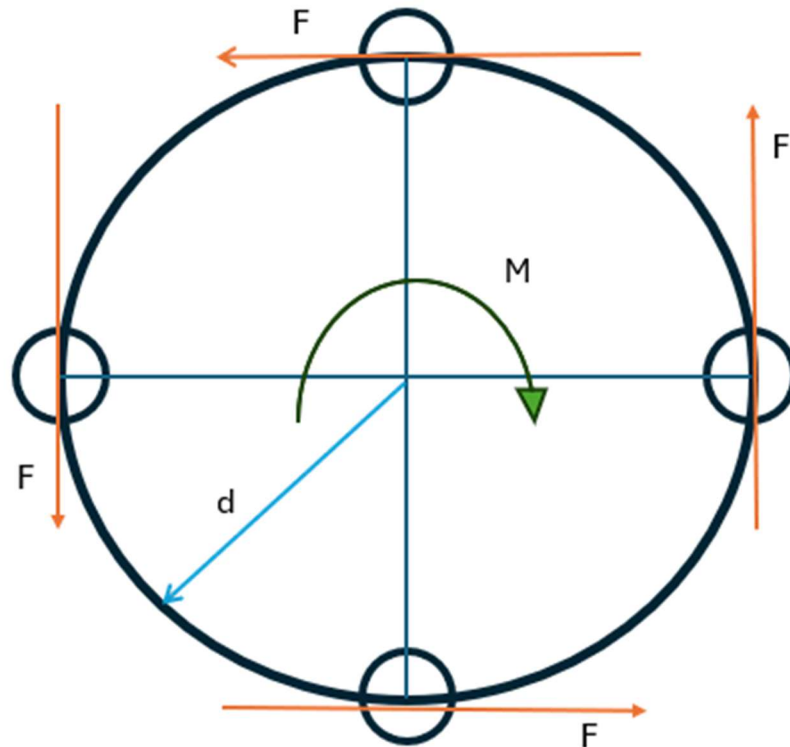


Figura 51: Fixação do Motor
Fonte: De elaboração própria

O torque estabelecido na Figura 51 será determinado pelo torque máximo aplicado pelo motor escolhido, que é de 330 Nm, e pela distância (d) fornecida pelo fabricante, que é de 65 mm.

Para determinar a força aplicada em cada parafuso, deve-se aplicar o somatório de momentos em relação ao centro da figura acima.

$$\sum M_z = 0$$

$$F \times d \times 4 - M = 0$$

$$F = \frac{M}{d \times 4} = 1280 \text{ N}$$

ANEXO A - Análise de Equipamentos Existentes no Mercado Brasileiro

Tabela 21 - Análise de Equipamentos Existentes no Mercado Brasileiro

(contínua)

Informações Gerais					
Fornecedor	Stannah / Surimex	Sul Acessibilidade / BESPOKE	Elleva Acessibilidade	Elleva Acessibilidade	Agora Elevadores
Produto	Cadeira elevador para escadas	Cadeira elevador para escadas retas	Cadeira elevador para escadas retas	Plataforma elevatória para escadas retas	Plataforma elevatória para escadas retas
Valor	Pagamento de R\$ 46000 a vista ou em 4x sem juros	Pagamento de R\$ 32000 a vista	Pagamento de R\$ 40833,36 a vista ou em 3x sem juros	Pagamento de R\$ 139000 à vista ou em 3x sem juros	Pagamento de R\$ 39900 a vista ou R\$44688 em 6x sem juros
Garantia	5 anos de garantia	2 anos de garantia	2 anos a partir da instalação. 6 meses para as baterias.	2 anos a partir da instalação. 6 meses para as baterias.	12 meses
Especificações					
Capacidade útil	150 kg	125 kg	140 kg	225kg (Opção 300kg)	250 kg
Velocidade percurso na subida	Não informado	0,08 m/s	0,0015 m/s	0,06 m/s	0,1 m/s
Velocidade percurso na descida	Não informado	0,08 m/s	0,006 m/s	0,12 m/s	0,1 m/s
Alimentação elétrica	Não informado	120 / 220 V	120 / 220 V	220 V	220 V
Sistema de baterias	Possui baterias integradas	2 baterias de 12V / 7A	2 baterias de 12V / 7A	Não informado	Não informado

Tabela 21 - Análise de Equipamentos Existentes no Mercado Brasileiro

(contínua)

Recursos Básicos						
Movimento suave e estável	✓	✓	✓	✓	✓	Não informado
Controle com fio embutido na cadeira com comando de subir e descer	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Controles remotos externos com comando de subir e descer	✓	×	✓	×	×	×
Recursos de Conforto						
Apoios dos pés/plataforma inferior rebatível	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Apoio de braços rebatível	✓	×	✓	✓	✓	✓
Assento rebatível	✓	✓	✓	✓	✓	×
Assento com altura regulável	✓	Não informado	✓	×	×	×
Giro do assento manual	✓	✓	✓	×	×	×
Giro do assento automático (Opcional)	✓	×	✓	×	×	×

Tabela 21 - Análise de Equipamentos Existentes no Mercado Brasileiro

(conclusão)

Recursos de Segurança					
Sensores de segurança no trajeto	✓	Não informado	✓	✓	✓
Sensores de segurança no apoio de pés	Não informado	Não informado	✓	✓	Não informado
Sensores de seg. ao redor da carenagem do motor	Não informado	Não informado	✓	✓	Não informado
Sensor de carga no assento	✓	Não informado	×	×	×
Cinto de segurança incluso	✓	✓	✓	✓	×
Recursos Extras					
Possibilidade de alterar a cor do produto	✓	✓	×	✓	✓
Possui plataforma para cadeirantes	×	×	×	✓	✓
Possui assento rebatível com comprimento confortável	✓	✓	✓	✓	×
Sistema de alarme de cinto de segurança	✓	Não informado	×	×	×

Fonte: De autoria própria

ANEXO B - Pesquisas Anuais no Google, no Brasil

Tabela 22 - Pesquisas Anuais no Google por Palavra-Chave: "Elevadores residenciais", no Brasil

Ano de 2018	388 pesquisas
Ano de 2019	2407 pesquisas
Ano de 2020	1613 pesquisas
Ano de 2021	1540 pesquisas
Ano de 2022	1299 pesquisas
Ano de 2023 (10 meses)	977 pesquisas
Média anual	1371 pesquisas

Fonte: Google Trends

Tabela 23 - Pesquisas Anuais no Google por Palavra-Chave: "Elevador para escada", no Brasil

Ano de 2018	336 pesquisas
Ano de 2019	1147 pesquisas
Ano de 2020	1042 pesquisas
Ano de 2021	1122 pesquisas
Ano de 2022	1623 pesquisas
Ano de 2023 (10 meses)	1503 pesquisas
Média anual	1129 pesquisas

Fonte: Google Trends

Tabela 24 - Pesquisas Anuais no Google por Palavra-Chave: "Cadeira elevatória para escada", Brasil

Ano de 2018	54 pesquisas
Ano de 2019	487 pesquisas
Ano de 2020	343 pesquisas
Ano de 2021	706 pesquisas
Ano de 2022	393 pesquisas
Ano de 2023 (10 meses)	245 pesquisas
Média anual	371 pesquisas

Fonte: Google Trends

Tabela 25 – Pesquisas Anuais no Google por Palavra-Chave: “Cadeira elevador preço”, Brasil

Ano de 2018	118 Pesquisas
Ano de 2019	457 Pesquisas
Ano de 2020	368 Pesquisas
Ano de 2021	385 Pesquisas
Ano de 2022	552 Pesquisas
Ano de 2023 (10 meses)	674 Pesquisas
Média anual	426 Pesquisas

Fonte: Google Trends

Tabela 26 - Pesquisas Anuais no Google por Palavra-Chave: “Cadeira elevatória para escada curva preço”, Brasil

Ano de 2018	76 Pesquisas
Ano de 2019	501 Pesquisas
Ano de 2020	284 Pesquisas
Ano de 2021	580 Pesquisas
Ano de 2022	336 Pesquisas
Ano de 2023 (10 meses)	231 Pesquisas
Média anual	335 Pesquisas

Fonte: Google Trends

ANEXO C – Dados Antropométricos

Tabela 27 – Percentis de altura pesquisados para o sexo masculino

Grupo de idade	Variável	Valor
15 a 17 anos	Percentil 5 da altura	163.6 cm
	Percentil 50 da altura	171.5 cm
	Percentil 95 da altura	183.1 cm
18 a 24 anos	Percentil 5 da altura	161.2 cm
	Percentil 50 da altura	173.9 cm
	Percentil 95 da altura	184.2 cm
25 a 39 anos	Percentil 5 da altura	161.0 cm
	Percentil 50 da altura	173.4 cm
	Percentil 95 da altura	185.0 cm
40 a 59 anos	Percentil 5 da altura	158.1 cm
	Percentil 50 da altura	171.5 cm
	Percentil 95 da altura	184.2 cm
60 anos ou mais	Percentil 5 da altura	155.7 cm
	Percentil 50 da altura	168.0 cm
	Percentil 95 da altura	179.0 cm

Fonte: IBGE – PNS 2019

Tabela 28 – Média e desvio padrão da altura para o sexo masculino

Grupo de idade	Variável	Valor
15 a 17 anos	Média	171.50 cm
	Standart Deviation (SD)	7.05 cm
18 a 24 anos	Média	173.90 cm
	Standart Deviation (SD)	6.26 cm
25 a 39 anos	Média	173.40 cm
	Standart Deviation (SD)	7.05 cm
40 a 59 anos	Média	171.50 cm
	Standart Deviation (SD)	7.72 cm
60 anos ou mais	Média	168.00 cm
	Standart Deviation (SD)	6.69 cm

Fonte: De autoria própria

Tabela 29 - Extrapolação estatística da altura para o sexo masculino

Grupo de idade	Variável	Valor
15 a 17 anos	Percentil 0.1	149.7 cm
	Percentil 1	155.1 cm
	Percentil 99	180.5 cm
	Percentil 99.9	193.3 cm
18 a 24 anos	Percentil 0.1	154.6 cm
	Percentil 1	159.3 cm
	Percentil 99	181.9 cm
	Percentil 99.9	193.2 cm
25 a 39 anos	Percentil 0.1	151.6 cm
	Percentil 1	157.0 cm
	Percentil 99	182.4 cm
	Percentil 99.9	195.2 cm
40 a 59 anos	Percentil 0.1	147.6 cm
	Percentil 1	153.5 cm
	Percentil 99	181.4 cm
	Percentil 99.9	195.4 cm
60 anos ou mais	Percentil 0.1	147.3 cm
	Percentil 1	152.4 cm
	Percentil 99	176.6 cm
	Percentil 99.9	188.7 cm

Fonte: De autoria própria

Tabela 30 - Percentis de altura pesquisados para o sexo feminino

Grupo de idade	Variável	Valor
15 a 17 anos	Percentil 5 da altura	147.1 cm
	Percentil 50 da altura	158.0 cm
	Percentil 95 da altura	167.2 cm
18 a 24 anos	Percentil 5 da altura	151.2 cm
	Percentil 50 da altura	160.0 cm
	Percentil 95 da altura	169.9 cm
25 a 39 anos	Percentil 5 da altura	150.9 cm
	Percentil 50 da altura	161.0 cm
	Percentil 95 da altura	171.6 cm
40 a 59 anos	Percentil 5 da altura	146.7 cm
	Percentil 50 da altura	158.5 cm
	Percentil 95 da altura	170.0 cm
60 anos ou mais	Percentil 5 da altura	142.9 cm
	Percentil 50 da altura	154.1 cm
	Percentil 95 da altura	166.6 cm

Fonte: IBGE – PNS 2019

Tabela 31 - Média e desvio padrão da altura para o sexo feminino

Grupo de idade	Variável	Valor
15 a 17 anos	Média	158.00 cm
	Standart Deviation (SD)	5.59 cm
18 a 24 anos	Média	160.00 cm
	Standart Deviation (SD)	6.02 cm
25 a 39 anos	Média	161.00 cm
	Standart Deviation (SD)	6.44 cm
40 a 59 anos	Média	158.50 cm
	Standart Deviation (SD)	6.99 cm
60 anos ou mais	Média	154.10 cm
	Standart Deviation (SD)	7.60 cm

Fonte: De autoria própria

Tabela 32 - Extrapolação estatística da altura para o sexo feminino

Grupo de idade	Variável	Valor
15 a 17 anos	Percentil 0.1	140.7 cm
	Percentil 1	145.0 cm
	Percentil 99	165.2 cm
	Percentil 99.9	175.3 cm
18 a 24 anos	Percentil 0.1	141.4 cm
	Percentil 1	146.0 cm
	Percentil 99	167.7 cm
	Percentil 99.9	178.6 cm
25 a 39 anos	Percentil 0.1	141.1 cm
	Percentil 1	146.0 cm
	Percentil 99	169.3 cm
	Percentil 99.9	180.9 cm
40 a 59 anos	Percentil 0.1	136.9 cm
	Percentil 1	142.2 cm
	Percentil 99	167.5 cm
	Percentil 99.9	180.1 cm
60 anos ou mais	Percentil 0.1	130.6 cm
	Percentil 1	136.4 cm
	Percentil 99	163.8 cm
	Percentil 99.9	177.6 cm

Fonte: De autoria própria

Tabela 33 - Percentis de peso para o sexo masculino

Grupo de idade	Variável	Valor
15 a 17 anos	Percentil 5 do peso	50.1 kg
	Percentil 50 do peso	60.4 kg
	Percentil 95 do peso	87.1 kg
18 a 24 anos	Percentil 5 do peso	54.6 kg
	Percentil 50 do peso	66.8 kg
	Percentil 95 do peso	98.9 kg
25 a 39 anos	Percentil 5 do peso	58.0 kg
	Percentil 50 do peso	78.2 kg
	Percentil 95 do peso	107.2 kg
40 a 59 anos	Percentil 5 do peso	59.0 kg
	Percentil 50 do peso	79.9 kg
	Percentil 95 do peso	110.3 kg
60 anos ou mais	Percentil 5 do peso	54.0 kg
	Percentil 50 do peso	73.9 kg
	Percentil 95 do peso	102.0 kg

Fonte: IBGE – PNS 2019

Tabela 34 - Média e desvio padrão do peso para o sexo masculino

Grupo de idade	Variável	Valor
15 a 17 anos	Média	60.40 kg
	Standart Deviation (SD)	16.23 kg
18 a 24 anos	Média	66.80 kg
	Standart Deviation (SD)	19.52 kg
25 a 39 anos	Média	78.20 kg
	Standart Deviation (SD)	17.63 kg
40 a 59 anos	Média	79.90 kg
	Standart Deviation (SD)	18.48 kg
60 anos ou mais	Média	73.90 kg
	Standart Deviation (SD)	17.08 kg

Fonte: De autoria própria

Tabela 35 - Extrapolação estatística do peso para o sexo masculino

Grupo de idade	Variável	Valor
15 a 17 anos	Percentil 0.1	10.2 kg
	Percentil 1	22.6 kg
	Percentil 99	81.2 kg
	Percentil 99.9	110.6 kg
18 a 24 anos	Percentil 0.1	6.5 kg
	Percentil 1	21.4 kg
	Percentil 99	91.8 kg
	Percentil 99.9	127.1 kg
25 a 39 anos	Percentil 0.1	23.7 kg
	Percentil 1	37.2 kg
	Percentil 99	100.8 kg
	Percentil 99.9	132.7 kg
40 a 59 anos	Percentil 0.1	22.8 kg
	Percentil 1	36.9 kg
	Percentil 99	103.6 kg
	Percentil 99.9	137.0 kg
60 anos ou mais	Percentil 0.1	21.1 kg
	Percentil 1	34.2 kg
	Percentil 99	95.8 kg
	Percentil 99.9	126.7 kg

Fonte: De autoria própria

Tabela 36 - Percentis de peso para o sexo feminino

Grupo de idade	Variável	Valor
15 a 17 anos	Percentil 5 do peso	33.0 kg
	Percentil 50 do peso	55.3 kg
	Percentil 95 do peso	77.0 kg
18 a 24 anos	Percentil 5 do peso	42.9 kg
	Percentil 50 do peso	59.9 kg
	Percentil 95 do peso	85.3 kg
25 a 39 anos	Percentil 5 do peso	52.3 kg
	Percentil 50 do peso	66.9 kg
	Percentil 95 do peso	99.9 kg
40 a 59 anos	Percentil 5 do peso	51.9 kg
	Percentil 50 do peso	70.0 kg
	Percentil 95 do peso	102.0 kg
60 anos ou mais	Percentil 5 do peso	45.4 kg
	Percentil 50 do peso	65.0 kg
	Percentil 95 do peso	90.3 kg

Fonte: IBGE - PNS 2019

Tabela 37 - Média e desvio padrão do peso para o sexo feminino

Grupo de idade	Variável	Valor
15 a 17 anos	Média	55.30 kg
	Standart Deviation (SD)	13.19 kg
18 a 24 anos	Média	59.90 kg
	Standart Deviation (SD)	15.44 kg
25 a 39 anos	Média	66.90 kg
	Standart Deviation (SD)	20.06 kg
40 a 59 anos	Média	70.00 kg
	Standart Deviation (SD)	19.45 kg
60 anos ou mais	Média	65.00 kg
	Standart Deviation (SD)	15.38 kg

Fonte: De autoria própria

Tabela 38 - Extrapolação estatística do peso para o sexo feminino

Grupo de idade	Variável	Valor
15 a 17 anos	Percentil 0.1	14.5 kg
	Percentil 1	24.6 kg
	Percentil 99	72.2 kg
	Percentil 99.9	96.1 kg
18 a 24 anos	Percentil 0.1	12.2 kg
	Percentil 1	24.0 kg
	Percentil 99	79.7 kg
	Percentil 99.9	107.6 kg
25 a 39 anos	Percentil 0.1	4.9 kg
	Percentil 1	20.2 kg
	Percentil 99	92.6 kg
	Percentil 99.9	128.9 kg
40 a 59 anos	Percentil 0.1	9.9 kg
	Percentil 1	24.8 kg
	Percentil 99	94.9 kg
	Percentil 99.9	130.1 kg
60 anos ou mais	Percentil 0.1	17.5 kg
	Percentil 1	29.2 kg
	Percentil 99	84.7 kg
	Percentil 99.9	112.5 kg

Fonte: De autoria própria

Tabela 39 – Distribuição das medidas antropométricas para latino-americanos (não indígenas) do sexo masculino

Medida antropométrica	Variável	Valor
Hip breadth, sitting (25)	Média	350.00 mm
	Standart Deviation (SD)	23.00 mm
Popliteal Height, sitting (14)	Média	445.00 mm
	Standart Deviation (SD)	23.00 mm
Sitting Height (17)	Média	930.00 mm
	Standart Deviation (SD)	36.00 mm
Elbow-grip length (31)	Média	350.00 mm
	Standart Deviation (SD)	21.00 mm
Foot Length (41)	Média	260.00 mm
	Standart Deviation (SD)	14.00 mm
Hand Width without Thumb (44)	Média	85.00 mm
	Standart Deviation (SD)	3.00 mm
Hand Length (43)	Média	180.00 mm
	Standart Deviation (SD)	8.00 mm

Fonte: DINED Anthropometric Database

Tabela 40 - Extrapolação estatística das medidas antropométricas para latino-americanos (não indígenas) do sexo masculino

Medida Antropométrica	Variável	Valor
Hip breadth, sitting (25)	Percentil 0.1	278.9 mm
	Percentil 1	296.5 mm
	Percentil 99	379.5 mm
	Percentil 99.9	421.1 mm
Popliteal Height, sitting (14)	Percentil 0.1	373.9 mm
	Percentil 1	391.5 mm
	Percentil 99	474.5 mm
	Percentil 99.9	516.1 mm
Sitting Height (17)	Percentil 0.1	818.8 mm
	Percentil 1	846.3 mm
	Percentil 99	976.1 mm
	Percentil 99.9	1041.2 mm
Elbow-grip length (31)	Percentil 0.1	285.1 mm
	Percentil 1	301.1 mm
	Percentil 99	376.9 mm
	Percentil 99.9	414.9 mm
Foot Length (41)	Percentil 0.1	216.7 mm
	Percentil 1	227.4 mm
	Percentil 99	277.9 mm
	Percentil 99.9	303.3 mm
Hand Width without Thumb (44)	Percentil 0.1	75.7 mm
	Percentil 1	78.0 mm
	Percentil 99	88.8 mm
	Percentil 99.9	94.3 mm
Hand Length (43)	Percentil 0.1	155.3 mm
	Percentil 1	161.4 mm
	Percentil 99	190.3 mm
	Percentil 99.9	204.7 mm

Fonte: De autoria própria

Tabela 41 - Distribuição das medidas antropométricas para latino-americanos (não indígenas) do sexo feminino

Medida Antropométrica	Variável	Valor
Hip breadth, sitting (25)	Média	365.00 mm
	Standart Deviation (SD)	33.00 mm
Popliteal Height, sitting (14)	Média	380.00 mm
	Standart Deviation (SD)	30.00 mm
Sitting Height (17)	Média	860.00 mm
	Standart Deviation (SD)	33.00 mm
Elbow-grip length (31)	Média	325.00 mm
	Standart Deviation (SD)	21.00 mm
Foot Length (41)	Média	240.00 mm
	Standart Deviation (SD)	15.00 mm
Hand Width without Thumb (44)	Média	70.00 mm
	Standart Deviation (SD)	5.00 mm
Hand Length (43)	Média	165.00 mm
	Standart Deviation (SD)	6.00 mm

Fonte: DINED Anthropometric Database

Tabela 42 - Extrapolação estatística das medidas antropométricas para latino-americanos (não indígenas) do sexo feminino

Medida Antropométrica	Variável	Valor
Hip breadth, sitting (25)	Percentil 0.1	263.0 mm
	Percentil 1	288.2 mm
	Percentil 99	407.3 mm
	Percentil 99.9	467.0 mm
Popliteal Height, sitting (14)	Percentil 0.1	287.3 mm
	Percentil 1	310.2 mm
	Percentil 99	418.4 mm
	Percentil 99.9	472.7 mm
Sitting Height (17)	Percentil 0.1	758.0 mm
	Percentil 1	783.2 mm
	Percentil 99	902.3 mm
	Percentil 99.9	962.0 mm
Elbow-grip length (31)	Percentil 0.1	260.1 mm
	Percentil 1	276.1 mm
	Percentil 99	351.9 mm
	Percentil 99.9	389.9 mm
Foot Length (41)	Percentil 0.1	193.6 mm
	Percentil 1	205.1 mm
	Percentil 99	259.2 mm
	Percentil 99.9	286.4 mm
Hand Width without Thumb (44)	Percentil 0.1	54.5 mm
	Percentil 1	58.4 mm
	Percentil 99	76.4 mm
	Percentil 99.9	85.5 mm
Hand Length (43)	Percentil 0.1	146.5 mm
	Percentil 1	151.0 mm
	Percentil 99	172.7 mm
	Percentil 99.9	183.5 mm

Fonte: De autoria própria

ANEXO D – Catálogos

Modelo	Tensão nominal (V)	Capacidade a 25°C (Ah) / 1,75Vpe			Dimensões (mm)				Peso (kg)
		C3	C10	C20	Comp.	Larg.	Alt.		
							Com polo	Sem polo	
12MF26	12	20,0	24	26	197	130	184	159	9,1
12MF30	12	22,3	27	30	197	130	184	159	9,9
12MF30A	12	22,3	27	30	197	130	228	203	9,7
12MF36	12	26,0	34	36	212	175	175	175	11,36
12MF36A	12	26,0	34	36	212	175	190	190	11,9
12MF45	12	33,9	41	45	212	175	175	175	12,6
12MF45A	12	33,9	41	45	212	175	190	190	12,8
12MF55	12	41,2	50	55	242	175	175	175	14,4
12MF63	12	43,0	55	63	282	175	175	175	17,8
12MF75A	12	56,0	68	75	282	175	190	190	18,1
12MF80	12	64,0	74	80	306	172	227	202	22,4
12MF100	12	74,3	90	100	397	105	280	280	24,1
12MF105	12	78,2	95	105	330	172	244	219	26,5
12MF150	12	103,4	135	150	509	211	246	221	42,5
12MF170	12	121,0	153	170	560	125	316	316	46,3
12MF175	12	125,2	160	175	517	272	246	221	52,15
12MF180	12	132,0	162	180	560	125	316	316	47,3
12MF180A	12	132,0	162	180	509	211	246	221	43,5
12MF200	12	147,0	180	200	560	125	316	316	48,5
12MF220	12	166,9	200	220	517	272	246	221	57,35

Figura 52 - Catálogo de baterias Moura Clean MF

Fonte: Moura, 2024

Correntes de descarga (A) em diferentes regimes a 25°C (tensão final 10,5V)

Modelo	HORAS																MINUTOS		
	100hs	20hs	10hs	9hs	8hs	7hs	6hs	5hs	4,5hs	4hs	3,5hs	3hs	2,5hs	2hs	1,5hs	1h	45'	30'	15'
Bateria	0,3	1,3	2,4	2,6	2,9	3,3	3,8	4,4	4,9	5,4	6	7	8,2	10	12,8	18	21	25	40
DF300	0,3	1,3	2,4	2,6	2,9	3,3	3,8	4,4	4,9	5,4	6	7	8,2	10	12,8	18	21	25	40
DF500	0,4	1,8	3	3,3	3,7	4,2	4,9	5,8	6,2	6,8	7,6	8,6	9,9	12	15	20	25,3	33	52
DF700	0,5	2,3	4,1	4,5	5	5,6	6,5	7,5	8,2	9,2	10	11,5	13,6	16,3	21	27	32	43	65
DF1000	0,7	3	5,4	5,8	6,4	7,3	8,2	9,8	10,5	11,5	12,5	14,5	17	19	25,2	35	42,5	55	84
DF1500	0,93	4	7,6	8,2	9	10	11,5	13,2	14,5	16	18,2	21	25	29,5	38	54	69	90	130
DF2000	1,2	5,3	9,4	10,2	11,5	13	14,5	17	18,4	20,3	22,6	25	29,5	34,5	44	60	75	96	150
DF2500	1,7	7,5	13	14,4	16,2	18	20	23	25	28	31	34	40	47	58	81	99	130	200
DF3000	1,9	8,5	15,6	17	19	21,4	24,7	28	30	33	36	41	48	57	72	95	112	152	231
DF4000 DF4001 DF4100	2,4	11	20	21,5	24	26,5	30	35	38	41,5	46	52	60	72	90	120	145	191	290

Capacidade em ampère-hora (Ah) a 25°C em diferentes regimes de descarga (tensão final 10,5V)


Modelo	HORAS																MINUTOS		
	100hs	20hs	10hs	9hs	8hs	7hs	6hs	5hs	4,5hs	4hs	3,5hs	3hs	2,5hs	2hs	1,5hs	1h	45'	30'	15'
Bateria	30	26	24	23,8	23,5	23,1	22,8	22	21,9	21,6	21	21	20,5	20	19,2	18	15,8	12,5	10
DF300	30	26	24	23,8	23,5	23,1	22,8	22	21,9	21,6	21	21	20,5	20	19,2	18	15,8	12,5	10
DF500	40	36	30	29,9	29,8	29,7	29,4	28,8	27,7	27	26,6	25,8	24,8	24	22,5	20	19	16,5	13
DF700	50	45	41	40,5	40	39,5	39,2	37,5	37,1	36,8	35	34,5	34	32,5	27	24	21,5	16,3	
DF1000	70	60	54	51,8	51,6	51,1	49,2	49	47,3	46	43,8	43,5	42,5	38	37,8	35	31,9	27,5	21
DF1500	93	80	76	73,8	72	70	69	66	65,3	64	63,7	63	62,5	59	57	54	51,8	45	32,5
DF2000	115	105	94	92	91,8	91	87	85	82,8	81,2	79,1	75	73,8	69	66	60	56,3	48	37,5
DF2500	165	150	130	129,8	129,6	126	120	115	112,5	112	108,5	102	100	94	87	81	74,3	65	50
DF3000	185	170	156	153	152	150	148,2	140	135	132	126	123	120	114	108	95	84	76	57,8
DF4000 DF4001 DF4100	240	220	200	193,5	192	185,5	180	175	171	166	161	156	150	144	135	120	108,8	95,5	72

Watts (W) a 25°C (tensão final 10,5V)

Modelo	HORAS																MINUTOS		
	100hs	20hs	10hs	9hs	8hs	7hs	6hs	5hs	4,5hs	4hs	3,5hs	3hs	2,5hs	2hs	1,5hs	1h	45'	30'	15'
Bateria	4	16	29	32	35	40	46	53	58	65	72	84	98	120	154	216	253	300	480
DF300	4	16	29	32	35	40	46	53	58	65	72	84	98	120	154	216	253	300	480
DF500	5	22	36	40	45	51	59	69	74	81	91	103	119	144	180	240	304	396	576
DF700	6	27	49	54	60	68	78	90	99	110	120	138	163	195	252	324	384	502	750
DF1000	8	36	65	69	77	88	98	118	126	138	150	174	204	228	302	420	459	594	907
DF1500	11	48	91	98	108	120	138	158	174	192	218	252	300	354	456	648	746	972	1404
DF2000	14	63	113	123	138	156	174	204	221	244	271	300	354	414	528	720	811	1037	1620
DF2500	20	90	156	173	194	216	240	276	300	336	372	408	480	564	696	972	1070	1404	2160
DF3000	22	102	187	204	228	257	296	336	360	396	432	492	576	684	864	1140	1210	1642	2497
DF4000 DF4001 DF4100	29	132	240	258	288	318	360	420	456	498	552	624	720	864	1080	1440	1567	2063	3110

Figura 53 – Catálogo de baterias Freedom DF
Fonte: Freedom/Heliar, 2024

Tubos Industriais Redondos



Bitolas D		Espessura da parede mm	Peso teórico barra 6m	Bitolas D		Espessura da parede mm	Peso teórico barra 6m	Bitolas D		Espessura da parede mm	Peso teórico barra 6m
pol	mm			pol	mm			pol	mm		
1/4"	6,30	0,90	0,719	27/32"	21,30	2,65	7,312	1 5/16"	33,40	2,00	9,292
		1,00	0,780			3,00	8,123			2,25	10,370
		1,20	0,906			3,35	8,897			2,65	12,056
5/16"	7,94	0,75	0,797			3,75	9,737			3,00	13,493
		0,90	0,937			0,75	2,382			3,35	14,894
		1,20	1,197	0,90	2,838	3,75	16,451				
3/8"	9,52	1,50	1,429	1,20	3,732	4,25	18,330				
		0,75	0,973	1,50	4,598	4,75	20,135				
		0,90	1,148	1,90	5,712	5,30	22,036				
13/32"	10,00	1,20	1,477	2,00	5,983	1 3/8"	34,92			0,90	4,53
		1,50	1,780	2,25	6,648			1,20	5,980		
		0,90	1,212	2,65	7,673			1,50	7,416		
1/2"	12,70	1,20	1,562	3,00	8,531			1,90	9,282		
		1,50	1,886	0,75	2,735			2,00	9,742		
		0,75	1,326	0,90	3,263			2,25	10,876		
5/8"	15,87	0,90	1,571	1,20	4,296			2,65	12,653		
		1,20	2,042	1,50	5,304			3,00	14,168		
		1,50	2,486	1,90	6,606			3,35	15,648		
3/4"	19,05	2,00	3,170	2,00	6,924			1 1/2"	38,10	0,90	4,953
		0,75	1,678	2,25	7,707	1,20	6,552				
		0,90	1,992	2,65	8,920	1,50	8,124				
13/16"	20,70	1,20	2,604	3,00	9,943	1,90	10,176				
		1,50	3,189	3,75	12,013	2,00	10,682				
		1,90	3,927	0,75	3,091	2,25	11,934				
27/32"	21,30	2,00	4,104	0,90	3,688	2,65	13,900				
		0,75	2,031	1,20	4,866	3,00	15,580				
		0,90	2,418	1,50	6,014	3,35	17,224				
1 1/8"	28,60	1,20	3,168	1,90	7,506	3,75	19,059				
		1,50	3,894	2,00	7,871	0,90	5,376				
		1,90	4,821	2,25	8,772	1,20	7,115				
1 1/4"	31,75	2,25	5,592	2,65	10,175	1,50	8,826				
		2,65	6,430	3,00	11,363	1,90	11,068				
		3,00	7,124	3,35	12,516	2,00	11,621				
1 5/8"	41,27	3,75	10,929	3,75	13,788	2,25	12,990				
		0,75	2,654	0,75	3,440	2,65	15,143				
		0,90	2,636	0,90	4,108	3,00	16,987				
1 3/4"	44,45	1,20	3,462	1,20	5,424	3,35	18,796				
		1,50	4,261	1,50	6,714	3,75	20,817				
		1,90	5,285	1,90	8,394	0,90	5,799				
27/32"	21,30	2,25	7,077	2,00	8,803	1,20	7,680				
		1,20	3,569	2,25	9,822	1,50	9,532				
		1,50	4,394	2,65	11,410	1,90	11,962				
27/32"	21,30	1,90	5,454	3,00	12,762	2,00	12,561				
		2,00	5,711	3,75	14,076	2,25	14,049				
		2,25	6,431	3,75	15,535						

Figura 54: Catálogo de tubos redondos pequenos

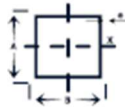
Fonte: Tubos Oliveira, 2024



Bitolas D		Espessura da parede mm	Peso teórico barra 6m	Bitolas D		Espessura da parede mm	Peso teórico barra 6m	Bitolas D		Espessura da parede mm	Peso teórico barra 6m
pol	mm			pol	mm			pol	mm		
1 3/4"	44,45	2,65	16,392	2 5/16"	58,74	2,00	16,790	2 3/4"	69,85	6,30	59,238
		3,00	18,398			2,25	18,806			3,00	31,08
		3,35	20,372			2,65	21,992			3,35	34,533
		3,75	22,582			3,00	24,742			3,75	38,434
		4,25	25,278			3,35	27,455			4,25	43,244
		4,75	27,901			0,90	7,909			4,75	47,987
1 7/8"	47,60	0,90	6,218	2 3/8"	60,30	1,20	10,493	3"	76,20	0,90	10,272
		1,20	8,238			1,50	13,050			1,20	13,316
		1,50	10,231			1,90	16,418			1,50	18,578
		1,90	12,847			2,00	17,252			1,90	20,886
		2,00	13,494			2,25	19,325			2,00	21,957
		2,25	15,097			2,65	22,604			2,25	25,618
2"	50,80	2,65	17,625	2 1/2"	63,50	3,00	25,434	3 1/4"	82,55	2,65	28,842
		3,00	19,797			3,35	28,228			3,00	32,496
		0,90	6,644			3,75	31,377			3,35	36,109
		1,20	8,806			4,25	35,246			3,75	40,199
		1,50	10,944			4,75	39,041			4,25	45,215
		1,90	13,746			5,30	43,130			4,75	50,497
		2,00	14,440			5,60	45,323			5,30	55,598
		2,25	16,164			6,30	50,335			5,60	58,497
		2,65	18,880			7,11	55,956			6,30	65,157
		3,00	21,216			1,20	11,061			2,00	23,836
		3,35	23,516			1,50	13,764			2,25	26,732
		3,75	26,106			1,90	17,316			2,65	31,328
4,25	29,272	2,00	18,199	3,00	35,310						
4,75	32,364	2,25	20,394	3,35	43,722						
5,30	33,680	2,65	23,862	3,75	54,679						
5,60	37,451	3,00	26,856	4,75	54,679						
6,30	41,480	3,35	29,814	1,20	15,571						
2 1/4"	57,15	0,90	7,490	2 3/4"	69,85	1,20	12,188	3 1/2"	88,90	1,20	15,571
		1,20	9,993			1,50	15,169			1,50	19,398
		1,50	12,350			1,90	19,102			1,90	24,548
		1,90	15,532			2,00	20,078			2,00	25,751
		2,00	16,319			2,25	22,504			2,25	28,847
		2,25	18,276			2,65	26,348			2,65	33,88
		2,65	21,369			3,00	29,673			3,00	38,129
		3,00	24,036			3,35	32,961			3,35	42,404
		3,35	26,667			3,75	36,675			3,75	47,245
		3,75	29,629			4,25	41,251			4,25	53,230
		3,75	33,265			4,75	45,752			4,75	59,141
		4,25	33,265			0,90	7,702			5,30	65,558
4,75	36,830	1,20	10,216	5,60	69,020						
0,90	7,702	1,50	12,704	6,30	76,995						
1,20	10,216	1,90	15,979	2,00	27,594						
1,50	12,704	2,65	21,369	2,65	36,307						
1,90	15,979	3,00	24,036	3,00	40,947						
		3,35	26,667	3,75	50,768						

Figura 55: Catálogo de tubos redondos médios

Fonte: Tubos Oliveira, 2024



Tubos Industriais Quadrados

Dimensões		Espessura da parede mm	Peso teórico barra 6m	Bótolas D		Espessura da parede mm	Peso teórico barra 6m	Bótolas D		Espessura da parede mm	Peso teórico barra 6m
mm	mm			mm	mm			mm	mm		
16,00	16,00	0,90	2,586	40,00	40,00	3,75	26,105	60,00	60,00	7,11	72,682
		1,20	3,395			4,25	29,272			1,50	17,565
		1,50	4,177			4,75	32,364			1,90	22,137
		1,90	5,178			2,00	16,320			2,00	23,273
19,05	19,05	2,00	6,570	45,00	45,00	3,35	26,667	63,50	63,50	2,25	26,097
		2,25	7,310			3,75	29,629			2,65	30,581
		2,65	8,45			1,50	13,760			3,00	34,465
		3,00	9,410			1,90	17,316			3,35	38,312
20,00	20,00	0,90	3,262	50,00	50,00	2,00	18,198	70,00	70,00	3,75	42,665
		1,20	4,296			2,25	20,391			4,25	48,039
		1,50	5,304			2,65	23,859			4,75	53,400
		1,90	6,606			3,00	26,854			5,30	59,085
		2,00	6,924			3,35	29,814			5,60	62,180
25,00	25,00	0,90	4,108	55,00	55,00	4,25	37,258	75,00	75,00	6,30	69,300
		1,20	5,424			4,75	41,290			1,20	15,571
		1,50	6,714			5,30	45,640			1,50	19,398
		1,90	8,391			5,60	47,975			1,90	24,458
		2,00	8,803			6,30	53,319			2,00	25,715
		2,25	9,821			7,11	59,322			2,25	28,847
30,00	30,00	2,65	11,410	60,00	60,00	1,20	12,188	76,20	76,20	2,65	33,818
		3,00	12,761			1,50	15,169			3,00	38,129
		0,90	4,953			1,90	19,102			3,35	42,404
		1,20	6,552			2,00	20,078			3,75	47,245
		1,50	8,124			2,65	26,348			4,25	53,230
		1,90	10,176			3,00	29,673			4,75	59,141
		2,00	10,683			4,25	41,251			5,30	65,558
35,00	35,00	2,65	13,900	65,00	65,00	4,75	45,753	77,00	77,00	5,60	69,020
		3,00	15,580			5,30	50,619			6,30	76,995
		0,90	5,799			5,60	53,236			7,11	86,043
		1,20	7,680			6,30	59,238			3,00	41,623
		1,50	9,534			7,11	66,002			3,35	46,307
		1,90	11,964			1,20	13,316			3,75	51,612
		2,00	12,561			1,50	16,578			4,25	58,181
38,00	38,00	2,25	14,049	70,00	70,00	1,90	20,886	78,00	78,00	4,75	64,675
		2,65	16,389			2,00	21,958			5,30	71,733
		3,00	18,402			2,25	24,619			5,60	74,282
		1,50	10,377			2,65	28,838			6,30	82,915
40,00	40,00	2,00	13,689	75,00	75,00	3,00	32,492	80,00	80,00	7,11	92,723
		3,00	20,090			3,35	36,109			3,00	41,623
		0,90	6,664			3,75	40,200			3,35	46,307
		1,20	8,808			4,25	45,244			3,75	51,612
		1,50	10,942			4,75	50,216			4,25	58,181
		1,90	13,746			5,30	55,599			4,75	64,675
		2,00	14,441			5,60	58,497			5,30	71,733
		2,25	16,163			6,30	65,157			5,60	75,545
		2,65	18,879							6,30	84,335
		3,00	21,216								
3,35	23,519										

Figura 56: Catálogo de tubos quadrados.

Fonte: Tubos Oliveira, 2024

Barra chata laminada

Tamanho nominal		Peso aprox. kg/m	Tamanho nominal		Peso aprox. kg/m
pol.	mm		pol.	mm	
—	12,70 x 2,50	0,24	1" x 3/8"	25,40 x 9,53	1,90
—	15,88 x	0,31	1.1/4" x	31,75 x	2,38
3/8" x 1/8"	9,53 x 3,18	0,24	1.1/2" x	38,10 x	2,85
1/2" x	12,70 x	0,32	2" x	50,80 x	3,80
5/8" x	15,88 x	0,40	2.1/2" x	63,50 x	4,75
3/4" x	19,05 x	0,48	3" x	76,20 x	5,70
7/8" x	22,23 x	0,56	4" x	101,60 x	7,60
1" x	25,40 x	0,63	6" x	152,40 x	11,40
1.1/4" x	31,75 x	0,72	7/8" x 1/2"	22,23 x 12,70	2,22
1.1/2" x	38,10 x	0,87	1.1/4" x	31,75 x	3,17
2" x	50,80 x	1,27	1.1/2" x	38,10 x	3,80
1/2" x 3/16"	12,70 x 4,76	0,48	2" x	50,80 x	5,06
5/8" x	15,88 x	0,59	2.1/2" x	63,50 x	6,33
3/4" x	19,05 x	0,71	3" x	76,20 x	7,60
7/8" x	22,23 x	0,83	4" x	101,60 x	10,13
1" x	25,40 x	0,95	6" x	152,40 x	15,20
1.1/4" x	31,75 x	1,19	1.1/2" x 5/8"	38,10 x 15,88	4,75
1.1/2" x	38,10 x	1,42	1.3/4" x	44,45	5,39
2" x	50,80 x	1,90	2" x	50,80 x	6,33
1/2" x 1/4"	12,70 x 6,35	0,59	2.1/2" x	63,50 x	7,92
5/8" x	15,88 x	0,79	3" x	76,20 x	9,50
3/4" x	19,05 x	0,95	3.1/2" x	88,90 x	10,84
7/8" x	22,23 x	1,11	4" x	101,60 x	12,67
1" x	25,40 x	1,27	6" x	152,40 x	19,00
1.1/4" x	31,75 x	1,58	3.1/2" x 11/16"	88,90 x 17,46	11,94
1.1/2" x	38,10 x	1,90	2" 3/4"	50,80 x 19,05	7,60
2" x	50,80 x	2,53	2.1/2" x	63,50 x	9,50
2.1/2" x	63,50 x	3,17	3" x	76,20 x	11,40
3" x	76,20 x	3,80	3.1/2" x	88,90 x	13,05
4" x	101,60 x	5,07	4" x	101,60 x	15,19
5" x	127,00 x	6,30	6" x	152,40 x	22,80
6" x	152,40 x	7,60	2.1/2" x 7/8"	63,50 x 22,23	10,87
1" x 5/16"	25,40 x 7,94	1,58	2.1/2" x 1"	63,50 x 25,40	12,66
1.1/4" x	31,75 x	1,98	3" x	76,20 x	15,19
1.1/2" x	38,10 x	2,38	3.1/2" x	88,90 x	20,26
2" x	50,80 x	3,17	4" x	101,60 x	20,26
2.1/2" x	63,50 x	3,96			
3" x	76,20 x	4,75			
4" x	101,60 x	6,33			
5" x	127,00 x	7,90			
6" x	152,40 x	9,50			

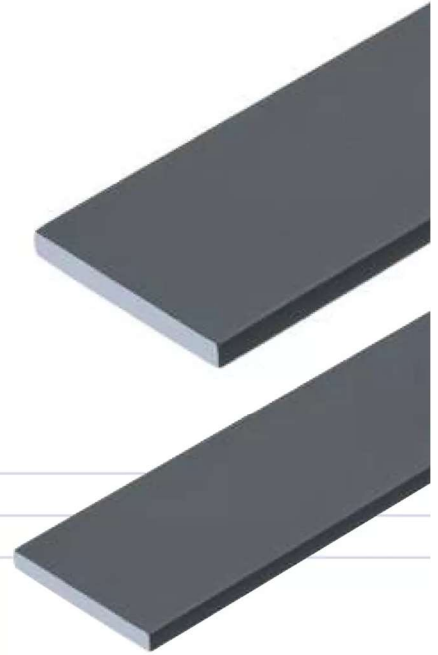


Figura 57: Catálogo de barra chata laminada
 Fonte: Gerdau, 2024

[GERDAU INDÚSTRIA]

Barra redonda mecânica laminada

Tamanho nominal		Peso aproximado kg/m
pol.	mm	
1/4"	6,35	0,25
5/16"	7,94	0,39
3/8"	9,53	0,56
1/2"	12,70	0,99
9/16"	14,29	1,26
5/8"	15,88	1,56
11/16"	17,46	1,88
3/4"	19,05	2,24
7/8"	22,23	3,05
1"	25,40	3,98
1.1/8"	28,58	5,04
1.1/4"	31,75	6,22
1.5/16"	33,34	6,85
1.3/8"	34,93	7,52
1.7/16"	36,51	8,22
1.1/2"	38,10	8,95
1.9/16"	39,69	9,71
1.5/8"	41,28	10,50
—	42,00	10,90
1.3/4"	44,45	12,18
1.13/16"	46,04	13,06
1.7/8"	47,63	13,98
2"	50,80	15,91
2.1/16"	52,39	16,92
2.1/8"	53,98	17,96
2.1/4"	57,15	20,14
2.3/8"	60,33	22,43
2.7/16"	61,91	23,63
2.1/2"	63,50	24,86
2.9/16"	65,08	26,11
3.1/16"	77,79	37,30
2.5/8"	66,68	27,40
2.3/4"	69,85	30,08
2.7/8"	73,03	32,87
3"	76,20	35,79
3.1/8"	79,38	38,84
3.1/4"	82,55	42,01
3.1/2"	88,90	48,73
3.3/4"	95,25	55,94
4"	101,60	63,64
4.1/16"	103,19	65,64



Figura 58: Catálogo de barra redonda

Fonte: Gerdau, 2024

ANEXO E – Tabelas de Cálculo

Tabela 44 - Deslocamento elástico de vigas - Parte 1.

DESLOCAMENTOS ELÁSTICOS EM VIGAS				
CASO	VINCULAÇÃO E CARREGAMENTO	FLECHA		EQUAÇÃO DA ELÁSTICA
		W_{max}	x	
1		$\frac{1}{8} \frac{p\ell^4}{EI}$	0	$\frac{p\ell^4}{24EI} (\alpha^4 - 4\alpha + 3)$
2		$\frac{1}{30} \frac{p\ell^4}{EI}$	0	$\frac{p\ell^4}{120EI} (\alpha^5 - 5\alpha + 4)$
3		$\frac{11}{120} \frac{p\ell^4}{EI}$	0	$\frac{p\ell^4}{120EI} (-\alpha^5 + 5\alpha^4 - 15\alpha + 11)$
4		$\frac{1}{3} \frac{P\ell^3}{EI}$	0	$\frac{P\ell^3}{6EI} (\alpha^3 - 3\alpha + 2)$
5		$\frac{1}{2} \frac{M\ell^2}{EI}$	0	$\frac{M\ell^2}{2EI} (1 - \alpha)^2$
6		$\frac{5}{384} \frac{p\ell^4}{EI}$	0,5l	$\frac{p\ell^4\alpha}{24EI} (\alpha^3 - 2\alpha^2 + 1)$
7		$\frac{3}{460} \frac{p\ell^4}{EI}$ (*)	0,519l	$\frac{p\ell^4\alpha}{360EI} (3\alpha^4 - 10\alpha^2 + 7)$
8		$\frac{1}{120} \frac{p\ell^4}{EI}$	0,5l	$\frac{p\ell^4\alpha}{960EI} (16\alpha^4 - 40\alpha^2 + 25)$ (**)
9		$\frac{1}{48} \frac{P\ell^3}{EI}$	0,5l	$\frac{P\ell^3\alpha}{48EI} (-4\alpha^2 + 3)$ (**)
10		(a ≥ b) $\frac{Pb}{3EI\ell} \sqrt{\left(\frac{\ell^2 - b^2}{3}\right)^3}$	$\sqrt{\left(\frac{\ell^2 - b^2}{3}\right)}$	$x < a: \frac{Pbx}{6EI\ell} (\ell^2 - b^2 - x^2)$ $x = a: \frac{Pa^2b^2}{3EI\ell}$ $x > a: \frac{Pa(\ell - x)}{6EI\ell} (2\ell x - a^2 - x^2)$
11		$\frac{1}{9\sqrt{3}} \frac{M\ell^2}{EI}$	0,423l	$\frac{M\ell^2\alpha}{6EI} (\alpha^2 - 3\alpha + 2)$
12		(a ≥ 0,423l) $\frac{M}{3EI\ell} \sqrt{\left(\frac{\ell^2 - b^2}{3}\right)^3}$	$\sqrt{\left(\frac{\ell^2 - b^2}{3}\right)}$	$x < a: \frac{Mx}{6EI\ell} (\ell^2 - 3b^2 - x^2)$ $x > a: \frac{M(\ell - x)}{6EI} (x^2 + 3a^2 - 2\ell x)$

Extraída de ISNARD; GREKOW; MROZOWICZ (1971) e de SCHIEL (1976).
 Revista e adaptada por Libânio M. Pinheiro, Bruna Catoia e Thiago Catoia.
 $\alpha = x/\ell$ (*) Valor aproximado (** $\alpha \leq 0,5$)

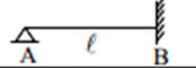
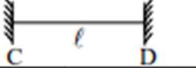
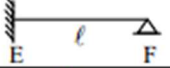
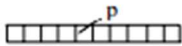
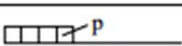


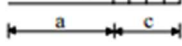
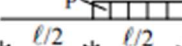
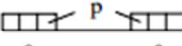
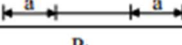

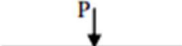
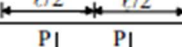
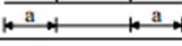
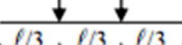

Tabela 45 - Deslocamento elástico de vigas - Parte 2.

CASO	VINCULAÇÃO E CARREGAMENTO	FLECHA		EQUAÇÃO DA ELÁSTICA
		W_{max}	x	
13		$\frac{M\ell^2}{8EI}$	$0,5\ell$	$\frac{M\ell^2\alpha}{2EI}(1-\alpha)$
14		$\frac{3}{554} \frac{p\ell^4}{EI}$ (*)	$0,422\ell$	$\frac{p\ell^4}{48EI}(2\alpha^4 - 3\alpha^3 + \alpha)$
15		$\frac{3}{1258} \frac{p\ell^4}{EI}$ (*)	$0,447\ell$	$\frac{p\ell^4}{120EI}(\alpha^5 - 2\alpha^3 + \alpha)$
16		$\frac{1}{328} \frac{p\ell^4}{EI}$ (*)	$0,402\ell$	$\frac{p\ell^4}{240EI}(-2\alpha^5 + 10\alpha^4 - 11\alpha^3 + 3\alpha)$
17		$\frac{M\ell^2}{27EI}$	$\frac{1}{3}\ell$	$\frac{M\ell^2}{4EI}(\alpha^3 - 2\alpha^2 + \alpha)$
18		$\frac{1}{384} \frac{p\ell^4}{EI}$	$0,5\ell$	$\frac{p\ell^4}{24EI}(\alpha^4 - 2\alpha^3 + \alpha^2)$
19		$\frac{1}{764} \frac{p\ell^4}{EI}$ (*)	$0,525\ell$	$\frac{p\ell^4}{120EI}(\alpha^5 - 3\alpha^3 + 2\alpha^2)$
20		$\frac{7}{3840} \frac{p\ell^4}{EI}$	$0,5\ell$	$\frac{p\ell^4}{960EI}(16\alpha^5 - 40\alpha^3 + 25\alpha^2)$ (**)
21		$\frac{1}{192} \frac{P\ell^3}{EI}$	$0,5\ell$	$\frac{P\ell^3}{48EI}(-4\alpha^3 + 3\alpha^2)$ (**)
22		$\frac{pa}{24EI}(6a^2\ell + 3a^3 - \ell^3)$ $\frac{p\ell^2}{384EI}(5\ell^2 - 24a^2)$	$-a$ $0,5\ell$	$x < 0:$ $\frac{px}{24EI}(x^3 + 4ax^2 + 6a^2x + \ell^3 - 6a^2\ell)$ $0 < x < \ell:$ $\frac{px}{24EI}(x^3 - 2\ell x^2 + 6a^2x - 6a^2\ell + \ell^3)$
23		$\frac{Pa^2}{6EI}(2a + 3\ell)$ $-\frac{Pa\ell^2}{8EI}$	$-a$ $0,5\ell$	$x < 0:$ $\frac{Px}{6EI}(x^2 + 3ax - 3a\ell)$ $0 < x < \ell:$ $\frac{Pa}{2EI}x(x - \ell)$

Extraída de ISNARD; GREKOW; MROZOWICZ (1971) e de SCHIEL (1976).
 Revista e adaptada por Libânio M. Pinheiro, Bruna Catoia e Thiago Catoia.
 $\alpha = x/\ell$ (*) Valor aproximado (***) $\alpha \leq 0,5$

Fonte: UFSCAR

Tabela 46: Momento engastamento perfeito.

CARREGAMENTO		MOMENTOS DE ENGASTAMENTO PERFEITO			
					
		M_{BA}	M_{CD}	M_{DC}	M_{EF}
1		$-\frac{p\ell^2}{8}$	$\frac{p\ell^2}{12}$	$-\frac{p\ell^2}{12}$	$\frac{p\ell^2}{8}$
2		$-\frac{pc}{16\ell}(3\ell^2 - c^2)$	$\frac{pc}{24\ell}(3\ell^2 - c^2)$	$-\frac{pc}{24\ell}(3\ell^2 - c^2)$	$\frac{pc}{16\ell}(3\ell^2 - c^2)$
3		$-\frac{pc^2}{8\ell^2}(2\ell^2 - c^2)$	$\frac{pc^2}{12\ell^2}(6b^2 + 4bc + c^2)$	$-\frac{pc^2}{12\ell^2}(4bc + c^2)$	$\frac{pc^2}{8\ell^2}(\ell + b)^2$
4		$-\frac{7}{128}p\ell^2$	$\frac{11}{192}p\ell^2$	$-\frac{5}{192}p\ell^2$	$\frac{9}{128}p\ell^2$
5		$-\frac{pc^2}{8\ell^2}(\ell + a)^2$	$\frac{pc^2}{12\ell^2}(4ac + c^2)$	$-\frac{pc^2}{12\ell^2}(6a^2 + 4ac + c^2)$	$\frac{pc^2}{8\ell^2}(2\ell^2 - c^2)$
6		$-\frac{9}{128}p\ell^2$	$\frac{5}{192}p\ell^2$	$-\frac{11}{192}p\ell^2$	$\frac{7}{128}p\ell^2$
7		$-\frac{pa^2}{4\ell}(3\ell - 2a)$	$\frac{pa^2}{6\ell}(3\ell - 2a)$	$-\frac{pa^2}{6\ell}(3\ell - 2a)$	$\frac{pa^2}{4\ell}(3\ell - 2a)$
8		$-\frac{pa^2}{4\ell}(3\ell - 2a)$	$\frac{pa^2}{2\ell^2}(\ell - a)^2$	$-\frac{pa^2}{2\ell^2}(\ell - a)^2$	$\frac{pa^2}{4\ell}(3\ell - 2a)$
9		$-\frac{Pab}{2\ell^2}(\ell + a)$	$\frac{Pab^2}{\ell^2}$	$-\frac{Pa^2b}{\ell^2}$	$\frac{Pab}{2\ell^2}(\ell + b)$
10		$-\frac{3P\ell}{16}$	$\frac{P\ell}{8}$	$-\frac{P\ell}{8}$	$\frac{3P\ell}{16}$
11		$-\frac{3Pa}{2\ell}(\ell - a)$	$\frac{Pa}{\ell}(\ell - a)$	$-\frac{Pa}{\ell}(\ell - a)$	$\frac{3Pa}{2\ell}(\ell - a)$
12		$-\frac{P\ell}{3}$	$\frac{2P\ell}{9}$	$-\frac{2P\ell}{9}$	$\frac{P\ell}{3}$
13		$-\frac{15P\ell}{32}$	$\frac{5P\ell}{16}$	$-\frac{5P\ell}{16}$	$\frac{15P\ell}{32}$
14		$-\frac{P\ell}{8n}(n^2 - 1)$	$\frac{P\ell}{12n}(n^2 - 1)$	$-\frac{P\ell}{12n}(n^2 - 1)$	$\frac{P\ell}{8n}(n^2 - 1)$
15		$-\frac{M}{2\ell^2}(\ell^2 - 3a^2)$	$\frac{Mb}{\ell^2}(3b - 2\ell)$	$-\frac{Ma}{\ell^2}(2\ell - 3a)$	$\frac{M}{2\ell^2}(3b^2 - \ell^2)$
16		$-\frac{P\ell}{16n}(2n^2 + 1)$	$\frac{P\ell}{24n}(2n^2 + 1)$	$-\frac{P\ell}{24n}(2n^2 + 1)$	$\frac{P\ell}{16n}(2n^2 + 1)$

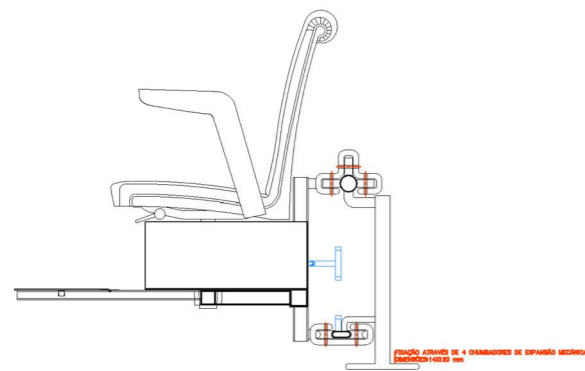
Extraída de SOUZA; ANTUNES (1983), JIMENES MONTOYA; GARCIA MESEGUER; MORAN CABRE (1973) e de SCHREYER (1965). Convenção de GRINTER. (*) $n = \ell / a$
 Revista e adaptada por Libânio M. Pinheiro, Bruna Catoia e Thiago Catoia.

Fonte: UFSCAR

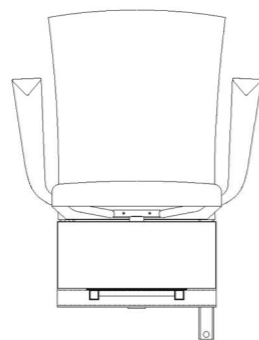
ANEXO F – Desenhos Técnicos

PLATAFORMA ELEVADOR PARA PESSOAS COM MOBILIDADE REDUZIDA

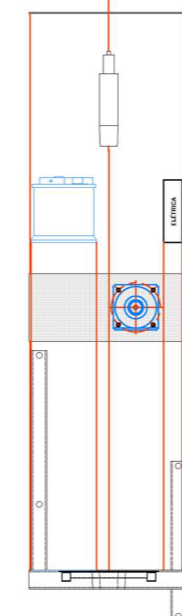
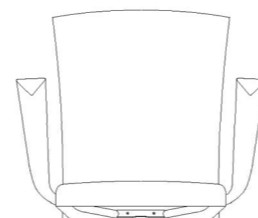
ERGONOMIA COM ÊNFASE EM IDOSOS



1 DESENHO TÉCNICO DA CADEIRA ELEVADOR
1:50

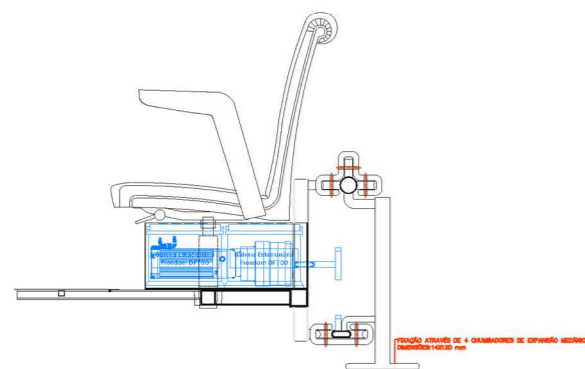


2 DESENHO TÉCNICO DA CADEIRA ELEVADOR
1:50

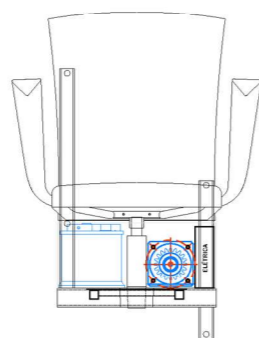


5 VISTA EXPLODIDA DA CADEIRA ELEVADOR
1:50

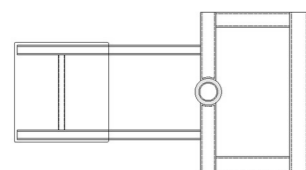
Cadeira para idosos com baixa estatura:
 Altura encosto: 760 mm; Regulagem: +281mm
 Comprimento banco: 410 (Mínimo); Regulagem +92,5mm
 Altura do banco: 290 mm (Mínimo); Regulagem +185mm
 Comprimento da plataforma: 310mm (Pé máximo)
 Altura dos braços (Mínimo): 245mm; Regulagem: +50mm



3 DESENHO TÉCNICO DA CADEIRA SEM A TAMPA LATERAL
1:50

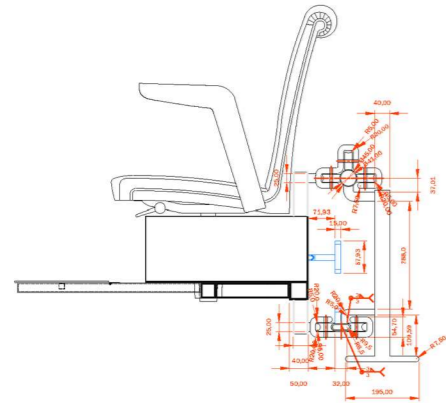


4 DESENHO TÉCNICO DA CADEIRA SEM A TAMPA FRONTAL
1:50

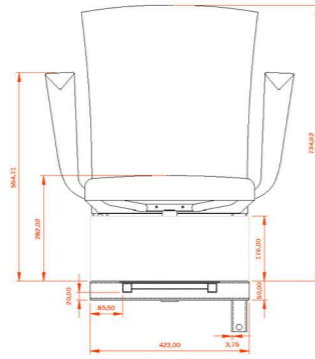


6 VISTA SUPERIOR DA BASE METÁLICA INFERIOR DA CADEIRA
1:50

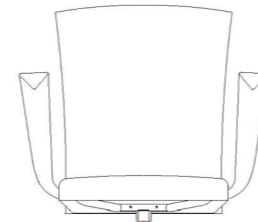
PLATAFORMA ELEVADOR PARA PESSOAS COM MOBILIDADE REDUZIDA ERGONOMIA COM ÊNFASE EM IDOSOS



7 DESENHO TÉCNICO DA CADEIRA ELEVADOR

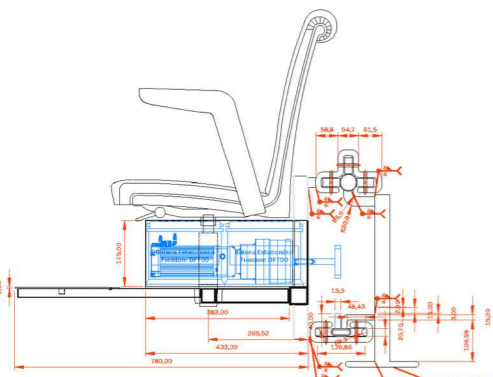


8 DESENHO TÉCNICO DA CADEIRA ELEVADOR

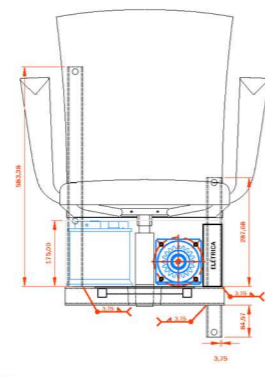


11 VISTA EXPLODIDA DA CADEIRA ELEVADOR

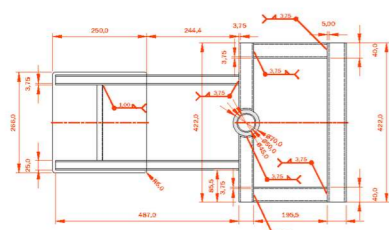
Cadeira para idosos com baixa estatura:
 Altura encosto: 760 mm; Regulagem: +281mm
 Comprimento banco: 410 (Mínimo); Regulagem +92,5mm
 Altura do banco: 290 mm (Mínimo); Regulagem +185mm
 Comprimento da plataforma: 310mm (Pé máximo)
 Altura dos braços (Mínimo): 245mm; Regulagem: +50mm



9 DESENHO TÉCNICO DA CADEIRA SEM A TAMPA LATERAL



10 DESENHO TÉCNICO DA CADEIRA SEM A TAMPA FRONTAL



12 VISTA SUPERIOR DA BASE METÁLICA INFERIOR DA CADEIRA

A

B

C

D

E

F

G

H

A

B

C

D

E

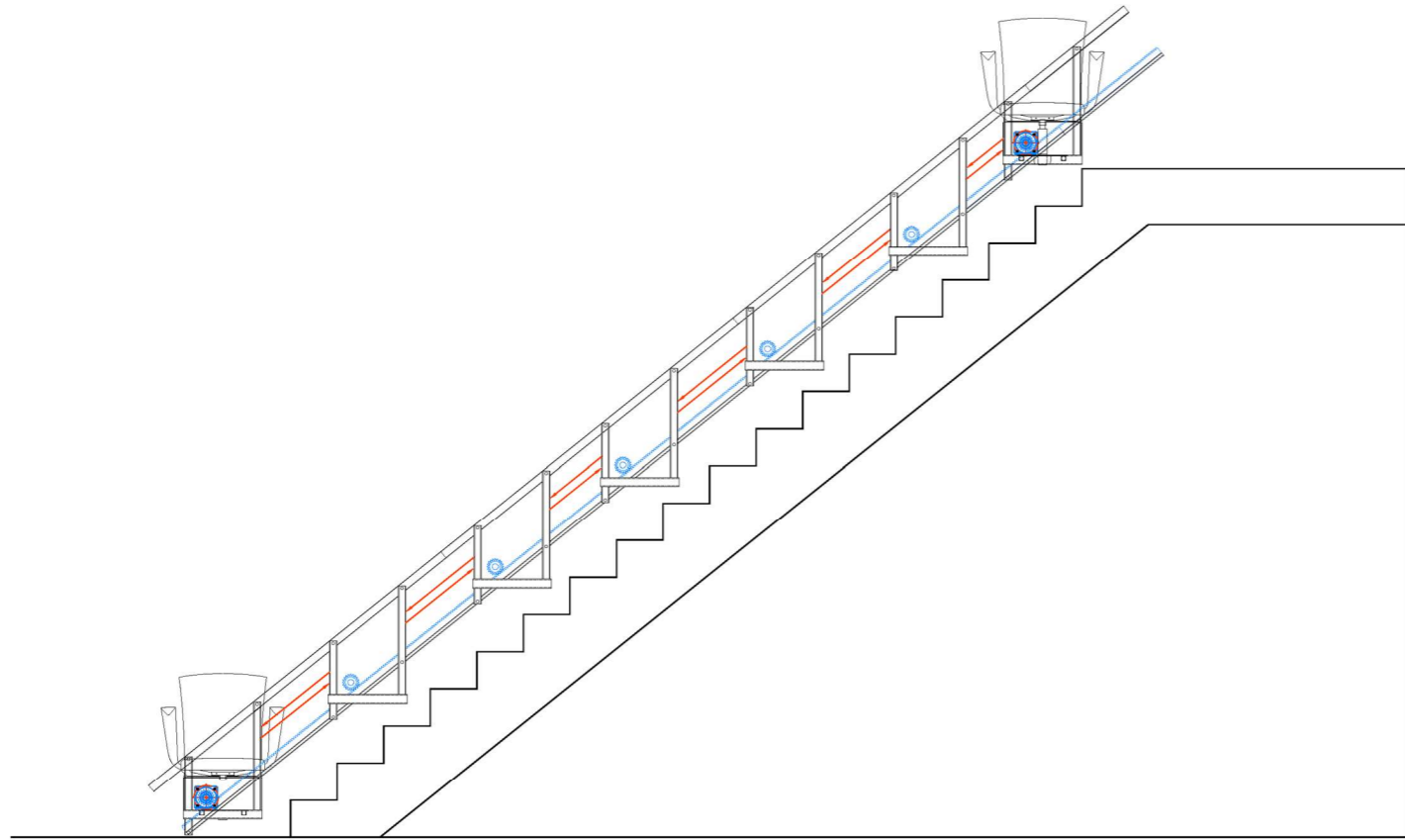
F

G

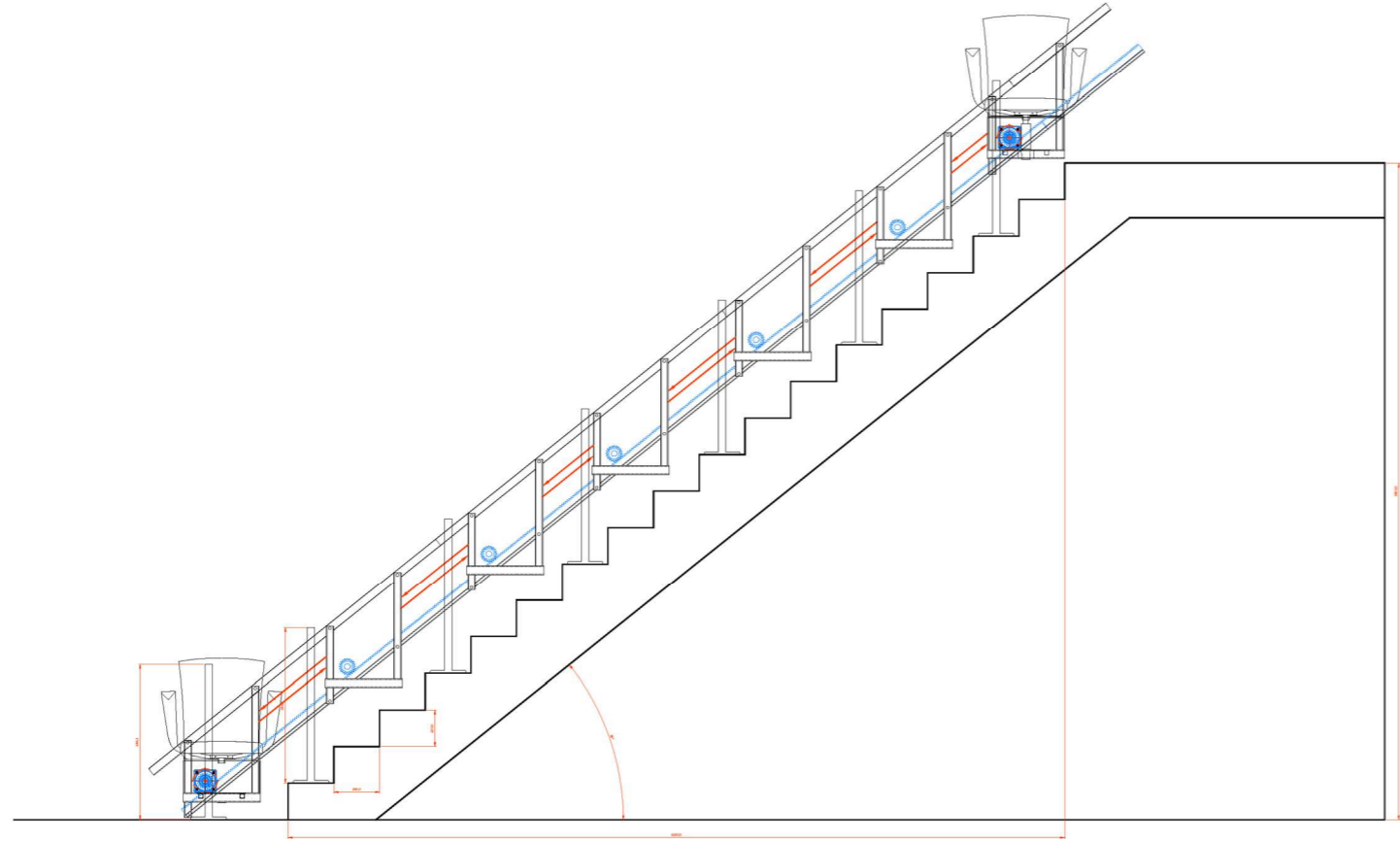
H

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

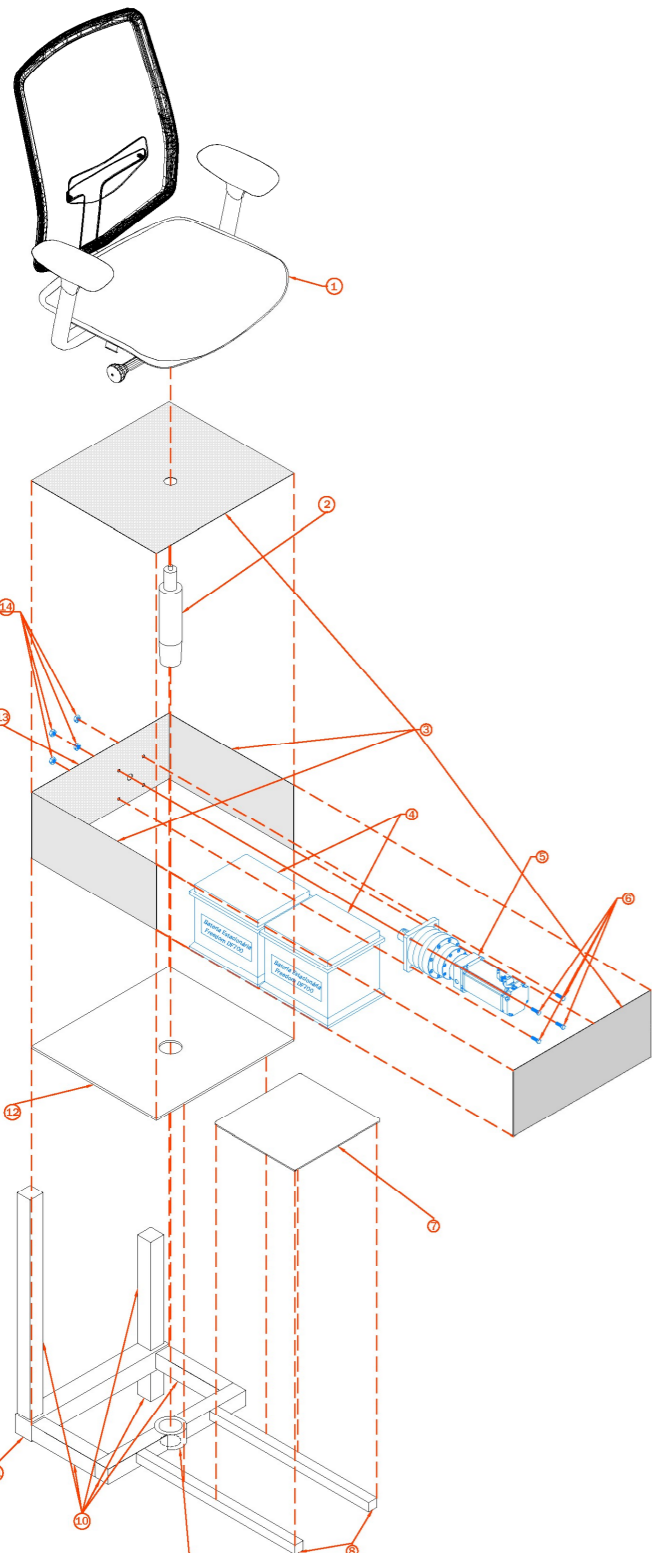


13 ESCADA COM SISTEMA DE CREMALHEIRA E PINHÃO EM TRILHOS RETOS

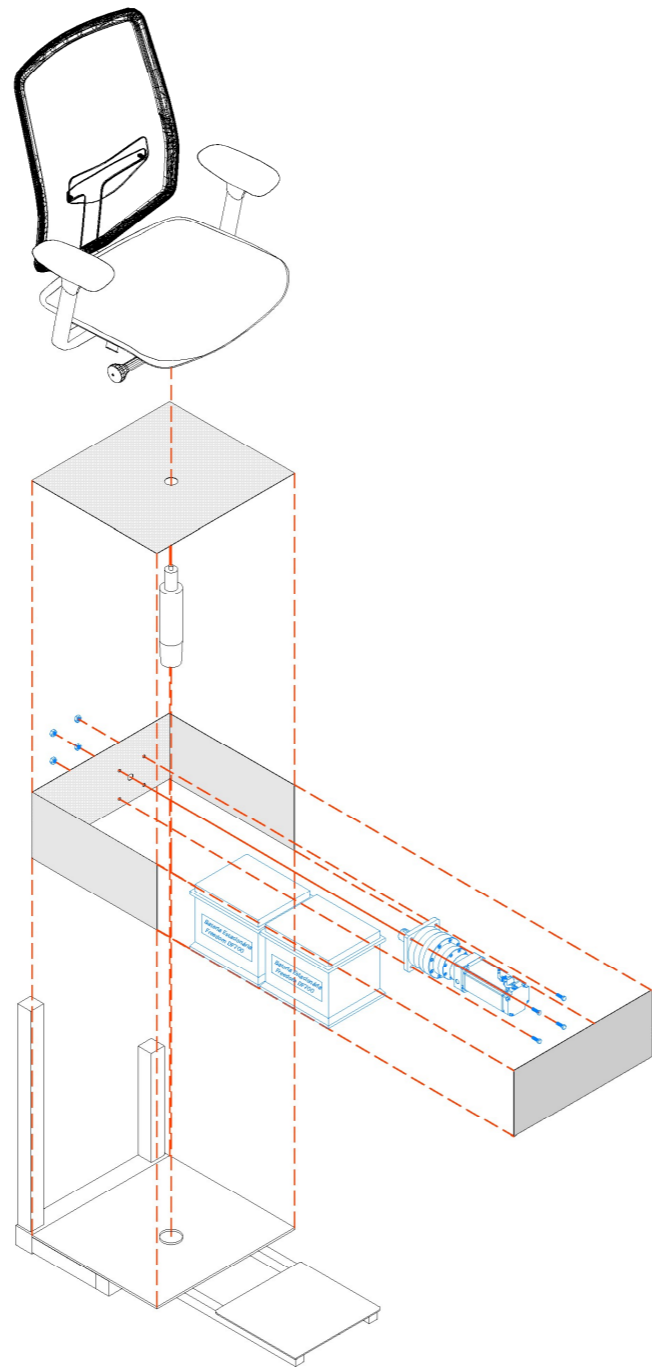


14 ESCADA COM SISTEMA DE CREMALHEIRA E PINHÃO EM TRILHOS RETOS - COM COTAS

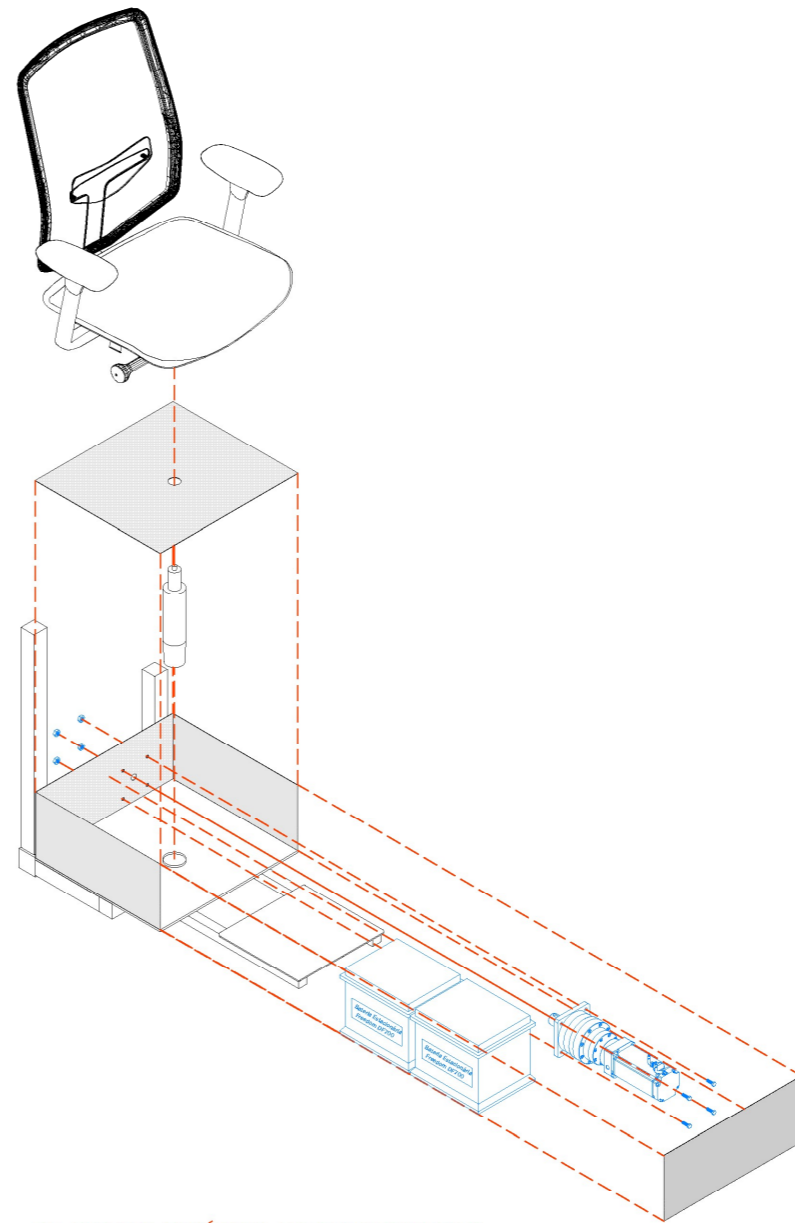
0 10 20



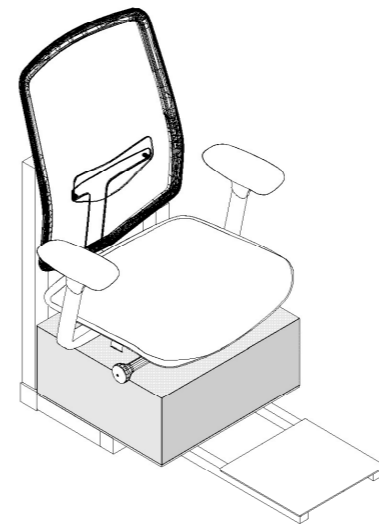
15 DESENHO DE CONJUNTO ISOMÉTRICO



16 DESENHO ISOMÉTRICO - ETAPA 1 DE MONTAGEM



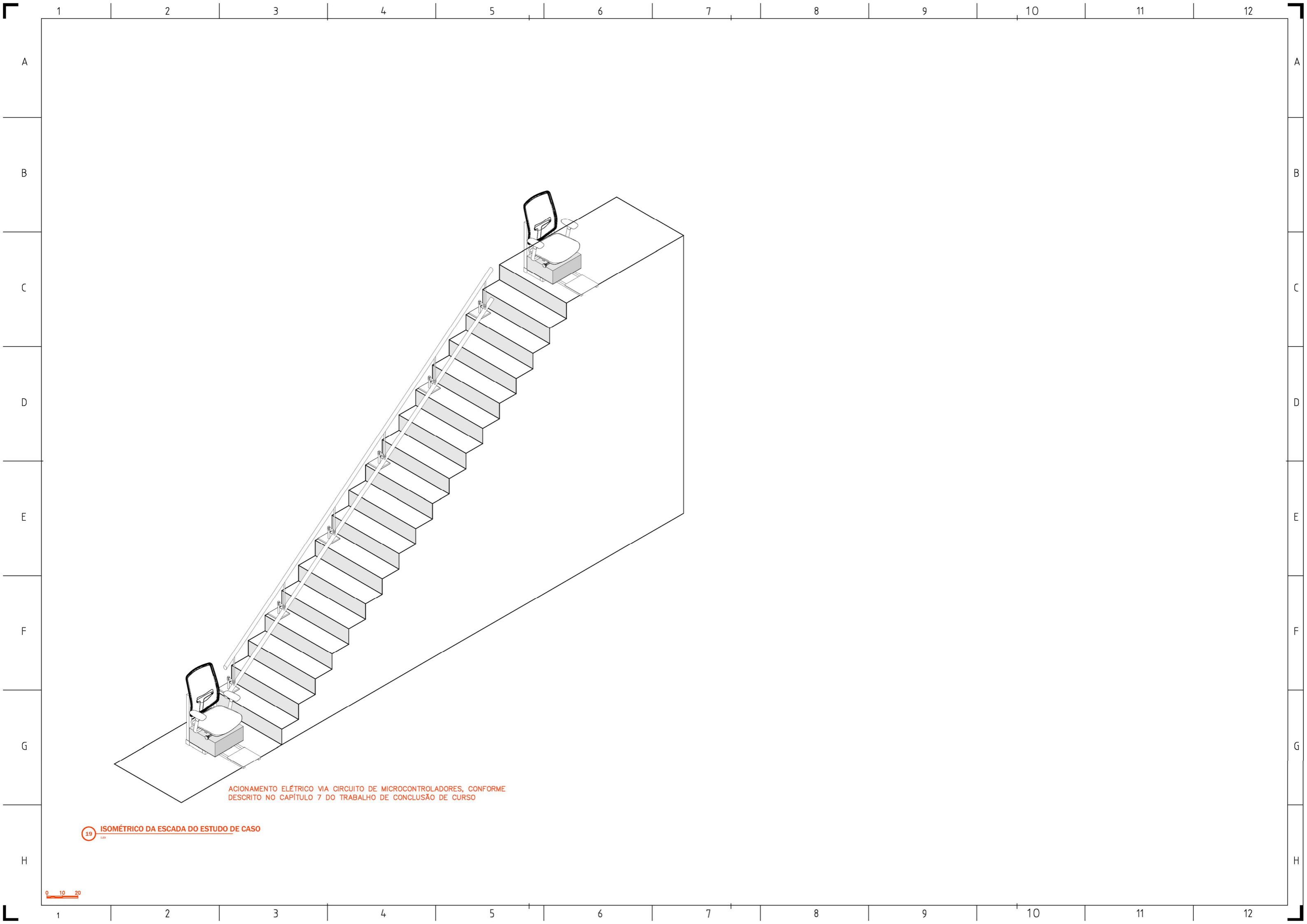
17 DESENHO ISOMÉTRICO - ETAPA 2 DE MONTAGEM



18 DESENHO ISOMÉTRICO - CADEIRA MONTADA

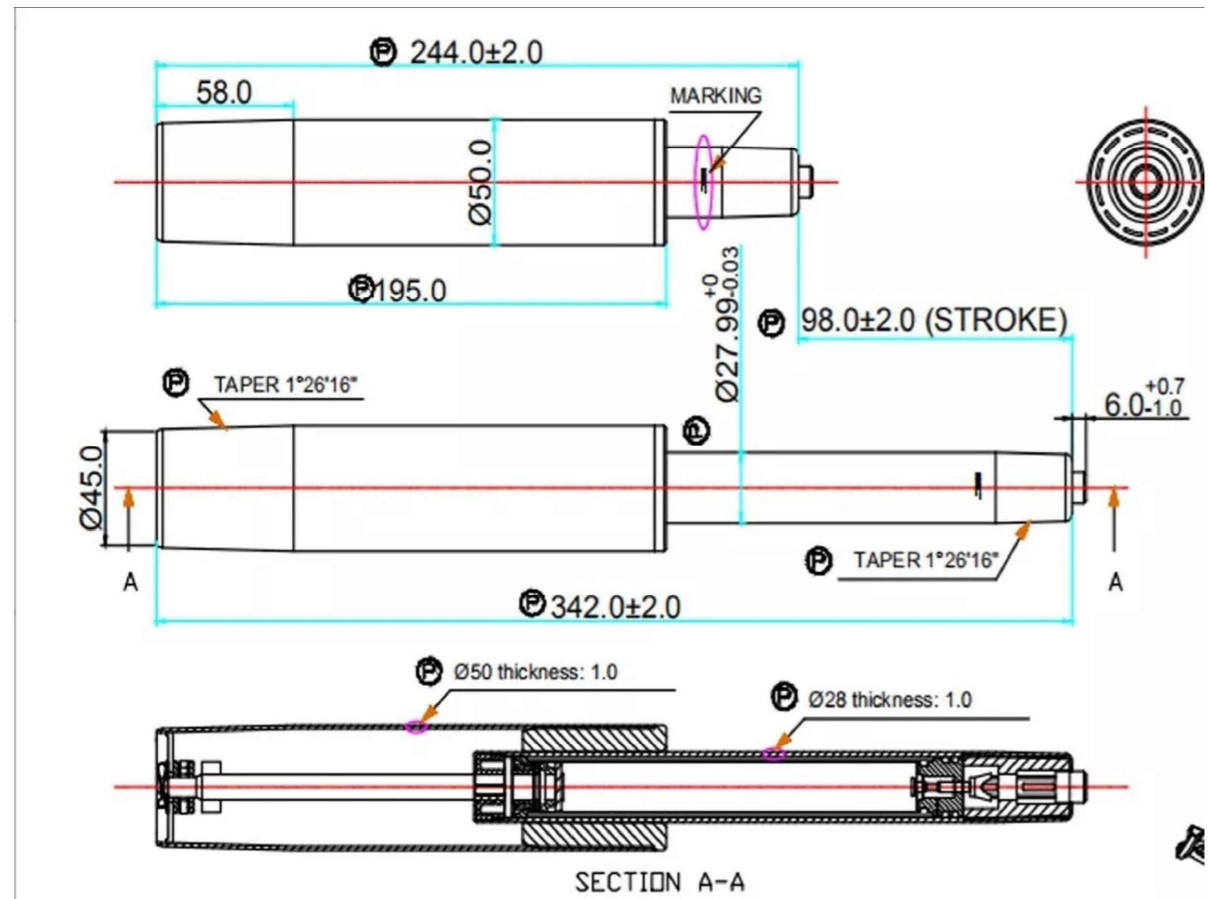
MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

TAG	DESCRIÇÃO	Quantidade
14	Porca sextavada M9 x 1,25	4 Unidades
13	Placa de aço SAE 1020 com pintura eletrostática. Espessura: 3mm	Área: 73 675 mm ²
12	Placa de aço SAE 1020 com pintura eletrostática. Espessura: 5mm	Área: 161 626 mm ²
11	Viga quadrada de aço SAE 1045. Dimensões: 50x50. Espessura: 5.00 mm	Comprimento: 425 mm
10	Viga quadrada de aço SAE 1045. Dimensões: 40x40. Espessura: 3.75 mm	Comprimento: 1720 mm
9	Anel circular de aço SAE 1045 para acoplamento de pistão. Espessura: 20 mm	1 Unidade
8	Viga quadrada de aço SAE 1045. Dimensões: 25x25. Espessura: 2.00 mm	Comprimento: 974 mm
7	Placa de aço SAE 1020 com pintura eletrostática. Espessura: 5mm	Área: 66 250 mm ²
6	Parafuso sextavado M9 x 1,25	4 Unidades
5	Motor com transmissão planetária e freio de emergência. Fabricante: DMKE.	1 Unidade
4	Baterias estacionárias DF700. Fabricante: Freedom/Heliar	2 Unidades
3	Placa de aço SAE 1020 com pintura eletrostática. Espessura: 1mm	Área: 296 170 mm ²
2	Pistão classe 4 com certificação BIFMA	1 Unidade
1	Cadeira ergonômica com certificação SGS e NR17	1 Unidade



ACIONAMENTO ELÉTRICO VIA CIRCUITO DE MICROCONTROLADORES, CONFORME DESCRITO NO CAPÍTULO 7 DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

19 ISOMÉTRICO DA ESCADA DO ESTUDO DE CASO



20 DETALHES TÍPICOS DO PISTÃO
FORA DE ESCALA



21 ILUSTRAÇÃO DO PISTÃO UNIVERSAL UTILIZADO
FORA DE ESCALA



22 ILUSTRAÇÃO DO MOTOR ESCOLHIDO
FORA DE ESCALA