



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PEDRO LUIS ROCHA DE GÓIS

**PROJETO DE UM EQUIPAMENTO DE ELEVAÇÃO, TRANSPORTE E
MANUTENÇÃO PARA MINI BAJA**

MOSSORÓ-RN

2020

PEDRO LUIS ROCHA DE GÓIS

**PROJETO DE UM EQUIPAMENTO DE ELEVAÇÃO, TRANSPORTE E
MANUTENÇÃO PARA MINI BAJA**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Romulo Pierre
Batista dos Reis

MOSSORÓ-RN

2020

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

G616p Góis, Pedro Luís Rocha de.
Projeto de um Equipamento de elevação,
transporte e manutenção para o mini Baja /
Pedro Luís Rocha de Góis. - 2020.
91 f.: il.

Orientador: Romulo Pierre.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2020.

1. Projeto. 2. Pórtico Rolante. 3. Projeto de
máquinas. I. Pierre, Romulo, orient. II.
Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

PEDRO LUIS ROCHA DE GÓIS

**PROJETO DE UM EQUIPAMENTO DE ELEVAÇÃO, TRANSPORTE E
MANUTENÇÃO PARA MINI BAJA**

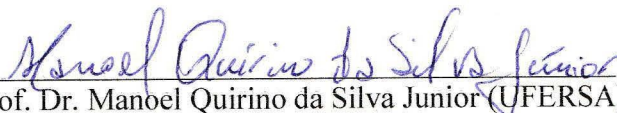
Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia mecânica.

Defendida em: 06 / 02 / 2020.

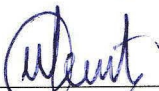
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Romulo Pierre Batista dos Reis (UFERSA)
Presidente



Prof. Dr. Manoel Quirino da Silva Junior (UFERSA)
Membro Examinador



Prof. Dr. Fabricio José Nobrega Cavalcante (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao pai celestial que me concedeu saúde, esperança, força, foco, fé, estímulo de batalhar cada dia mais em prol de meu objetivo e da minha família. Em segundo agradeço a minha namorada Vanessa Regina de Moraes por toda sua paciência, compreensão e força que foi transmitida a mim, realmente você sempre foi minha fonte inesgotável de vontade de vencer.

Aos meus avós, Altivo Vieira de Góis e Aurineide Nunes Medeiros de Góis por me acolher e estimular sempre o estudo, a persistência, o não desistir... Só gratidão a todos vocês.

Aos meus amigos, Carlos Adolfo, Heitor Luigi, Maxwell, Francisco Rodrigues, que contribuíram de forma direta e indireta para a realização desse projeto.

Aos meus pais, Samara Helena e Antônio Ney, que mesmo distantes, sempre estão comigo.

A Romulo Pierre, meu orientador por sempre está disposto a ajudar e colaborar. Além de todos os outros professores que pude ter contato, desde a infância até chegar nesse momento tão esperado.

“O medo de cair não pode ser maior que a paixão de voar...”

Bráulio Bessa

RESUMO

No presente projeto de conclusão de curso foram abordados diversos aspectos de projeto para o desenvolvimento de um equipamento para elevação, transporte e manutenção de veículos do tipo *off-road*. Para isso foi realizada uma aquisição de informações relativas à carga, bem como tempo de utilização do equipamento. Além disso, foram realizados cálculos para o dimensionamento, utilizando softwares para simulação dinâmica e estática do projeto atrelando a melhorias pós-análise. Primeiramente, foi feito o projeto conceitual, em paralelo com a revisão bibliográfica necessária ao projeto mecânico, para posterior memorial de cálculo, com todas as dimensões, materiais e estimativa de custo para se construir o equipamento. O trabalho foi baseado em três metodologias, de autores diferentes, buscando atrelar os pontos considerados positivos em cada uma delas, além da consulta a catálogos técnicos de fabricantes e autores do ramo de projeto de máquinas.

Palavras chaves: Projeto; Pórtico rolante; Projeto de máquinas.

ABSTRACT

In the present project to conclude the course, several aspects of the project were addressed for the development of equipment for lifting, transporting and maintaining off-road vehicles. For that, an acquisition of information about load was carried out, as well as the time of use of the equipment. In addition, calculations were made for sizing, use of software for dynamic and static alteration of the project, linking to post-analysis improvements. First, the conceptual design was carried out, in parallel with a bibliographic review, the application of the mechanical design, for later calculation memorial, with all the measures, materials and cost estimate for using the equipment. The work was based on three methods, by different authors, seeking to link to the points considered positive in each of them, in addition to consulting technical catalogs of manufacturers and authors in the field of machine design.

Key Words: Project; Moving gantry; Machine design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma geral do passo-a-passo seguido no projeto	20
Figura 2 - Ciclo de vida do equipamento	22
Figura 3 - Classificação das máquinas de levantamento.....	27
Figura 4 - Pórtico rolante em trabalho	29
Figura 5 - Fluxograma metodológico utilizado na pesquisa	31
Figura 6 - Fase inicial do projeto	32
Figura 7 - Pórtico preliminar	41
Figura 8 - Diagrama de estado de carga (ou tensões)	44
Figura 9 - Características técnicas da talha	50
Figura 10 - Desenho esquemático do trole manual.....	51
Figura 11 - Coeficiente que determina as reações transversais devidas ao rolamento ...	58
Figura 12 - Valores da pressão aerodinâmica.....	60
Figura 13 - Estabilidade longitudinal do projeto preliminar.	62
Figura 14 - Reações no trole.....	65
Figura 15 - Esquema da viga e esforços sobre a mesma.....	66
Figura 16 - Perfil da viga em I selecionada.....	68
Figura 17 - Perfil do tubo quadrado selecionado.....	70
Figura 18 - Dados dos tubos quadrados	70
Figura 19 - Simulação da tensão na viga principal.....	76
Figura 20 - Simulação do deslocamento da viga principal	77
Figura 21 - Simulação de flambagem no apoio.....	78
Figura 22 - Simulação de tensão no pórtico	79
Figura 23 - Simulação de deslocamento estático do pórtico	79
Figura 24 - Esforço cortante na viga calculada pelo Ftools	80
Figura 25 - Momento fletor na viga calculada pelo Ftools	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Detalhamento do projeto informacional	21
Tabela 2 - Projeto conceitual.....	25
Tabela 3 - Fases seguidas do projeto detalhado	26
Tabela 4 - Carga, capacidade horária requerida, percurso, condições específicas e seleção do equipamento	28
Tabela 5 - Ciclo de vida do equipamento e seus respectivos clientes	33
Tabela 6 - Necessidades do cliente	34
Tabela 7 - Requisitos importantes para o cliente.....	35
Tabela 8 - Requisitos de projeto	36
Tabela 9 - Requisitos mínimos de projeto.....	37
Tabela 10 - Matriz morfológica do equipamento	39
Tabela 11 - Principais características do equipamento	42
Tabela 12 - Classe de utilização	42
Tabela 13 - Estado de carga	43
Tabela 14 - Classificação da estrutura dos equipamentos (ou elementos da estrutura) em grupos.....	46
Tabela 15 - Valores de coeficientes de majoração para equipamentos industriais.....	46
Tabela 16 - Classes de funcionamento.....	47
Tabela 17 - Duração de utilização dos mecanismos em função de t_e e α_i	49
Tabela 18 - Dimensões da talha manual	51
Tabela 19 - Dimensões do trole manual.....	52
Tabela 20 - Valores dos coeficientes dinâmicos (Ψ)	54
Tabela 21 - Tempos de aceleração e desaceleração.....	55
Tabela 22 - Valores da pressão aerodinâmica	59
Tabela 23 - Características do aço	61
Tabela 24 - Tensões admissíveis à tração (ou compressão) simples	67
Tabela 25 - Propriedades do material do parafuso adotado	74
Tabela 26 - Tabela resumo da simulação na viga.....	77

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Tempo médio de funcionamento diário do equipamento	46
Equação 2 - Número do ciclo de funcionamento	48
Equação 3 - Tempo total de utilização efetiva	49
Equação 4 - Relação entre tempo de funcionamento do período de aceleração e o tempo total de funcionamento de um mecanismo	56
Equação 5 - Força de inércia média	57
Equação 6 - Período de oscilação	57
Equação 7 - Coeficiente de atrito μ	57
Equação 8 - Ângulo de gorje da polia em relação ao plano médio da mesma	57
Equação 9 - Coeficiente ψ_h	58
Equação 10 - Força de inércia devido à carga	58
Equação 11 - Relação entre o vão e a distância entre eixos do trole	59
Equação 12 - Reação total	59
Equação 13 - Pressão do vento sobre a estrutura	60
Equação 14 - Força do vento	60
Equação 15 - Solicitações devido aos movimentos verticais	64
Equação 16 - Solicitações devido aos movimentos horizontais	64
Equação 17 - Solicitações devido aos efeitos climáticos	65
Equação 18 - Equação de carga real	65
Equação 19 - Momento máximo da viga	68
Equação 20 - Tensão admissível	68
Equação 21 - Módulo elástico mínimo da secção	69
Equação 22 - Momento de Inércia	69
Equação 23 - Tensão máxima atuante na secção transversal da viga	70
Equação 24 - Módulo elástico mínimo nas pernas	70
Equação 25 - Tensão máxima	72
Equação 26 - Força de inércia do conjunto sistema de levantamento	73
Equação 27 - Força distribuída sob a viga	74
Equação 28 - Tração no parafuso	75
Equação 29 - Cisalhamento no parafuso	76

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Justificativa	16
1.2 Delimitação	17
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo Geral.....	18
2.2 Objetivos Específicos.....	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 Projeto	19
3.2 Projeto Informacional.....	21
3.2.1 Pesquisa de informações gerais sobre o tema de projeto	21
3.2.2 Estabelecer as necessidades do cliente	22
3.2.3 Estabelecer os requisitos do cliente.....	23
3.2.4 Estabelecer os requisitos do projeto	23
3.2.5 Estabelecer as especificações do projeto	23
3.3 Projeto Conceitual.....	24
3.3.1 Verificação do escopo do problema	24
3.3.2 Pesquisar por princípios de solução	24
3.3.3 Avaliar concepções	25
3.4 Projeto Detalhado.....	26
3.4.1 Elaborar projeto detalhado e croqui detalhado	26
3.4.2 Elaborar layouts detalhados	26
3.4.3 Revisão de projeto.....	27
3.5 Máquinas de elevação e transporte.....	27
3.6 Escolha da máquina de elevação e transporte.....	28
3.7 Pórtico rolante.....	29
4 METODOLOGIA	30
4.1 Projeto Informacional.....	33

4.1.1 Necessidade dos clientes	33
4.1.2 Requisitos do cliente	34
4.1.3 Requisitos de projeto	35
4.1.4 Especificações de projeto	37
4.2 Projeto Conceitual.....	38
4.2.1 Verificação do escopo do problema.....	38
4.2.2 Princípios de soluções para atender à necessidade	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
5.1 Projeto Detalhado.....	40
5.2 Layouts Preliminares	40
5.3 Classificação do Equipamento.....	41
5.3.1 Classe de utilização	42
5.3.2 Estados da carga.....	42
5.3.3 Tempo médio de duração do ciclo	44
5.3.4 Tempo médio de funcionamento diário.....	45
5.3.5 Classificação da estrutura do equipamento.....	45
5.3.6 Duração teórica de utilização.....	47
5.3.7 Número de ciclo de funcionamento	47
5.3.8 Tempo total de utilização efetiva	48
5.3.9 Duração de utilização dos mecanismos.....	48
5.4 Seleção do mecanismo de levantamento.....	50
5.4.1 Talha manual.....	50
5.4.2 Trole manual	51
5.5 Solicitações que interferem no cálculo da estrutura do equipamento.....	53
5.5.1 Casos de solicitação	53
5.5.2 Solicitações devidas aos movimentos verticais	53
5.5.3 Solicitações devido aos movimentos horizontais	54
5.5.4 Solicitações originadas pelos efeitos climáticos	58

5.6 Dimensionamento da estrutura do equipamento	61
5.6.1 Aço da estrutura do equipamento.....	61
5.6.2 Dimensões do equipamento	62
5.6.3 Solicitações sobre a estrutura do pórtico rolante	63
5.7 Seleção das secções da viga e pernas.....	65
5.7.1 Reações nas rodas do trole.....	65
5.7.2 Viga principal.....	66
5.7.3 Pernas	69
5.8 Cálculos das forças de inércia resultantes dos movimentos do equipamento ...	72
5.8.1 Massa equivalente	72
5.8.2 Força de inércia.....	72
5.9 Parafuso de fixação	73
5.10 Análise dos esforços estruturais através de softwares.....	76
5.10.1 Esforços na viga principal	76
5.10.2 Esforços na Perna.....	78
5.10.3 Esforços na Estrutura.....	78
5.11 Memorial de cálculo	80
6 PLANILHA DE CUSTO.....	83
7 ROTEIRO DE FABRICAÇÃO	84
8 PLANO DE MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO	85
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	89

1 INTRODUÇÃO

Este presente projeto de conclusão de curso tem por objetivo elaborar o projeto até a fase de detalhamento de uma máquina de elevação e transporte para ser utilizado em testes, manutenção e movimentação do carro mini baja da UFERSA intitulado como Cactus Baja, com base em uma metodologia de realização do projeto, de maneira sistemática, concisa e coerente com a necessidade pedida. Uma das premissas do presente trabalho é projetar visando um baixo custo, atingindo o projeto detalhado, além da lista de materiais de forma a deixar o projeto exequível.

Neste caso particular o projeto visa izar o carro, conseguir manter o tempo que seja necessária para uma suposta manutenção e ou montagem que necessite. Por ser um equipamento de utilização esporádica, tem que se levar em consideração em seu projeto esse tempo de utilização e essa faixa de não-utilização, correspondente a um fator de trabalho coerente.

No âmbito da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Centro de Engenharia, tem-se o projeto de extensão Cactus Baja na qual houve colaboração nos anos de 2016 e 2017. Tal projeto de extensão participa de um evento nacional e um regional, realizado pela SAE, onde reúnem-se equipes dos cursos de Engenharia para apresentarem seus projetos de veículos Off Road (Veículos fora de estrada) conhecidos como baja. A cada ano de evento, cada equipe recebe feedbacks de juízes da competição visando a melhora do seu veículo, aprimorando cada vez mais os projetos, tornando assim mais competitivo. A equipe da UFERSA Mossoró já alcançou posições maiores, chegando a ficar entre um dos 3 melhores carros do Brasil, sétimo lugar no mundial que ocorreu em Michigan. Sendo assim, obter dados experimentais, por meio de testes em ambiente laboratorial, do carro buscando validar simulações realizadas em software, bem como realizar teste na estrutura para verificação dos cálculos estruturais vem como uma boa premissa de validação de projeto.

O termo Projeto pode ser definido como um planejamento realizado com a finalidade de atender a mais variadas necessidades a partir de pesquisas no assunto em questão. Se o desenvolvimento desse planejamento resultar em um produto físico, o mesmo deve possuir as seguintes características: funcionalidade, atender as exigências do consumidor; segurança, não deve trazer riscos ao usuário ou ao ambiente envolvente, porém, devido à dificuldade de obter total segurança, devem ser utilizados protetores ou barreiras que minimizem esse problema; confiabilidade, garantir que irá exercer suas

funções com determinado nível de confiança; competitividade, se impor com igualdade ou superioridade aos seus concorrentes; utilizável, ser adaptável ao usuário quanto a tamanho, resistência, postura, alcance, força, potência e controle humano; manufaturável, os seus componentes devem apresentar tolerâncias físicas, resistência e distorções sob para a produção em massa; mercável, deve estar disponível aos consumidores e possuir assistência técnicas (SHIGLEY, 2005).

Levando em consideração estas informações, a problemática deste trabalho trata da realização de testes nos protótipos dos carros, além de servir como equipamento de manutenção e movimentação de cargas pesadas. O presente trabalho foi baseado em algumas Normas Técnicas como a NBR 8400 (1984), além de bibliografias que falam sobre projeto e construção de máquinas. Também foram modelados os componentes em ambiente computacional a partir dos programas SolidWorks e AutoDesk Inventor visando uma visualização do modelo e realidade, atrelando a tecnologia ao projeto.

A metodologia utilizada nesse trabalho pode ser elencada nas seguintes etapas de elaboração:

- Definição do problema;
- Projeto informacional;
- Projeto conceitual;
- Projeto detalhado;
- Concepção final do modelo;
- Cálculos estruturais;
- Dimensionamento;
- Modelagem computacional.

1.1 Justificativa

Este trabalho justifica-se pelo fato do crescimento da equipe em participação de competições nível nacional e internacional, verificou-se a falta de um equipamento que pudesse colocar o carro em condições extremas, mais em ambiente laboratorial, simulando as condições das provas impostas pelos organizadores nas competições. Com a criação dessa máquina de elevação, será possível realizar teste de queda livre do carro instrumentado com sensores de aceleração, deslocamento, deformação e força de reação. Além de melhorar a manutenção do carro, diminuir o pessoal para uma determinada atividade, melhora na ergonomia dos colaboradores, adicionado a isso o ganho de tempo

em determinadas operações e principalmente ser capaz de realizar esses testes de maneira segura.

1.2 Delimitação

Este projeto tem por delimitação a elaboração do projeto detalhado de uma máquina de elevação e transporte, que atenda a necessidade e requisitos aqui determinados pelo cliente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente estudo está destinado a aplicar uma metodologia de projeto, visando um equipamento para as condições desejadas. Além de projetar o mesmo, cálculos estruturais, dimensionamento de materiais, modelagem em software, simulação estática, interpretação e conclusão dos resultados.

- Desenvolver um projeto de maneira detalhada de um pórtico rolante para elevação e movimentação do carro/carga no ambiente em que for instalado o equipamento;
- Dimensionar os componentes necessários para a construção;
- Equipamento deve suportar 600kg.

2.2 Objetivos Específicos

A levantamento de dados junto a equipe no laboratório da UFERSA foi o primeiro passo para conhecer a necessidade imposta pelo “cliente”; peso do carro/motor, conveniente superfície de apoio (pontos de fixação), capacidade horária requerida, direção e distância de percurso a serem realizados, além de características intrínsecas do local de instalação do equipamento. Diante do exposto nos tópicos acima, considerou-se os seguintes objetivos específicos que esse trabalho pode abordar e expor:

- Identificar o problema de projeto;
- Análise dos equipamentos existentes no mercado e faixa de preços;
- Desenvolver a fase de Projeto Informacional;
- Desenvolver a fase de Projeto Conceitual;
- Desenvolver a fase de Projeto Detalhado;
- Realizar simulações e comparação de resultados em softwares diferentes;
- Verificar se foi aceitável a utilização.

A partir da identificação e definição da problemática, a análise de sistemas ou equipamentos técnicos similares existentes no mercado, posteriormente é realizado um rastreamento de informações a partir da necessidade do cliente gerando um catálogo de informações técnicas com as fases do ciclo do produto detalhadas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico é realizada um estudo da literatura referente a metodologia de projeto mecânico como Silva (2005), Mantovani (2012) e Amaral (2006). Além disso, foi utilizado bibliografias como o RUDENKO (1976), catálogos de equipamentos, componentes e manuais de utilização aplicados em toda a fase de projeto.

3.1 Projeto

Um projeto por mais simples ou complexo que seja ele foi criado a partir de uma necessidade observada ou sentida em algum momento de vida de alguma pessoa. Em que foi feita uma análise se já existia algo parecido e caso não houvesse desenvolver maneiras de obter um resultado satisfatório, eficiente, que consiga resolver seu problema demonstrado, sua necessidade de projeto.

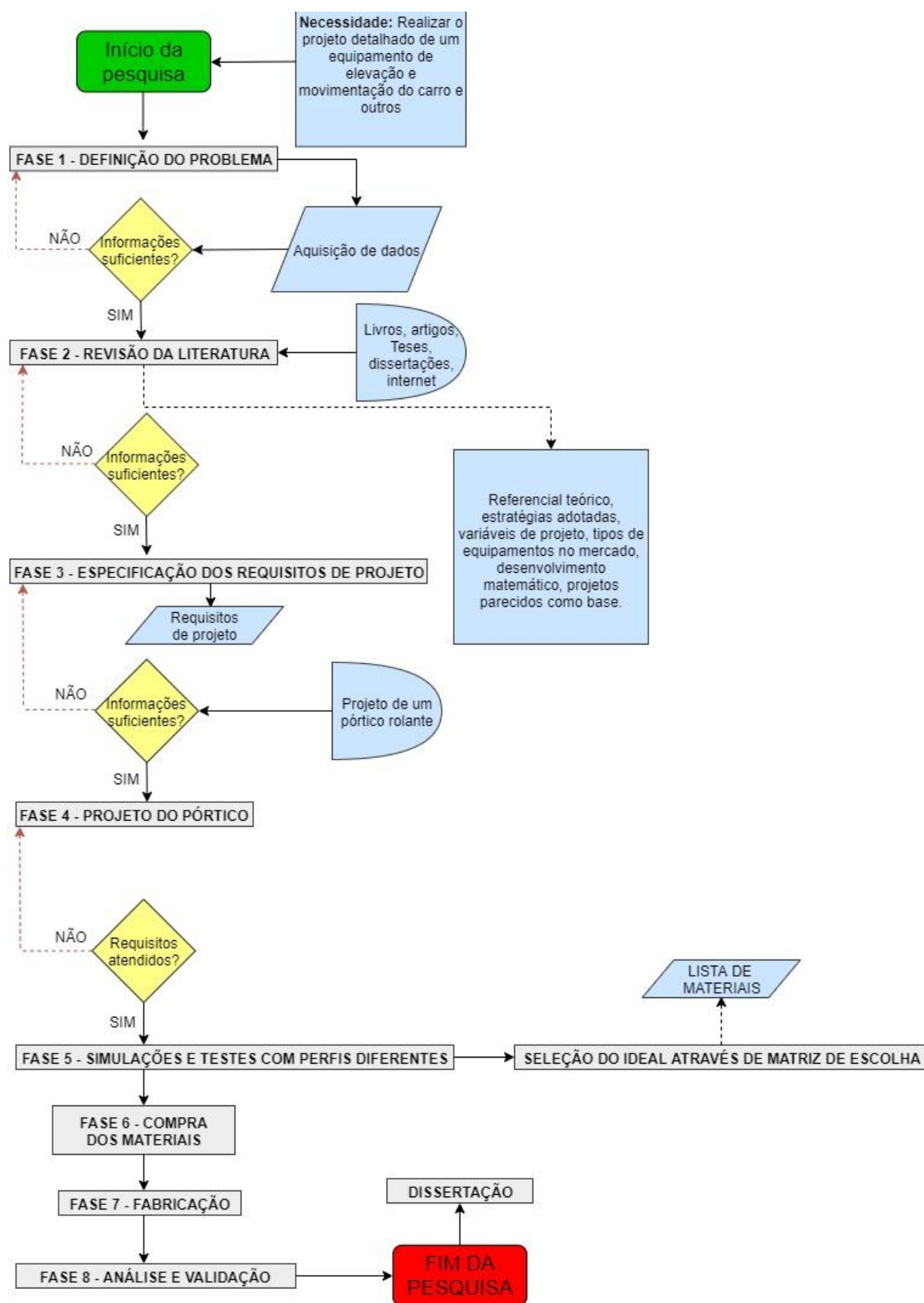
Assim, o projeto de engenharia mecânica é um processo de criação, invenção e aplicações de técnicas e princípios científicos, com o objetivo de produzir um equipamento, no intuito de melhorar a produtividade das atividades ou solucionar problemas. O projetista pode resolver os problemas de diversas maneiras, mas cabe a ele escolher a metodologia mais satisfatória para solucionar a necessidade. (SHIGLEY, 2005)

Conforme Menezes (2001), projeto é um empreendimento único que apresenta um início e um fim definidos, trata-se de um caminho estruturado para que se possa atingir os objetivos respeitando prazo, custo e qualidade. Na mesma linha de raciocínio, Heldman (2006) afirma que projeto é um empreendimento temporário, cuja finalidade é criar um bem ou serviço único que estará concluído quando suas metas e objetivos foram alcançados e aprovados. Além disso, não pode ser algo repetitivo, caracteriza-se por uma sequência clara e lógica de eventos.

Em virtude de um projeto ser algo novo, a expectativa que gira em torno desse estilo de “exclusividade”, haverá incertezas quanto aos resultados gerados. Neste sentido, um bom gerenciamento de projeto, simples, coeso e eficaz é de total importância para uma boa execução do planejado.

O procedimento metodológico e os meios utilizados para o desenvolvimento de um projeto são apresentados, de forma sucinta, a partir do fluxograma representado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma geral do passo-a-passo seguido no projeto



Fonte: Autoria própria.

3.2 Projeto Informacional

Nesta etapa do projeto, também conhecida primeira fase de Projeto Informacional, que tem como objetivo, reunir todas as informações necessárias para o planejamento e desenvolver um conjunto de informações o mais completo possível, para servi de base para as tomadas de decisões e critérios de avaliações nas etapas futuras do desenvolvimento do projeto (AMARAL, 2006).

Neste ponto é crucial estudar o problema que gerou a necessidade de um novo equipamento, uma análise detalhada do problema buscando todas as informações possíveis e necessárias para o entendimento por total da necessidade. Abaixo é possível observar a Tabela 1 com o resumo do que é realizado na primeira fase do projeto.

Tabela 1 – Detalhamento do projeto informacional

FASE 1 – DEFINIÇÃO DE PROBLEMA
1.1 – PESQUISA DE INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE O TEMA DE PROJETO
1.2 – ESTABELECEER AS NECESSIDADES DO CLIENTE
1.3 – ESTABELECEER REQUISITOS DE PROJETO
1.4 – HIERARQUIZAR OS REQUISITOS DE PROJETO
1.5 – ESTABELECEER AS ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO
1.6 – ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO

Fonte: Aatoria própria.

3.2.1 Pesquisa de informações gerais sobre o tema de projeto

Com a realização de uma análise do problema a ser resolvido, deve se buscar informações técnicas, na bibliografia disponível (livros, normas e catálogos de máquinas) e em análises de sistemas técnicos semelhantes. Nesta fase todas as informações obtidas são de fundamental importância, pois as mesmas serão utilizadas em várias etapas do projeto. (MANTOVANI, 2011).

Outro ponto importante relacionado a qualquer projeto que venha a ser executado, é o ciclo de vida do produto final, que segundo Fonseca (2010), o ciclo de vida de um

equipamento pode ser dividido em 6 fases, estando presentes na maioria dos trabalhos na indústria. A Figura 2 abaixo mostra qual o ciclo de vida, são elas:

Figura 2 – Ciclo de vida do equipamento



Fonte: Autoria própria.

É importante salientar que o ciclo de vida pode ser dividido de diversas maneiras por autores diferentes, visto que é bem relativo quanto a aplicação, tecnologia aplicada, custo de fabricação, dentre outros aspectos de cada equipamento bem como a forma de descarte.

3.2.2 Estabelecer as necessidades do cliente

Segundo Nunes (2008), necessidade pode ser considerado como algo de que uma pessoa precisa, posteriormente estas transformam-se em desejos por produtos ou serviços. Necessidade é um estado de carência que é preciso satisfazer. Neste sentido, levam à ação do indivíduo, isto é, do cliente e a sua satisfação, a partir da necessidade é que o cliente irá estipular seus requisitos.

As necessidades serão agrupadas e classificadas de acordo com as fases do ciclo de vida correspondente ou por afinidades. Com esse agrupamento é possível verificar as necessidades similares, eliminando-se aquelas pouco relevantes (AMARAL, 2006).

Os requisitos podem ser funcionais, não funcionais e restrições. Os requisitos funcionais é o que o produto precisa fazer, os não funcionais por sua vez são definidos como as qualidades que o produto deve possuir, e restrições são requisitos globais do produto.

3.2.3 Estabelecer os requisitos do cliente

Os dados coletados com os clientes nas fases anteriores são expressos de forma subjetiva, assim não pode ser aplicado diretamente no projeto, sendo de fundamental importância traduzi-las para a linguagem de engenharia. (MANTOVANI, 2011).

Com a frase acima, é de suma importância as fases anteriores a esta serem bem executadas visando um entendimento de maneira geral do problema e projeto a ser feito, visando garantir ao cliente o que foi pedido e utilizando-se de maneira mais usual a engenharia por trás do projeto.

3.2.4 Estabelecer os requisitos do projeto

Após a definição dos requisitos do cliente é necessário transformar as características que os clientes querem no produto em requisitos do projeto. Para isso Fonseca (2000), classificou os atributos do projeto em duas ramificações, atributos gerais e atributos específicos.

Conforme o autor, os atributos gerais são classificados em básicos e atributos de ciclo de vida. Os básicos são aqueles que diferenciam os produtos, tais como funcionamento, ergonômicos, econômicos e confiabilidade, já os atributos do ciclo de vida são a fabricação, montagem, manutenção. Os atributos específicos se referem a parte técnica, dividindo-se em atributos materiais, energéticos e de controle.

3.2.5 Estabelecer as especificações do projeto

Conforme Mantovani (2011) a principal tarefa dessa etapa é aplicar o quadro de especificações de projeto aos requisitos, que nada mais é do que o local onde os requisitos de projeto são associados às informações, obtendo assim as especificações do projeto.

Antes de avançar a fase do projeto conceitual é imprescindível verificar se o resultado gerado pelo projeto informacional está adequado ao problema do projeto. Após verificação, a primeira etapa é finalizada e desta forma as especificações de projeto na fase informacional estão acabadas.

3.3 Projeto Conceitual

Diferentemente da fase de projeto informacional que trata, basicamente, da aquisição e transformação de informações, na fase de projeto conceitual, as atividades de projeto estão relacionadas com a busca, criação, representação e seleção de soluções para o problema de projeto. A busca por soluções já existentes na maioria dos casos é feita pela observação de produtos similares descritos em livros, artigos, catálogo. A criação de soluções é livre de restrições, entretanto é direcionada pelas necessidades, requisitos e especificações de projeto do produto, e auxiliando por método de criatividade (AMARAL,2006).

O projeto conceitual inicia-se após a decisão de desenvolver uma oportunidade identificada. As atividades propostas para o projeto conceitual são: a descrição da oportunidade escolhida; a definição do cliente/usuário principal; a análise da oportunidade do ponto de vista das necessidades dos clientes/usuários; a análise detalhada dos produtos existentes no mercado; o estudo das tecnologias associadas; o estudo de materiais; a especificação dos requisitos básicos; a geração de ideias e, finalmente, a análise das alternativas encontradas, selecionando os melhores conceitos.

3.3.1 Verificação do escopo do problema

Segundo Forcellini (2002), o resultado desse estudo acarretará a uma solução melhor do problema e com certeza proporcionará um melhor entendimento da tarefa de projeto, sendo indispensável para o êxito nas etapas subsequentes do projeto conceitual.

3.3.2 Pesquisar por princípios de solução

Para Amaral (2006), nesta fase inicia-se a passagem do abstrato ao concreto. Nesse momento são mostradas as propostas construtivas e formais de soluções que fazem as funções já determinadas do produto. Deve-se seguir de acordo com Back (2006) métodos sistemáticos, que seguem uma sequência lógica e sistematizada de atividades que levam a soluções alternativas para o problema.

3.3.3 Avaliar concepções

O objetivo principal desta etapa é o de escolher, dentre as concepções geradas pelas atividades anteriores, o melhor dos conceitos, o qual será transformado em produto final (AMARAL, 2006). Segundo Reis (2003), deve-se buscar a entendimento de todas as incertezas evidenciadas durante o processo de avaliação, para que a identificação tardia de pontos fracos não prejudique o desenvolvimento da concepção do projeto posteriormente.

Segundo Mantovani (2011), como agora se dispõe de poucas variantes de concepção, torna-se necessário utilizar a técnica da Matriz de Avaliação, pois nessa etapa, devido ao maior nível de detalhamento das soluções, utilizará como critérios de avaliação as especificações de projeto, que foram levantadas anteriormente.

Em resumo, a Tabela 2 abaixo mostra os pontos importantes para o projeto conceitual seguido em projeto.

Tabela 2 - Projeto conceitual

FASE 2 - PROJETO CONCEITUAL
Verificação do escopo do problema
Princípios de solução
Avaliação de concepções

Fonte: Autoria própria.

3.4 Projeto Detalhado

Para Forcellini (2002), no projeto detalhado o modelo do produto evolui da concepção ao leiaute definitivo do produto. Este último deve ser desenvolvido até o ponto onde uma verificação clara da função, durabilidade, produção, montagem, operação e custos, possam ser feitas.

Para o projeto detalhado seguiremos os seguintes passos, visualizados na Tabela 3.

Tabela 3 - Fases seguidas do projeto detalhado

FASE 3 – PROJETO DETALHADO
Especificações de projeto detalhadas
Elaboração do projeto detalhado e desenhos
Utilização de software de desenho CAD
Verificações
Revisão do projeto

Fonte: Autoria própria.

3.4.1 Elaborar projeto detalhado e croqui detalhado

Visando reduzir partes em virtude de um projeto mais enxuto e barato, estabelecer juntas fixas. Segundo Mantovani (2011), essa etapa pode ser decomposta em várias tarefas, são elas:

- Identificação de requisitos determinantes;
- Identificação dos portadores de efeito físico determinantes;
- Produção de desenhos em escala;
- Desenvolver leiautes preliminares e desenhos de forma.

3.4.2 Elaborar layouts detalhados

Nesse tópico deve-se prestar atenção nas normas relacionadas à área de domínio do equipamento e normas gerais de projeto e produção, devem-se efetuar cálculos detalhados dos parâmetros envolvidos (MANTOVANI, 2011). Nessa parte do projeto procura-se reduzir o número de partes, padronizar, estabelecer fixações e efetuar esquemas para registros temporários das soluções.

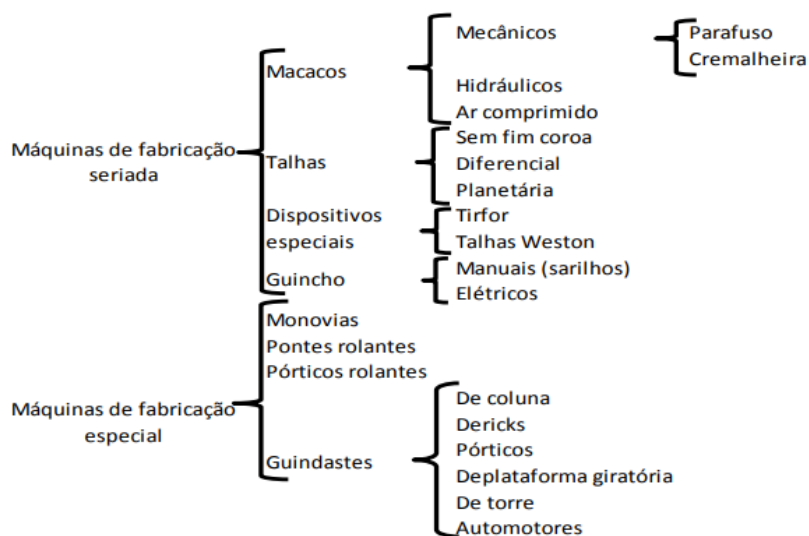
3.4.3 Revisão de projeto

De acordo com Forcellini (2002), revisão de projeto é fundamental para sua aprovação. O objetivo aqui é verificar se o equipamento irá atender as especificações e as normas para que possa cumprir a sua função.

3.5 Máquinas de elevação e transporte

Para Brasil (1985), estes equipamentos são classificados conforme a finalidade de sua fabricação, onde pode-se observar que alguns se enquadram no tipo de fabricação seriada e os demais implicam em projeto especial e específico para finalidade industrial bem característica, conforme Figura 3.

Figura 3 - Classificação das máquinas de levantamento



Fonte: Brasil, 1985.

De acordo com Rudenko (1976), as máquinas de elevação destinam-se tanto para levantar como abaixar cargas. Há também máquinas de elevação que podem mover cargas horizontalmente, girar as cargas, mover radialmente e etc.

Máquinas de elevação são fabricadas em diversos modelos. Por este motivo, uma mesma operação pode ser executada por vários métodos e diferentes máquinas. A escolha adequada do aparelho para execução de alguma atividade requer não só o conhecimento

especial do projeto e das características operacionais do mecanismo, mas também a completa compreensão da organização da empresa (RUDENKO, 1976).

3.6 Escolha da máquina de elevação e transporte

Segundo o Rudenko (1976), para se escolher os tipos de aparelhos a serem empregados para mecanizar qualquer processo de elevação e transporte é necessário considerar os seguintes fatores técnicos, como:

- Espécie e propriedades da carga a serem manuseadas;
- Capacidade horária requerida por unidade;
- Direção e distância do percurso;
- Características dos processos de produção relacionados com a movimentação de cargas;
- Condições específicas do local.

Na Tabela 4 abaixo tem-se um resumo de características que o equipamento deverá ser submetido.

Tabela 4 - Carga, capacidade horária requerida, percurso, condições específicas e seleção do equipamento

CARGA	CAPACIDADE HORÁRIA	DIREÇÃO E DISTÂNCIA DO PERCURSO	CONDIÇÕES ESPECÍFICAS	SELEÇÃO DO EQUIPAMENTO
Equipamentos, materiais, até 600 kg.	10 ciclos/h	O equipamento será livre para realizar tanto movimento horizontal quanto vertical	Laboratório de Engenharia da UFERSA - Mossoró RN	Visando atender as necessidades e requisitos, foi selecionado pórtico rolante pela sua praticidade e custo mais acessível dentre as outras possibilidades.

Fonte: Autoria própria.

3.7 Pórtico rolante

O equipamento selecionado para realizar o projeto foi o pórtico rolante, muito utilizado em indústrias pesadas, siderúrgicas, na área automobilística, em grandes galpões de indústrias pesadas, dentre outras aplicações. Pela sua viabilidade estrutural, facilidade de encontrar os componentes necessários para sua fabricação, acesso a projetos semelhantes. Abaixo a Figura 4 mostra um exemplo ilustrativo de um pórtico em local de trabalho.

Figura 4 - Pórtico rolante em trabalho



Fonte: CSM Engenharia de movimentação - Catálogo de produtos.

4 METODOLOGIA

Na metodologia, são mostradas as técnicas aplicadas ao projeto de produto para gerar as informações que serão utilizadas na resolução do problema, atendendo a necessidade de projeto.

O projeto do pórtico rolante utilizou duas metodologias de projeto em paralelo, sendo elas Mantovani (2011) e (SMITH; MORROW, 1999, apud CODINHOTO, 2003). Algumas perguntas devem ser feitas ao projetista, ou ele mesmo se fazer esse tipo de pergunta abaixo, no qual ajudará a desenvolver o projeto de maneira mais clara e objetiva. Abaixo temos o exemplo de algumas perguntas que contribuíram para desenvolver a metodologia:

- O que? – a carga a ser movimentada e/ou transportada deve possuir todas as suas características definidas;
- Onde? – faz-se necessário conhecer o destino final da carga que será movida;
- Com que velocidade? – analisar o tempo necessário para realizar a movimentação da carga;
- Como? – qual será o recurso utilizado para realizar a movimentação da carga.

A metodologia exposta por Mantovani (2011), destaca as seguintes etapas:

- Pesquisa de informações sobre o tema do projeto;
- Identificar as necessidades dos clientes;
- Estabelecer os requisitos dos clientes;
- Estabelecer os requisitos do projeto;
- Hierarquizar os requisitos do projeto;
- Estabelecer as especificações do projeto.

A Figura 5 mostra um fluxograma desde o início da pesquisa onde foi realizada uma revisão bibliográfica relacionada ao tema aqui proposto, posteriormente com a definição da problemática aqui discutida, uma revisão detalhada da literatura de metodologia.

Figura 5 - Fluxograma metodológico utilizado na pesquisa

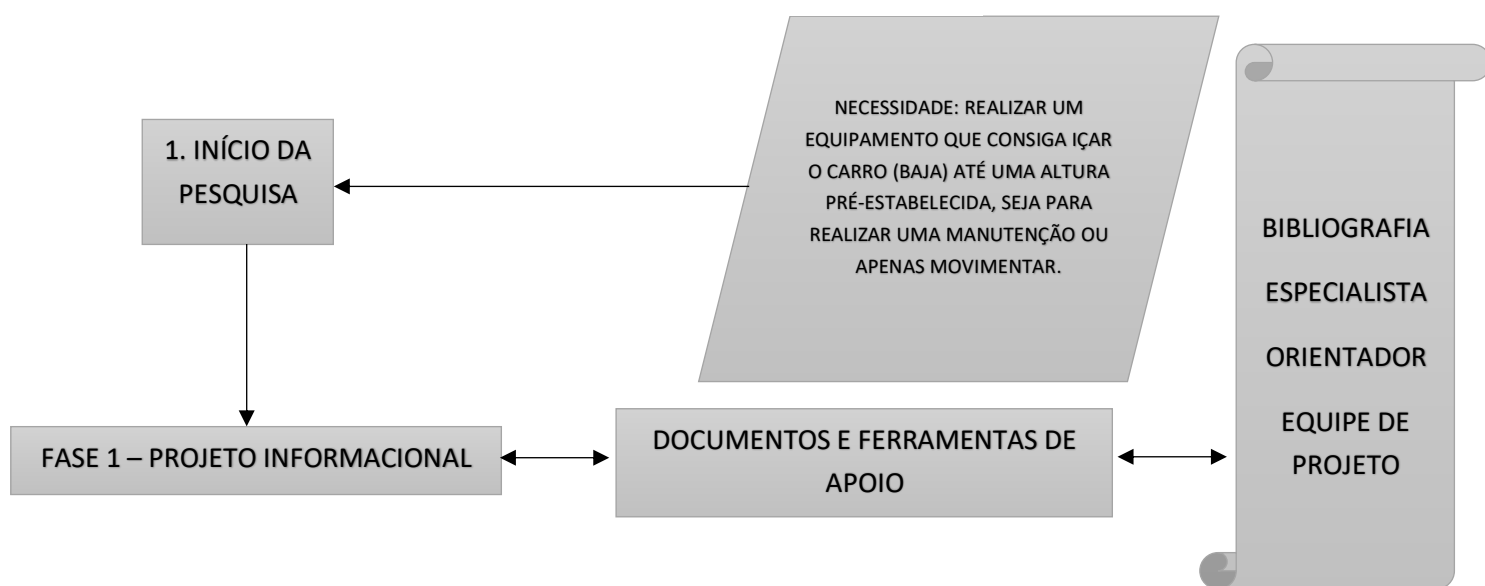


Fonte: Autoria própria.

A metodologia de projeto também se beneficia com o desenvolvimento tecnológico. Hoje o projetista detém de inúmeras ferramentas computacionais para auxiliá-lo no desenvolvimento de um novo produto. Assim, após uma série de modificações na metodologia de projeto durante os tempos, muitos autores concordam em alguns aspectos importantes que devem conter no projeto de produto, os quais se podem destacar: Configuração do problema; planejamento de produto; projeto conceitual; projeto detalhado; construção final.

Detalhar o processo realizado para o projeto é uma maneira de esclarecer algo que ainda não tenha ficado claro, o fluxograma mostrado na Figura 6 abaixo demonstra como foi realizado a parte inicial do projeto partindo da sua necessidade chegando ao projeto informacional.

Figura 6 - Fase inicial do projeto



Fonte: Autoria própria.

4.1 Projeto Informacional

Nesta parte do projeto é feito um levantamento dos dados sobre as principais necessidades e prioridades do cliente quanto ao produto. A partir daí definiu-se o ciclo de vida do equipamento, de modo que facilitasse e fosse o mais simples possível, porém atendesse ao que foi pedido pelo cliente. Após pesquisas nas literaturas disponíveis, conversas junto ao cliente (buscando entender a real necessidade), pesquisas em catálogos de empresas fabricantes desse tipo de estrutura, foi possível dividir o ciclo de vida da máquina em cinco principais fases, são elas: projeto, fabricação, montagem, uso e manutenção. Na Tabela 5 está descrito os clientes de cada etapa do projeto até a finalização do mesmo.

Tabela 5 - Ciclo de vida do equipamento e seus respectivos clientes

FASES DO CICLO DE VIDA	CLIENTES		
	INTERNOS	INTERMEDIÁRIOS	EXTERNO
PROJETO	Projetista		
FABRICAÇÃO	Equipe Cactus Baja		
MONTAGEM	Equipe Cactus Baja		
USO		Laboratório de Eng.	
MANUTENÇÃO			Terceirizado

Fonte: Autoria própria.

4.1.1 Necessidade dos clientes

Em busca de determinar as reais necessidades do cliente foi realizada uma pesquisa com componentes da Equipe Cactus Baja, visto que o equipamento foi projetado para uso no laboratório, sendo a equipe de carros off-road que terá um maior contato e utilização da máquina. As principais e mais importantes, que julguem ser imprescindíveis para o projeto são listadas abaixo em forma de tabela, a partir das informações levantadas. Vale ressaltar que a lista foi feita classificando cada fase do produto, seguindo o ciclo de vida do mesmo, apresentada na Tabela 6 abaixo.

Tabela 6 - Necessidades do cliente

FASES DO CICLO	NECESSIDADES DO CLIENTE
PROJETO	Atendendo ao pedido do cliente, buscou-se um projeto simples, fácil instalação, considerando as necessidades impostas pelo cliente
FABRICAÇÃO	Buscou-se uma fabricação fácil, com o custo mais baixo possível, utilizando peças do mercado de fácil acesso de reposição e que não necessite de algo especial para sua fabricação.
MONTAGEM	Seja fácil de montar e desmontar, transporte seja facilitado de alguma maneira, além de não necessitar de ferramenta especial para a montagem.
USO	Equipamento deve ser de fácil operação, com garantia de segurança do operador, seja capaz de suportar a carga especificada em projeto, que seja um equipamento que diminua o tempo de algumas atividades.
MANUTENÇÃO	O equipamento deve ser fácil de consertar e realizar a troca de qualquer componente, tenha um longo tempo de duração/uso, baixo custo no conserto e que tenha uma vida útil adequada não apresentando problemas.

Fonte: Autoria própria.

4.1.2 Requisitos do cliente

Nesta etapa ocorre a transformação de necessidades do cliente para os requisitos do cliente, utilizando de uma linguagem de engenharia. Com o objetivo de decidir o que realmente o cliente espera/deseja ter no seu produto, foi feito uma tabela com as fases do ciclo de vida do produto e cada necessidade do mesmo. A Tabela 7 mostra os requisitos em cada etapa do projeto, desde o projeto do equipamento até a sua manutenção.

Tabela 7 - Requisitos importantes para o cliente

FASES DO CICLO DE VIDA	REQUISITOS DO CLIENTE
PROJETO	Simples e de baixo custo
FABRICAÇÃO	Baixo custo de fabricação
	Fácil de fabricar
	Intercambialidade de peças
	Padronização
MONTAGEM	Manual de montagem
	Fácil de montar e desmontar
USO	Atender as necessidades
	Seja seguro
	Confiável
	Altura de elevação de 2,5 m
	Capacidade de 600 kg
	Facilidade de operação, além de transmitir confiança
MANUTENÇÃO	Baixo custo de manutenção
	Fácil de realizar manutenção
	Longa vida útil sem fugir dos parâmetros de utilização.

Fonte: Autoria própria.

4.1.3 Requisitos de projeto

A partir da definição dos requisitos estabelecidos pelo cliente, realiza-se a transformação para os requisitos de projeto. Nesta etapa, tentou-se aplicar os requisitos do cliente no projeto, buscando alinhar as necessidades. Será dividido em geral e específico, visto que tem a parte de projeto mais geral (ergonomia, segurança, confiabilidade, economia...) e os pontos específicos como (geométricos, materiais utilizados, cinética do mecanismo, fator de segurança adotado). Esses requisitos mencionados acima foram tirados de conclusão em relação ao pedido do cliente, visando um projeto que atendesse a necessidade, mas que não fosse de alto custo. A Tabela 8 apresenta os principais requisitos do projeto.

Tabela 8 - Requisitos de projeto

REQUISITOS DE PROJETO	
FUNCIONALIDADE	Suporte as solicitações impostas, altura de elevação de projeto, movimento horizontal com carga, comando mais simples possível.
ERGONOMIA	Necessite de pouco esforço no movimento vertical (içamento) e horizontal.
ECONOMIA	Baixo custo de fabricação, baixo custo de operação, baixo custo de manutenção, vida útil longa e peças acessíveis.
SEGURANÇA	Atenda as normas de segurança estabelecidas para este tipo de equipamento, seja seguro no manuseio.
CONFIABILIDADE	Suporte os ciclos de operação estabelecidos em projeto.
FABRICAÇÃO	Fácil acesso ao material e ferramentas necessárias para sua construção, buscar padronização.
USABILIDADE	Seja de fácil utilização com comandos usuais,
MONTABILIDADE	Montagem com facilidade e rapidez.
MANTENABILIDADE	Manutenção/lubrificação simples e de fácil acesso.
GEOMETRIA	Dimensões adequadas para o equipamento, previsto por norma.
MATERIAL	Que seja de baixo custo, fácil acesso e padronização dos mesmos.
ESTRUTURA	Seja robusta e suporte os esforços sem perigo de causar algum problema futuro ao equipamento, seja fadiga ou outro defeito possível.
PESO	Seja de baixo peso.

Fonte: Autoria própria.

4.1.4 Especificações de projeto

Nesta parte final do projeto informacional são feitas atribuições de um valor meta para os requisitos de projetos, da forma de avaliação para as metas e dos aspectos indesejados do equipamento. Na Tabela 9 é apresentado as especificações do projeto.

Tabela 9 - Requisitos mínimos de projeto

REQUISITOS	META	AVALIAÇÃO	ASPECTOS INDESEJADOS
Suporte as solicitações impostas	Até 600 kg	Teste	Superdimensionamento
Custo de fabricação	2000 reais	Soma de todos os gastos	Custo alto de fabricação
Capacidade de carga	600 kg	Teste	Superdimensionamento
Altura de elevação	Até 2,5 m	Medição	Não atender as necessidades
Normas de Segurança	Atender 100%	Projeto feito baseado na norma	Projeto com baixa segurança
Ergonomia	-	Análise com operador	Necessitar de elevado esforço
Suporta os ciclos de operação	10 ciclos/h	Análise de projeto/fadiga	Não possuir vida útil adequada
Vida útil	>20 anos	Tempo de serviço	Vida útil baixa
Montagem com recursos disponíveis	100%	-	Recursos indesejados

Fonte: Autoria própria.

4.2 Projeto Conceitual

O projeto conceitual é uma etapa caracterizada pela necessidade de se preservar a criatividade. Assim, a proposta de projeto conceitual aqui apresentada terá como referência os principais modelos do processo criativo. Em geral as etapas do processo criativo são: entendimento do problema, busca de informação, compreensão, elaboração de alternativas e verificação (avaliação e escolha). (GOMES, 2000)

Essa parte do projeto é tida por muitos autores como a fase mais importante de todo o projeto, tendo em vista que aqui são apresentados modelos funcionais e pré-visualizações do produto.

4.2.1 Verificação do escopo do problema

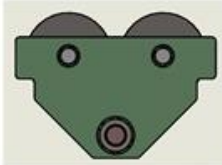
Relembrando o que foi dito no início do projeto, a necessidade do cliente é içar uma carga e movimentá-la de maneira confiável, tanto para a carga quanto para o operador.

4.2.2 Princípios de soluções para atender à necessidade

Visando um projeto com os requisitos estabelecidos pelo cliente vistos na tabela 9 logo acima, foi feito um apanhado geral de soluções possíveis e cabíveis para atender a necessidade. A partir de uma matriz morfológica do equipamento que foi construída baseada em consulta a catálogos técnicos de fabricantes, sistemas já existentes e disseminados no mercado, além de pesquisas bibliográficas.

Estudando sobre o pórtico rolante e seus componentes que são inúmeros e de diferentes modelos, foi possível entender a complexidade de selecionar e projetar um equipamento dessa magnitude. É uma estrutura metálica constituída de vigas principais, pernas e cabeceira, esse seria o modelo mais simples, eficiente e seguro de pórtico. Existem diversos tipos de pórticos, semipórticos, e existem os que se movimentam sobre o piso sem o uso de trilhos, sendo o piso sua via. A Tabela 10 abaixo mostra o conjunto de materiais selecionados visando o baixo custo, confiabilidade, resistência mecânica aceitável, facilidade de encontrar no comércio local, custo, facilidade de fabricação e soldagem, além de atender ao pedido do cliente.

Tabela 10 - Matriz morfológica do equipamento

MATRIZ MORFOLÓGICA	
FUNÇÃO	COMPONENTE
Engate da carga	 Gancho com olhal
Elevação da carga	 Talha manual
Sistema de deslocamento horizontal	Manual
Método de deslocamento horizontal	 Viga em I SB 120x12
Estrutura	 Tubo quadrado 80x80x5
Movimentação do equipamento	 Rodas
Carro principal	 Trole manual e mecânico

Fonte: Autoria própria.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Finalizado o projeto informacional e conceitual, torna-se possível a realização do projeto detalhado junto com a memória de cálculo, em que se é feita a seleção, especificação das características reais e dimensionamento das peças do equipamento.

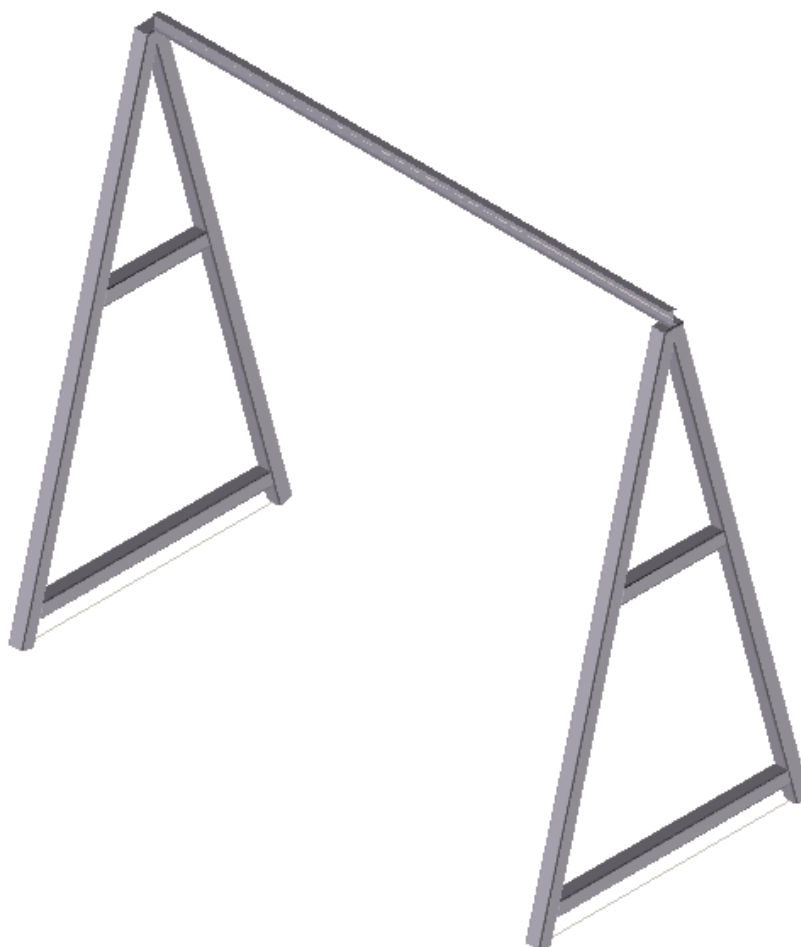
5.1 Projeto Detalhado

Para garantir o desempenho dos equipamentos de transporte e elevação o seu dimensionamento, projeto e fabricação devem seguir normas e critérios de cálculo que estabeleçam as condições necessárias, com base inclusive em equipamentos já existentes. A norma NBR8400 é utilizada para realizar a classificação do equipamento, seleção de alguns componentes. A NBR8800 é necessária para a seleção de algumas peças, além da NBR7007 utilizada para seleção do material das vigas. Desenhos 2D e 3D, simulações estáticas, testes de flambagem, simulação de tombamento (análise dinâmica) foram realizadas com o auxílio dos programas Autodesk Inventor Professional 2020 e SolidWorks 2018.

5.2 Layouts Preliminares

Após realizada as etapas para a seleção da melhor concepção de projeto, que atenda ao cliente e verificada se todas as necessidades foram atendidas, cabe apresentar então um layout preliminar, realizada através do SolidWorks. A Figura 7 apresenta o modelo preliminar do pórtico.

Figura 7 - Pórtico preliminar



Fonte: Autoria própria.

5.3 Classificação do Equipamento

A estrutura é o componente principal no projeto desse tipo de equipamento, pois ela será responsável por suportar/resistir as forças geradas pela aplicação de deslocamentos da carga. São estes: vigas, elementos de fixação, treliças, entre outros.

Seguindo a NBR8400 podemos classificar os equipamentos pelo tipo de trabalho executado. Existem dois fatores para determinação da classe da estrutura: Classe de utilização e Estado de carga.

As principais características do equipamento estão mencionadas na Tabela 11 abaixo.

Tabela 11 - Principais características do equipamento

Carga [kg]	600 kg (carga máxima)
Altura média de elevação (H) [m]	2,5 m
Velocidade de elevação (V) [m/min]	5 m/min
Tempo de trabalho diário (T) [h]	8 h
Número de ciclos [ciclos/h]	10 ciclos/h

Fonte: Autoria própria.

5.3.1 Classe de utilização

A partir da Tabela 12 abaixo, retirada da tabela 1 da norma ABNT NBR 8400, podemos seleccionar a classe de utilização do equipamento.

Tabela 12 - Classe de utilização

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

Fonte: Norma ABNT NBR 8400, adaptado pelo autor (2019).

Com isso, definiu-se que o pórtico rolante participa da classe de utilização A, na qual é uma utilização ocasional não regular, seguida de longos períodos de repouso.

5.3.2 Estados da carga

A partir da Tabela 13 abaixo referente a Tabela 2 retirada da norma NBR 8400, foi possível seleccionar o estado de carga do equipamento, desde 0 (muito leve) a 3 (pesado), influenciando diretamente na carga máxima suportada pelo equipamento.

Tabela 13 - Estado de carga

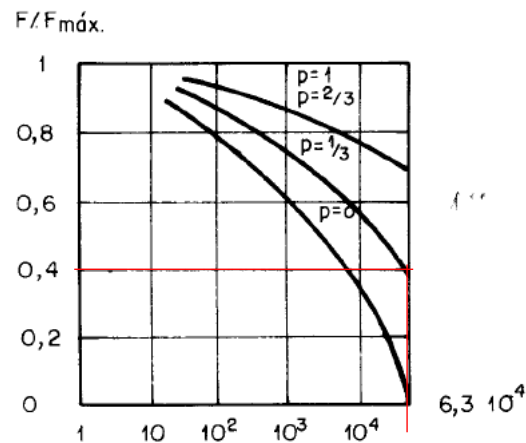
Estado de carga	Definição	Fração mínima da carga máxima
0 (muito leve)	Equipamentos levantando excepcionalmente a carga nominal e comumente cargas muito reduzidas	$P = 0$
1 (leve)	Equipamentos que raramente levantam a carga nominal e comumente cargas de ordem de 1/3 da carga nominal	$P = 1/3$
2 (médio)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

Fonte: Norma ABNT NBR 8400, adaptado pelo autor (2019).

Com isso podemos concluir que o equipamento está inserido na classe de utilização A e estado de carga 1, agora classificaremos de acordo com o diagrama de estado de carga abaixo.

Pela Figura 8 a seguir, anexo da classe de utilização A para $6,3 \times 10^4$ ciclos. Temos a relação $\frac{F}{F_{max}}$, abaixo:

Figura 8 - Diagrama de estado de carga (ou tensões)



Fonte: Norma ABNT NBR 8400, adaptado pelo autor (2019).

A partir do gráfico acima é possível concluir que a relação $\frac{F}{F_{max}} = 0,4$.

5.3.3 Tempo médio de duração do ciclo

Um ciclo completo pode ser compreendido por:

- Levantamento da carga;
- Translação;
- Abaixamento da carga;
- Retirada da carga;
- Levantamento do gancho;
- Translação;
- Abaixamento do gancho;

Considerando a velocidade de elevação (5m/min), de abaixamento e translação obtém-se um tempo médio de duração total do ciclo $t_s = 300$ s.

5.3.4 Tempo médio de funcionamento diário

Para se fazer uma estimativa do tempo médio de funcionamento diário do equipamento, a norma disponibiliza uma fórmula para esse cálculo, onde é dada pela Equação 1 abaixo.

$$t = \frac{2 * H * N * T}{V * 60} \quad 1$$

Onde,

H – Altura média de elevação [m];

N – Número de ciclos de trabalho por hora [ciclos/h]

T – Tempo de trabalho diário [h];

V – Velocidade de elevação [m/min];

Substituindo os valores conhecidos na fórmula acima e resolvendo, podemos encontrar um valor de t, logo abaixo:

$$t = \frac{2 * 2,5 \text{ m} * 10 \frac{\text{ciclos}}{\text{h}} * 8 \text{ h}}{5 \frac{\text{m}}{\text{min}} * 60}$$

$$t = 1,33 \frac{\text{h}}{\text{dia}}$$

5.3.5 Classificação da estrutura do equipamento

A partir da Tabela 4 da Norma ABNT NBR8400, podemos classificar o grupo da estrutura do equipamento. A Tabela 14 abaixo foi retirada da norma para o melhor entendimento.

Tabela 14 - Classificação da estrutura dos equipamentos (ou elementos da estrutura) em grupos

Estado de cargas (ou estado de tensões para um elemento)	Classe de utilização e número convencional de ciclos de levantamento (ou de tensões para um elemento)			
	A 6,3 x 10 ⁴	B 2,0 x 10 ⁵	C 6,3 x 10 ⁵	D 2,0 x 10 ⁶
0 (muito leve) P = 0	1	2	3	4
1 (leve) P = 1/3	2	3	4	5
2 (médio) P = 2/3	3	4	5	6
3 (pesado) P = 1	4	5	6	6

Fonte: Norma ABNT NBR 8400, adaptado pelo autor (2019).

A partir da Tabela 15 retirada da NBR8400 (Tabela 4), com a classe de utilização selecionada (grupo), podemos encontrar o coeficiente de majoração que depende somente do grupo no qual o equipamento está classificado. Abaixo é possível selecionar o coeficiente de majoração para a estrutura, classificado como equipamento.

Tabela 15 - Valores de coeficientes de majoração para equipamentos industriais

Grupos	1	2	3	4	5	6
M _x	1	1	1	1,06	1,12	1,20

Fonte: Norma ABNT NBR 8400, adaptado pelo autor (2019).

Com isso o coeficiente de majoração para o equipamento projetado encontrado foi igual a 1.

5.3.6 Duração teórica de utilização

Com o auxílio da Tabela 16 abaixo, retirada da norma NBR8400 (Tabela 20), é possível encontrar o tempo médio em serviço que o equipamento estará submetido a partir do tempo médio diário que foi estimado no item 5.3.4.

Tabela 16 - Classes de funcionamento

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

Fonte: Norma ABNT NBR 8400, adaptado pelo autor (2019).

Os tempos médios diários são usados para encontrar a duração teórica da utilização, como valor tabelado. Com isso, podemos ver que o tempo médio de funcionamento diário encontrado foi de 1,33 h/dia, ficando na classe de funcionamento V1, portanto a duração teórica da utilização adotada foi de 3200 h.

5.3.7 Número de ciclo de funcionamento

O número do ciclo de funcionamento (N_x) é dado pela equação 2 abaixo, no qual utiliza a duração teórica de utilização (t_d) e o tempo médio de duração do ciclo (t_s).

$$N_x = 3600 * \frac{t_d}{t_s} \quad (2)$$

Substituindo, $t_s = 300$ s e $t_d = 3200$ h, então:

$$N_x = 3,84 \times 10^4 \text{ ciclos}$$

5.3.8 Tempo total de utilização efetiva

O tempo total de utilização efetivo (t_e), que é dado pela equação 3 abaixo:

$$t_e = \frac{N_X * t_s}{3600} \quad (3)$$

Aplicando os valores conhecidos, pode-se encontrar um tempo total efetivo de 3200 h.

5.3.9 Duração de utilização dos mecanismos

A duração total de utilização (t_i) dos mecanismos é encontrada na Tabela 20 da norma ABNT NBR 8400. A norma disponibiliza a Equação 4 abaixo:

$$\alpha_i = \frac{t_c}{t_s} \quad (4)$$

O tempo t_s já foi calculado anteriormente, já o t_c é o tempo de funcionamento para os mecanismos, com movimentos verticais e horizontais.

Os tempos de funcionamento para os mecanismos, são:

- a) Movimentos verticais: $t_c = 40$ s.
- b) Movimentos horizontais: $t_c = 40$ s.

Com isso, para ambos teremos o mesmo valor de α_i , calculado abaixo.

$$\alpha_i = \frac{40}{300} = 0,133 = 0,13$$

Através da Tabela 17, retirada da norma ABNT NBR 8400 (Tabela 35), podemos encontrar os valores de t_i , para os dois movimentos.

Tabela 17 - Duração de utilização dos mecanismos em função de t_e e α_i

$t_e(h)$ \ α_i	Duração total t_i da utilização do mecanismo (h)						Classe de funcionamento
	1	0,63	0,40	0,25	0,16	0,10	
530	530	335	210	132	85	53	$V_{0,25}$
1050	1050	660	420	265	165	105	
1320	1320	830	530	335	210	132	
1660	1660	1050	660	420	265	166	
2100	2100	1320	830	530	335	210	
2650	2650	1660	1050	660	420	265	
3320	3320	2100	1320	830	530	335	$V_{0,5}$
4200	4200	2650	1660	1050	660	420	
5300	5300	3320	2100	1320	830	530	
6650	6650	4200	2650	1660	1050	660	
8400	8400	5300	3320	2100	1320	830	
10500	10500	6650	4200	2650	1660	1050	
13200	13200	8400	5300	3320	2100	1320	V_1
16600	16600	10500	6650	4200	2650	1660	
21000	21000	13200	8400	5300	3320	2100	
26600	26600	16600	10500	6650	4200	2650	

Fonte: Norma ABNT NBR 8400, adaptado pelo autor (2019).

Encontrando um valor de 1660 h, correspondente a t_i .

5.4 Seleção do mecanismo de levantamento

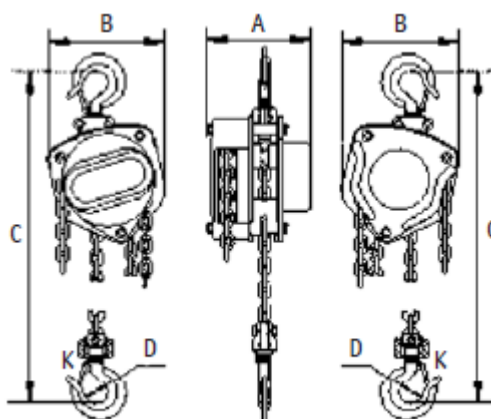
Na metodologia desenvolvida foi discutido critérios impostos pelo cliente visando o desenvolvimento do projeto de maneira concisa e que atenda a real necessidade de projeto. Com isso a utilização de sistemas o mais simples e baratos possíveis, mas que entreguem confiabilidade e segurança na utilização, foram buscados atrelando a facilidade de acesso a esses tipos de componentes.

5.4.1 Talha manual

No mercado existem milhares de marcas, modelos e configurações diferentes, uma grande diversidade. Buscando atender a necessidade do cliente e fugir de um superdimensionamento, o que encareceria o produto, foi feito um estudo de viabilidade de componentes pesquisados e selecionou-se o que mais se adequou.

O modelo selecionado foi a talha manual de corrente, modelo CM HSZ 1 da marca Columbus McKinnon do Brasil Ltda. Na Figura 9 é mostrado com detalhes os seus componentes, as características técnicas do equipamento são mostradas na Tabela 18. A talha tem um custo em torno de R\$ 670,00 reais, com uma corrente de até 5 m, podendo variar o valor se realizar alterações nos componentes mudáveis da talha.

Figura 9 - Características técnicas da talha



Fonte: Manual técnico Columbus McKinnon (Linha de talhas manuais, elétricas e pneumáticas, 2019)

Tabela 18 - Dimensões da talha manual

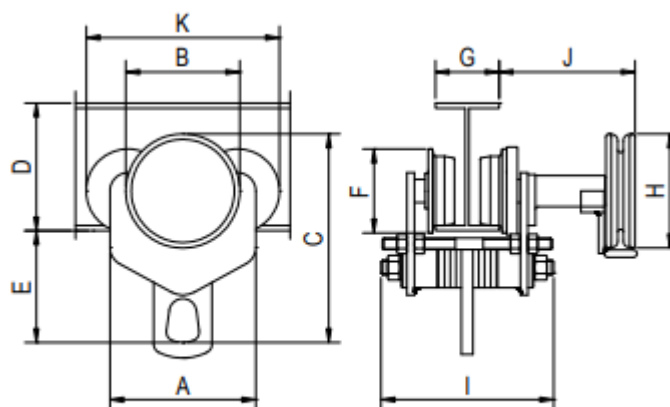
Especificações Técnicas							
Modelos/Código		HSZ-05	HSZ-1	HSZ-2	HSZ-3	HSZ-5	HSZ-10
Capacidade	(t)	0,5	1	2	3	5	10
*Elevação padrão	(m)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Esforço requerido p/elevação (carga máxima)	N	170	340	340	390	420	420
Ramais da corrente decarga		1	1	2	2	2	4
Ø corrente de carga	(mm)	6	6	6	8	10	10
Peso	(kg)	10	10	13	23	36	68
Peso de corrente p/metro de elevação	(kg)	0,8	0,8	1,6	3,7	5,3	9,7
A	(mm)	121	133	155	155	164	164
B	(mm)	117	150	174	197	253	382
C	(mm)	270	300	399	450	603	768
D	(mm)	35	35,5	42,5	50	64	85
K	(mm)	30	34	33,3	48	50	64

Fonte: Manual técnico Columbus McKinnon (Linha de talhas manuais, elétricas e pneumáticas, 2019)

5.4.2 Trole manual

O modelo selecionado foi o carro com trole manual e mecânico da empresa Berg-Steel cujo o modelo é mostrado na Figura 10, dimensões na Tabela 19 e as características técnicas na Tabela 20. O preço do trole varia de R\$ 240,00 reais a R\$ 500,00.

Figura 10 – Desenho esquemático do trole manual



(Fonte: catálogo técnico Berg-Steel, 2019)

Tabela 19 - Dimensões do trole manual

Mod.	Cap. (t)	A	B	C	D (mínimo)	E	F	G	H	I	J	K
Manual Mecânico	1	160	120	---- 218	100	117	98	67 - 117	---- 125	230	---- 136	218
Manual Mecânico	2	202	142	---- 257	127	129	128	76 - 117	---- 125	230	---- 136	270
Manual Mecânico	3	260	184	---- 330	200	159	162	100 - 140	---- 180	268	---- 148	346
Manual Mecânico	5	310	219	---- 404	200	208	196	100 - 160	---- 180	305	---- 152	415
Mecânico	7,5	364	250	477	260	276	242	118 - 183	280	346	179	492
Mecânico	10	364	250	477	260	276	242	118 - 183	280	346	179	492
Mecânico	15	380	250	505	260	308	242	118 - 183	280	392	181	495
Mecânico	20	884	520	742	260	481	242	118 - 183	280	346	179	1012
Mecânico	30	900	520	800	260	540	242	118 - 183	280	392	181	1015
Mecânico	40	1420	1040	969	260	720	242	118 - 183	280	392	181	1535
Obs.: Perfis com dimensão G acima dos limites da tabela, sob consulta.												

(Fonte: catálogo técnico Berg-Steel, 2019)

Tabela 20 - Características do trole manual

Capacidade (t)			1	2	3	5	7,5	10	15	20	30	40
Tipo da corrente			Elos									
Bitola (mm)			5					6				
Modelos	Manual Mecânico	Peso por metro de elevação (kg)	1	1	1	1	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	Manual Mecânico	Peso sem corrente (kg)	9 12	15 18	28 36	51 61	110	119	136	288	335	520
	Manual Mecânico	Redução	4,5:1	3,7:1	4,3:1	6,7:1	6,7:1	6,3:1	6,3:1	6,3:1	6,3:1	6,3:1
	Manual Mecânico	Esforço necessário (kg)	10	11	13	15	17	20	25	26	29	38
	Raio mínimo de curvatura (mm)		1100	1300	1700	2000	2300	2300	2300			

(Fonte: catálogo técnico Berg-Steel, 2019)

5.5 Solicitações que interferem no cálculo da estrutura do equipamento

Segundo a norma da ABNT NBR 8400 o cálculo da estrutura do equipamento é realizado determinando-se as tensões atuantes na estrutura em funcionamento, buscando analisar a estrutura sob as condições mais severas. Para o cálculo destas tensões devem-se considerar as seguintes solicitações:

- Principais cargas atuantes sobre a estrutura no estado de carga mais desfavorável;
- Tensões devido aos movimentos verticais;
- Tensões devido aos movimentos horizontais.

5.5.1 Casos de solicitação

Segundo a norma NBR 8400 são previstos nos cálculos três casos de solicitação, descritos abaixo:

- a) Caso I – serviço normal sem vento;
- b) Caso II – serviço normal com vento limite de serviço;
- c) Caso III – solicitações excepcionais.

O equipamento trabalha com serviço normal com vento limite de serviço, portanto serão efetuados os cálculos somente para o caso escolhido, II. O coeficiente de majoração (M_x) que foi calculado no item 5.3.5, é utilizado neste cálculo cujo valor depende do grupo que o equipamento está classificado, deve ser aplicado no cálculo das estruturas.

O coeficiente de majoração para equipamentos industriais de aplicação não-siderúrgica se encontra no grupo 2 com coeficiente de majoração igual a 1.

5.5.2 Solicitações devidas aos movimentos verticais

Nesse deslocamento a norma NBR 8400 indica que deve considerar as oscilações provocadas pelo levantamento brusco, multiplicando-se as solicitações devido as cargas pelo coeficiente dinâmico (Ψ). O valor de Ψ é obtido pela tabela 5 da norma ABNT NBR 8400, cujo valor adotado é 1,4998. A Tabela 20 abaixo tem-se a tabela retirada da Norma NBR 8400.

Tabela 20 - Valores dos coeficientes dinâmicos (Ψ)

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

Fonte: Norma ABNT NBR 8400 (1984)

5.5.3 Solicitações devido aos movimentos horizontais

Segundo a Norma NBR 8400 as solicitações devido aos movimentos horizontais são:

- A. Os efeitos de inércia devido às acelerações/desacelerações, relativos aos movimentos de translações horizontais;
- B. Reações horizontais transversais provocadas pela translação.

5.5.3.1 Efeitos horizontais devido às acelerações ou desacelerações

Para realizar esse cálculo, a norma NBR 8400 indica que estime a velocidade do trole, então temos:

$$V_t = 0,08 \text{ m/s}$$

Com esse valor selecionado, o tempo de aceleração e desaceleração podem ser obtidos pela tabela 6 da norma NBR 8400. Abaixo temos a Tabela 21 com as informações necessárias. Com isso foi possível encontrar os valores desejados, de tempo e aceleração:

$$T = 1,25 \text{ s}$$

$$a = 0,032 \text{ m/s}^2$$

Tabela 21 - Tempos de aceleração e desaceleração

Velocidade a atingir		Equipamentos de velocidade lenta e média		Equipamentos de velocidade média e alta (aplicações comuns)		Equipamentos de alta velocidade com fortes acelerações	
(m/s)	(m/min)	Tempos de aceleração (s)	Acelerações (m/s ²)	Tempos de aceleração (s)	Acelerações (m/s ²)	Tempos de aceleração (s)	Acelerações (m/s ²)
4,00	240	-	-	8,0	0,50	6,0	0,67
3,15	189	-	-	7,1	0,44	5,4	0,58
2,50	150	-	-	6,3	0,39	4,8	0,52
2,00	120	9,1	0,22	5,6	0,35	4,2	0,47
1,60	96	8,3	0,19	5,0	0,32	3,7	0,43
1,00	60	6,6	0,15	4,0	0,25	3,0	0,33
0,63	37,8	5,2	0,12	3,2	0,19	-	-
0,40	24	4,1	0,098	2,5	0,16	-	-
0,25	15	3,2	0,078	-	-	-	-
0,16	9,6	2,5	0,064	-	-	-	-

Fonte: Norma ABNT NBR 8400 (1984)

Pela norma, o cálculo seguinte é o da força de inércia, devemos levar em consideração os parâmetros importantes, seguindo abaixo:

- a) Massa equivalente: Para este caso, a massa equivalente é igual a massa do sistema de levantamento.

$$m_{eq} = 10 \text{ kg} + (0,8 \times 2,5) = 12 \text{ kg}$$

- b) Força de inércia média: A norma NBR 8400 disponibiliza a equação 5 abaixo:

$$F_m = m \times a \quad (5)$$

Onde: m = carga útil (peso de levantamento)

Então:

$$F_m = 600 \times 0,032$$

$$F_m = 19,2 \text{ N}$$

- c) Período de oscilação é dado pela equação 6 abaixo:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (6)$$

Onde:

T_1 = período de oscilação [s]

L = comprimento de suspensão de carga [m]

G = aceleração da gravidade [m/s^2]

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{2}{9,807}}$$

$$T_1 = 2,84 \text{ s}$$

d) Coeficiente μ : É calculado pela equação 7 abaixo:

$$\mu = \frac{m_1}{m_{eq}} \quad (7)$$

$$\mu = \frac{600 \text{ kg}}{10,8 \text{ kg}}$$

$$\mu = 55,55$$

e) Coeficiente β : É calculado pela equação 8 abaixo:

$$\beta = \frac{T}{T_1} \quad (8)$$

$$\beta = \frac{1,25}{2,84}$$

$$\beta = 0,44$$

f) Coeficiente ψ_h :

Para um valor de $\mu > 2$, ψ_h pode ser calculado pela equação 9 abaixo.

$$\psi_h = \sqrt{\left(2 + \mu + \frac{1}{\mu}\right)} \quad (9)$$

$$\psi_h = 7,59$$

g) Força de inércia devido à carga, aplica-se a equação 10 abaixo.

$$F_t = \psi_h \times Fm \quad (10)$$

$$F_t = 145,73 \text{ N}$$

5.5.3.2 Forças de inércia resultantes dos movimentos do equipamento

As forças de inércia resultantes dos movimentos de arranque e parada do equipamento são consideradas uniformemente distribuídas sobre a estrutura, afim de facilitar o cálculo. Considerando um equipamento de baixa velocidade (0,63 m/s), lenta e média a partir da Tabela 6 da norma ABNT NBR 8400 e figura 22 do presente trabalho, podemos retirar o tempo de aceleração ($T_m = 5,2 \text{ s}$) e a aceleração (a) é $0,12 \text{ m/s}^2$. A continuação do cálculo das forças de inércia é realizada mais à frente.

5.5.3.3 Reações transversais devidas ao rolamento

Essa etapa tem por objetivo verificar as reações transversais sofridas pela estrutura quando o trole realizar o movimento “torto” da carga, quando as rodas giram sobre o trilho originando um movimento formado pelas forças horizontais perpendiculares ao trilho. Sendo assim, temos que calcular alguns coeficientes abaixo. Sabendo que:

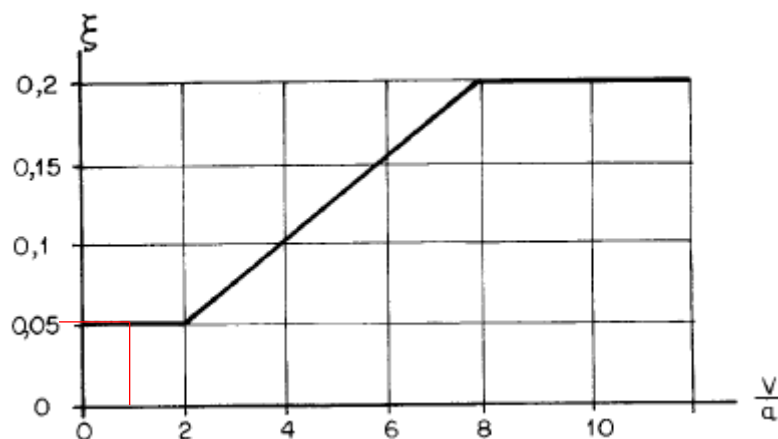
- O vão considerado será de 2,0 metros;
- A distância entre eixos retirada do equipamento selecionado é de 218 *mm*.

A partir da equação 11 abaixo:

$$\frac{v}{a} = \frac{230}{218} = 1,05 \quad (11)$$

A partir da Figura 11 abaixo, podemos encontrar o coeficiente ξ .

Figura 11 - Coeficiente que determina as reações transversais devidas ao rolamento



Fonte: Norma ABNT NBR 8400 (1984)

Então, $\xi = 0,05$.

Assim, podemos encontrar a reação total a partir da equação 12 abaixo.

$$R_T = R \times \xi \quad (12)$$

$$R_T = 2,8 \times 0,05$$

$$R_T = 1,4 \text{ kN}$$

5.5.4 Solicitações originadas pelos efeitos climáticos

Essas solicitações devidas aos efeitos climáticos resultam, geralmente, da ação do vento, neve e variações da temperatura no ambiente em que o equipamento está exposto. No caso desse trabalho em si, será verificado apenas a ação do vento sobre a estrutura.

Primeiramente, calcula-se a pressão do vento que é dada pela Equação 13 abaixo.

$$P_a = \frac{v_w^2}{1,6} \quad (13)$$

Para realizar o cálculo acima precisamos encontrar a velocidade do vento e a pressão dinâmica do vento, que podem ser retirados da Tabela 22 abaixo.

Tabela 22 - Valores da pressão aerodinâmica

Altura em relação ao solo (m)	Vento limite de serviço			Vento máximo (equipamento fora de serviço)		
	Velocidade		Pressão aerodinâmica (N/m ²)	Velocidade		Pressão aerodinâmica (N/m ²)
	(m/s)	(km/h)		(m/s)	(km/h)	
0 a 20	20	72	250	36	130	800
20 a 100				42	150	1100
Mais de 100				46	165	1300

Fonte: Norma ABNT NBR 8400 (1984)

Selecionando uma altura em relação ao solo de até 20 m, uma velocidade de vento limite de serviço de 20 m/s, encontramos uma pressão aerodinâmica de 250 N/m².

O cálculo da força do vento é dado pela equação 14 abaixo.

$$F_w = C \times A \times P_a \quad (14)$$

Onde:

F_w = Força do vento em (N)

C = Coeficiente de forma

A = Área efetiva (m²)

P_a = Pressão dinâmica do vento (N/m²)

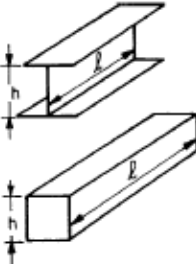
A partir da Figura 12 abaixo retirada da norma NBR 8400, para vigas de alma cheia ou fechada, podemos encontrar um coeficiente aerodinâmico no valor de 1,4.

Então:

$$F_w = 1,4 \times 5 \times 250$$

$$F_w = 1,75 \text{ kN}$$

Figura 12 - Valores da pressão aerodinâmica

Tipo de viga	Croqui	Relação	Coefficiente aerodinâmico (C)
Treliça composta por perfis		-	1,6
Viga de alma cheia ou caixa fechada		$\frac{l}{h} = 20$	1,6
		$\frac{l}{h} = 10$	1,4
		$\frac{l}{h} = 5$	1,3
		$\frac{l}{h} = 2$	1,2
Elementos tubulares e treliça composta por tubos (d em m)		$d\sqrt{P_s/10} \leq 1$	1,2
		$d\sqrt{P_s/10} > 1$	0,7

Fonte: Norma ABNT NBR 8400 (1984)

5.6 Dimensionamento da estrutura do equipamento

Para essa parte do projeto, o dimensionamento primeiramente foi realizado um pré-dimensionamento através de croquis e programas de desenho e simulação, buscando o melhor entendimento do projeto necessário e visando abrir horizontes de soluções eficazes e que atendam às necessidades. Tendo em mãos a norma NBR 8800 que trata do Projeto de estruturas de aço além de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, com o andamento do projeto verificar a viabilidade do croqui feito.

A norma NBR 8400 determina que se deve determinar as tensões nos diferentes elementos e estruturas que compõem o equipamento e verificar a existência de um fator de segurança suficiente em relação as tensões críticas, considerando os seguintes tipos de falha:

- Ultrapassar o limite de escoamento;
- Ultrapassar as cargas críticas de flambagem.

5.6.1 Aço da estrutura do equipamento

O aço selecionado foi o SAE 2330, principalmente devido à sua tensão ser satisfatória, relacionada a norma utilizada em projeto. Suas características são mostradas na Tabela 23.

Tabela 23 - Características do aço

AÇO SAE 2330	
CARACTERÍSTICAS	Aço estrutural de baixa liga e alta resistência desenvolvido para estruturas metálicas a fim de reduzir o peso em virtude da resistência mecânica mais elevada, com maior resistência à corrosão atmosférica, quando comparado com um aço carbono de uso comum.
APLICAÇÕES	Estruturas metálicas em geral, máquinas e implementos agrícolas, implementos rodoferroviários e demais aplicações em que seja necessária proteção adicional contra a corrosão atmosférica aliada a uma maior resistência mecânica.
PRINCIPAIS PRODUTOS	Cantoneira, Barra Redonda, Barra Chata, Perfil I, Perfil U e Perfil T

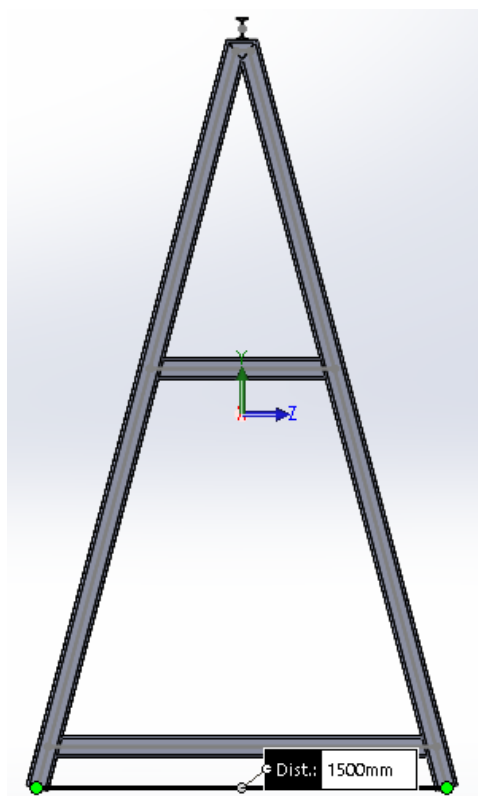
PROPRIEDADES MECÂNICAS	Limite de escoamento: 630 MPa
	Tensão de resistência: 550 - 740 MPa
	Alongamento após ruptura: 20%

Fonte: Gerdau, 2013.

5.6.2 Dimensões do equipamento

Como foi definido inicialmente, o equipamento tem 2 metros de vão e 2,5 metros de altura de elevação, sendo suficiente para realizar a movimentação desejada. O pórtico possui 4 rodas. A partir dos cálculos de momento e com o desenvolvimento da pesquisa bibliográfica, definiu que a distância entre as pernas do equipamento é de 1,5 m, como mostra a Figura 13 abaixo.

Figura 13 - Estabilidade longitudinal do projeto preliminar.



Fonte: Autoria própria.

5.6.3 Solicitações sobre a estrutura do pórtico rolante

5.6.3.1 Peso próprio dos elementos (SG)

O peso próprio dos elementos que são considerados uniformemente distribuídos ao longo da estrutura, é de 105,91 N.

5.6.3.2 Solicitações devidas aos movimentos verticais (SL)

As solicitações devido aos movimentos verticais, chamado pela norma de SL, é dada pela Equação 15 abaixo.

$$SL = M_x \times \Psi \times 4905 \quad (15)$$

$$SL = 1 \times 1,4998 \times 4905$$

$$SL = 7,356 \text{ kN}$$

5.6.3.3 Solicitações devidas aos movimentos horizontais (SH)

As solicitações devido aos movimentos horizontais, é dado pela Equação 16 abaixo.

$$SH = M_x \times (RT1 + RT2) \quad (16)$$

$$SH = 1 \times (0,14 + 0,14)$$

$$SH = 0,28 \text{ kN}$$

5.6.3.4 Solicitações originadas pelos efeitos climáticos (S_w)

Com a força do vento calculado no item 5.5.4 e o fator de majoração que também já foi calculado, podemos encontrar as solicitações pelos efeitos climáticos, através da Equação 17 a seguir.

$$S_w = M_x \times (1750 \text{ N}) \quad (17)$$
$$S_w = 1,75 \text{ kN}$$

5.6.3.5 Carga real

A partir da norma NBR 8400, a carga real atuante na viga principal é resultante da aplicação de fatores que levam em consideração as condições de funcionamento e a carga de serviço. A Equação 18 abaixo demonstra o cálculo da carga real.

$$CR = SL + SH + SG + S_w \quad (18)$$

$$CR = 7,35 + 0,28 + 0,10591 + 1,75$$

$$CR = 9,48 \text{ kN}$$

5.7 Seleção das secções da viga e pernas

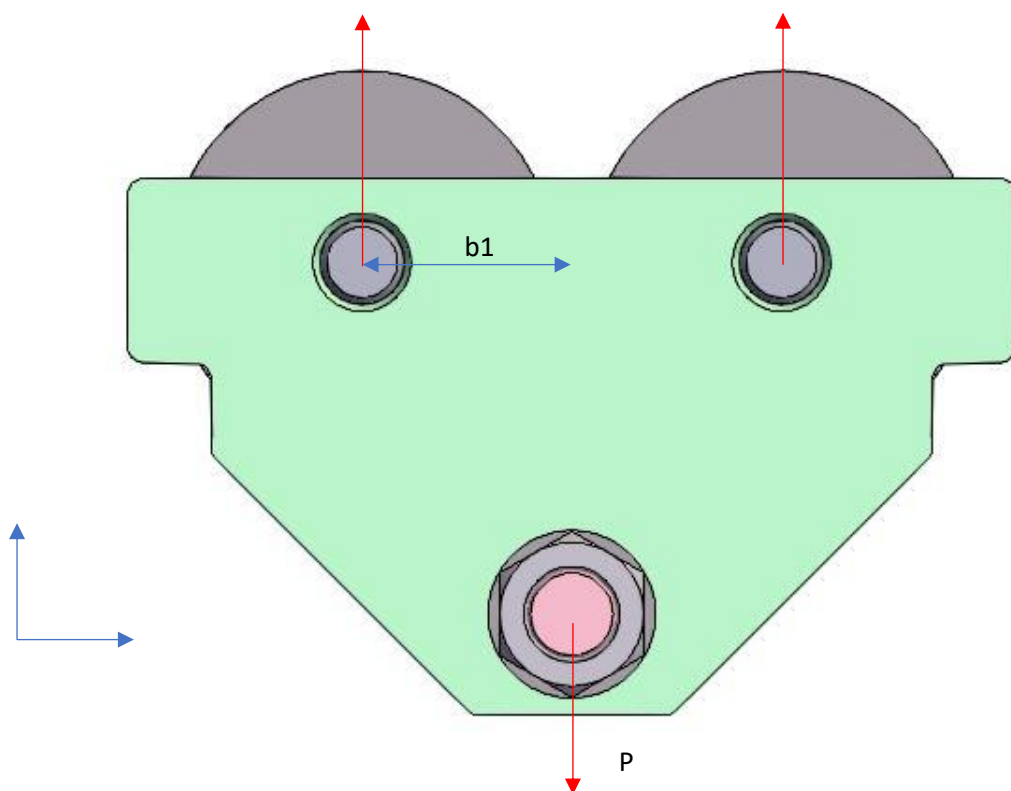
Buscando uma maneira mais direta, este pré-dimensionamento tem por objetivo ter ideia das seções necessárias para os elementos principais da estrutura. Com isso, podemos dividir o dimensionamento em duas partes:

- Viga principal;
- Pernas.

5.7.1 Reações nas rodas do trole

Mostra-se na Figura 14 as reações no trole, R_1 e R_2 , b_1 e b_2 são as distâncias das rodas até o centro de aplicação da carga, que coincide com o centro de massa do sistema de levantamento.

Figura 14 - Reações no trole



Fonte: Autoria própria.

Sabendo que $b_1 = b_2 = 160$ mm. Fazendo o somatório das forças, e igualando os momentos a zero. Temos:

$$R1 = R2 = \frac{P}{2} = \frac{CARGA REAL}{2}$$

O P considerado será o calculado na seção 5.6.3.5 em que foi calculado a carga real.

Assim,

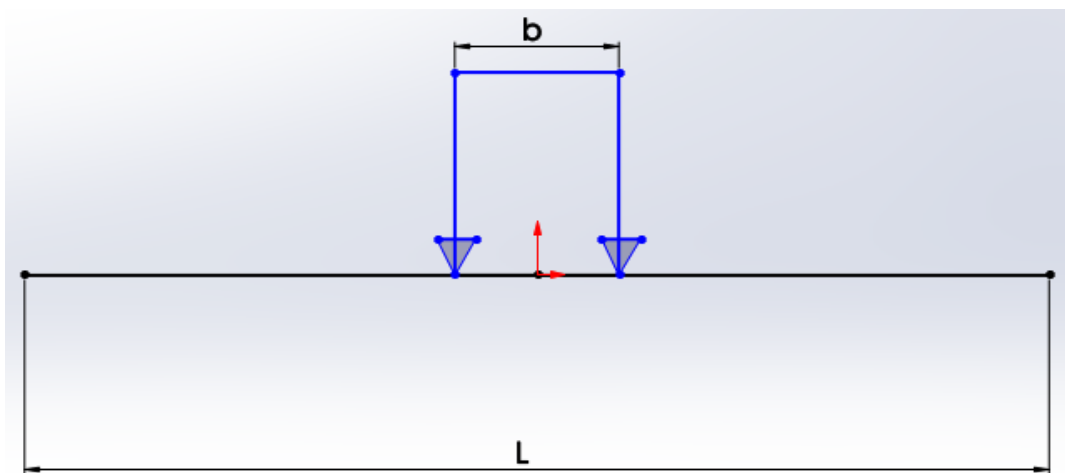
$$R1 = R2 = \frac{9,48 \text{ kN}}{2} = 4,74 \text{ kN}$$

5.7.2 Viga principal

Para a viga principal, no pré-dimensionamento são adotadas algumas simplificações. A Figura 15 abaixo, mostra o esquema estático da viga. R1 e R2 já encontrados na seção anterior 5.7.1 e l é o vão do equipamento, então podemos encontrar:

- $R1 = R2 = 4,74 \text{ kN}$;
- $b = 0,32 \text{ m}$;
- $L = 3 \text{ m}$.

Figura 15 - Esquema da viga e esforços sobre a mesma



Fonte: Autoria própria.

Pela Equação 19, podemos encontrar o valor máximo na viga.

$$M_m = M_x \times \Psi \times R1 \times \left(\frac{L - b}{2} \right) \quad (19)$$

$$M_m = 1 \times 1,4998 \times 4,74 \times \left(\frac{3 - 0,32}{2} \right)$$

$$M_m = 9,53 \text{ kNm}$$

Para o caso de solicitação II (serviço normal com vento limite de serviço), a NBR 8400 estabelece uma relação entre a tensão de escoamento e admissível para tração e compressão, vista na Tabela 24 abaixo retirada da Norma NBR 8400 sendo a Tabela 12 da norma.

Tabela 24 - Tensões admissíveis à tração (ou compressão) simples

Casos de solicitação	Caso I	Caso II	Caso III
Tensão admissível			
σ_s	$\frac{\sigma_e}{1,5}$	$\frac{\sigma_e}{1,33}$	$\frac{\sigma_e}{1,1}$

Fonte: Norma ABNT NBR 8400 (1984).

Com isso, sabendo que o equipamento foi caracterizado pelo caso II, podemos calcular a partir da Equação 20.

$$\sigma_A = \frac{\sigma_e}{1,33} \quad (20)$$

Onde:

σ_e = tensão de escoamento do material

Então, calculando a tensão admissível, que servirá como critério de aceitação do material e bitola selecionada.

$$\sigma_A = \frac{630 \text{ MPa}}{1,33} = 473,7 \text{ MPa}$$

Os perfis aqui selecionados foram escolhidos através do catálogo da Gerdau, o aço foi o especificado no item 5.6.1, em que o $\sigma_e = 630 \text{ MPa}$. Então, para calcular o módulo elástico mínimo da secção, aplica-se a Equação 21 abaixo.

$$W_x > \frac{M_m \times 10^6}{\sigma_A} \quad (21)$$

$$W_x > 22,69 \text{ cm}^3$$

A NBR 8800 estabelece valores limites para a flecha máxima admissível (δ_a), em que é recomendado a relação (L/600), então:

$$\delta_a = 3,33 \text{ mm}$$

O momento de inércia é dado pela Equação 22 abaixo.

$$I_x = \frac{(M_x \times \psi \times 2 \times R1) \times L^3}{48 \times E \times \delta_a} \quad (22)$$

Onde:

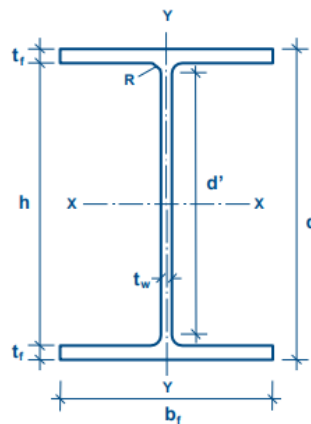
E = Módulo de elasticidade (205 GPa)

$$I_x = \frac{(1 \times 1,4998 \times 2 \times 4,74) \times 3^3}{48 \times 205 \times 3,33}$$

$$I_x = 1172 \text{ cm}^4$$

Com os valores de W_x e I_x foi selecionado o perfil desejado para continuar o dimensionamento estrutural, viga SB I 120x12 mostrado na Figura 16 abaixo retirada do catálogo da Gerdau.

Figura 16 - Perfil da viga em I selecionada



Fonte: Gerdau, 2013.

Com a definição do perfil da viga principal, realizou-se o cálculo da tensão máxima atuante na seção transversal da viga, através da Equação 23 abaixo.

$$\sigma_{max} = M_f \times \frac{Y}{I} \leq \frac{\sigma_e}{C} \quad (23)$$

Onde:

σ_{max} = Tensão máxima (MPa)

σ_e = Tensão de escoamento do material selecionado (350 MPa)

Y = Distância da borda até a linha neutra da viga:

I = Momento de inércia da viga

C = Coeficiente de segurança: 1,33

$$\sigma_{max} = 5970 \text{ Nm} \times \frac{0,051}{1172 \text{ cm}^4} \leq \frac{630}{1,33}$$

$$\sigma_{max} = 259 \text{ MPa} \leq 473,7 \text{ MPa}$$

5.7.3 Pernas

Segundo a literatura estabelecida nas normas utilizadas, para o pré-dimensionamento das pernas considera-se que o momento máximo nas mesmas é de 35% do momento máximo da viga principal, levando em consideração que o trole com o peso estará sob a coluna de sustentação. Com isso, podemos dar continuidade aos cálculos e encontrar o módulo elástico mínimo nas pernas, que é dado pela Equação 24 abaixo:

$$W_x > \frac{M_m \times 0,35}{\sigma_a} \quad (24)$$

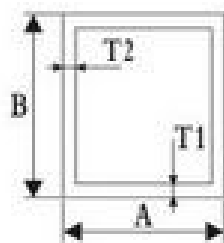
Então:

$$W_x > 7,94 \text{ cm}^3$$

Com o valor de W_x em mãos foi escolhido a partir do catálogo da Gerdau, selecionou-se a barra com seção transversal quadrada e que tem comprimento definido,

oferecendo menos perda de material e facilitando o cálculo da matéria-prima, com especificação ANSI 80 X 80 X 5, com o perfil mostrado na Figura 17 abaixo e características técnicas na Figura 18.

Figura 17 - Perfil do tubo quadrado selecionado



Fonte: Gerdau, 2013.

Figura 18 – Dados dos tubos quadrados

Bitola mm	Peso teórico kg/m																		
	Espessura mm																		
	0,90	1,06	1,20	1,50	1,90	2,00	2,25	2,65	3,00	3,35	3,75	4,25	4,50	4,75	5,00	5,40	5,60	6,30	7,30
15 x 15	0,40	0,47	0,53	0,65															
16 x 16	0,43	0,50	0,57	0,70															
20 x 20	0,54	0,64	0,72	0,88	1,08	1,13													
25 x 25	0,68	0,80	0,90	1,12	1,40	1,47	1,64	1,90	2,13										
30 x 30	0,83	0,97	1,09	1,35	1,70	1,78	1,99	2,32	2,60	2,87	3,18								
35 x 35	0,97	1,13	1,28	1,59	1,99	2,09	2,34	2,73	3,07	3,40	3,76								
40 x 40	1,11	1,30	1,47	1,82	2,29	2,41	2,69	3,15	3,54	3,92	4,35	4,88	5,14	5,39					
50 x 50		1,63	1,84	2,29	2,89	3,03	3,40	3,98	4,48	4,97	5,53	6,21	6,55	6,88	7,05	7,54	7,79	8,62	
60 x 60		1,96	2,22	2,76	3,48	3,66	4,10	4,81	5,42	6,02	6,70	7,54	7,96	8,37	8,78	9,43	9,75	10,86	
63,5 x 63,5			2,35	2,93	3,69	3,88	4,35	5,10	5,74	6,39	7,11	8,01	8,45	8,89	9,33	10,02	10,36	11,55	
70 x 70			2,60	3,23	4,08	4,29	4,81	5,64	6,36	7,07	7,87	8,87	9,37	9,86	10,35	11,12	11,50	12,83	
80 x 80				3,70	4,67	4,91	5,51	6,47	7,29	8,12	9,05	10,20	10,78	11,35	11,91	12,81	13,26	14,81	
90 x 90				4,17	5,27	5,54	6,22	7,30	8,23	9,17	10,22	11,53	12,19	12,83	13,48	14,50	15,01	16,78	19,26
100 x 100					6,17	6,92	8,13	9,17	10,22	11,40	12,87	13,59	14,32	15,04	16,19	16,77	18,75	21,55	23,48
110 x 110					6,79	7,63	8,96	10,11	11,26	12,57	14,20	15,00	15,81	16,61	17,89	18,52	20,73	23,84	25,98
120 x 120					7,42	8,33	9,79	11,05	12,31	13,75	15,53	16,41	17,30	18,18	19,58	20,27	22,70	26,12	28,49
130 x 130					8,04	9,04	10,62	11,99	13,36	14,92	16,86	17,82	18,78	19,74	21,27	22,03	24,67	28,41	30,99
150 x 150								12,28	13,87	15,46	17,27	19,52	20,64	21,76	22,87	24,65	25,54	28,62	32,98
160 x 160								13,11	14,81	16,51	18,45	20,85	22,05	23,25	24,44	26,34	27,29	30,59	35,27
170 x 170								13,94	15,75	17,56	19,62	22,18	23,46	24,73	26,01	28,03	29,04	32,57	37,55
175 x 175								14,35	16,22	18,08	20,21	22,85	24,17	25,48	26,79	28,88	29,92	33,55	38,70

Fonte: Braganfer – Shopping do aço, 2019.

Após a seleção dos perfis da viga e das pernas é feita a verificação quanto às tensões que atuam na mesma através da Equação 25 mostrada a seguir, tendo como observação que a tensão máxima não exceda o valor da tensão admissível.

$$\sigma_{max} = \frac{\pi^2 \times G}{\left(\frac{L}{\sqrt{\left(\frac{I}{A}\right)^2}} \right)} \leq \frac{630}{1,33} \quad (25)$$

Onde:

σ_{max} = Tensão máxima de flambagem [N/m²]

A = Área de secção transversal da viga

C = coeficiente de segurança: 1,33

G = módulo de elasticidade [N/m²]

$$\sigma_{max} = 437,1 \text{ MPa} \leq 473,7 \text{ MPa}$$

5.8 Cálculos das forças de inércia resultantes dos movimentos do equipamento

5.8.1 Massa equivalente

Buscando analisar a estrutura em movimento, podemos aplicar um conceito simples, mas que resolve nosso problema, então é somado todas as massas das partes da estrutura.

1. $m_{viga} = 22,5 \frac{kg}{m} \times 2 m = 45 kg$
2. $m_{trole} = 9 kg$
3. $m_{Sist. levantamento} = [10 kg + (0,8 \times 2,5)] = 12 kg$
4. $m_{rodas} = 4 \times 2 kg = 8 kg$
5. $m_{Sist. travamento} = 1,8 kg$

Com esses dados podemos então calcular a massa equivalente do sistema, que é calculada abaixo:

$$m_{eq} = 45 kg + 9 kg + 12 kg + 8 kg + 1,8 kg$$

$$m_{eq} = 75,8 kg$$

5.8.2 Força de inércia

A força de inércia é o produto da massa equivalente do sistema pela aceleração que a mesma estará submetida. Na seção 5.3.2.1 foi definido que a aceleração do equipamento é de 0,12 m/s².

5.8.2.1 Sistema de levantamento e carga útil

Pela Equação 26 abaixo, podemos calcular a força de inércia do conjunto sistema de levantamento. Então:

$$F_1 = \psi_h \times (m_{sl} + m_u) \times a \quad (26)$$

$$F_1 = 7,59 \times (12 kg + 600 kg) \times 0,12 m/s^2$$

$$F_1 = 557,4 N$$

5.8.2.2 Viga principal

A massa da viga principal, levando em conta seu vão de 2 m, é igual a 45 kg, considerando que a força será distribuída uniformemente sob a viga principal, podemos calcular essa força abaixo, a partir da Equação 27 abaixo.

$$F_2 = \psi_h \times m_v \times a \quad (27)$$

$$F_2 = 7,59 \times 45 \text{ kg} \times 0,12 \text{ m/s}^2$$

$$F_2 = 41 \text{ N}$$

Considerando a força uniformemente distribuída, temos:

$$\frac{F_2}{m} = \frac{F_2}{l_{viga}}$$

$$F_2 = \frac{41 \text{ N}}{2} = 20,5 \text{ N/m}$$

5.9 Parafuso de fixação

Para a seleção dos parafusos de fixação, utilizou-se a norma NBR 8400. Os parafusos do pórtico estão trabalhando sobre tração e cisalhamento combinado, assim eles devem atender a duas condições descritas na norma, mostradas abaixo.

1. $\sigma \leq 0,65 \sigma_a$
2. $\tau \leq 0,6 \sigma_a$

O material selecionado para o parafuso é um aço médio carbono, cujas propriedades estão na Tabela 26 abaixo.

Tabela 25 - Propriedades do material do parafuso adotado

Propriedades do parafuso	
Tensão de escoamento	660 MPa
Tensão admissível	440 MPa
Diâmetro	10 mm (M10)

Fonte: Autoria própria.

Verificando as considerações ditas anteriormente, temos:

$$1. \sigma \leq 0,65 \times 440 \text{ MPa} \leq 286 \text{ MPa} \leq 440 \text{ MPa} - \text{ok}$$

$$2. \tau \leq 0,6 \times 440 \text{ MPa} \leq 264 \text{ MPa} \leq 440 \text{ MPa} - \text{ok}$$

O parafuso selecionado foi um M10, com isso precisamos verificar se ele atende a necessidade de projeto.

Para a tração no parafuso temos a Equação 28 abaixo.

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{\pi \times D^2 \times N}{4}} \quad (28)$$

Onde:

P = Carga no parafuso

D = diâmetro do parafuso

N = número de parafusos

$$\sigma = \frac{9500}{\frac{\pi \times 0,01^2 \times 2}{4}}$$

$$\sigma = 60,48 \text{ MPa}$$

Para o cisalhamento, pode-se usar a equação 29 abaixo.

$$\tau = \frac{V}{AN} \quad (29)$$

$$\tau = \frac{2054}{\frac{\pi \times 0,01^2 \times 2}{4}}$$

$$\tau = 13,08 \text{ MPa}$$

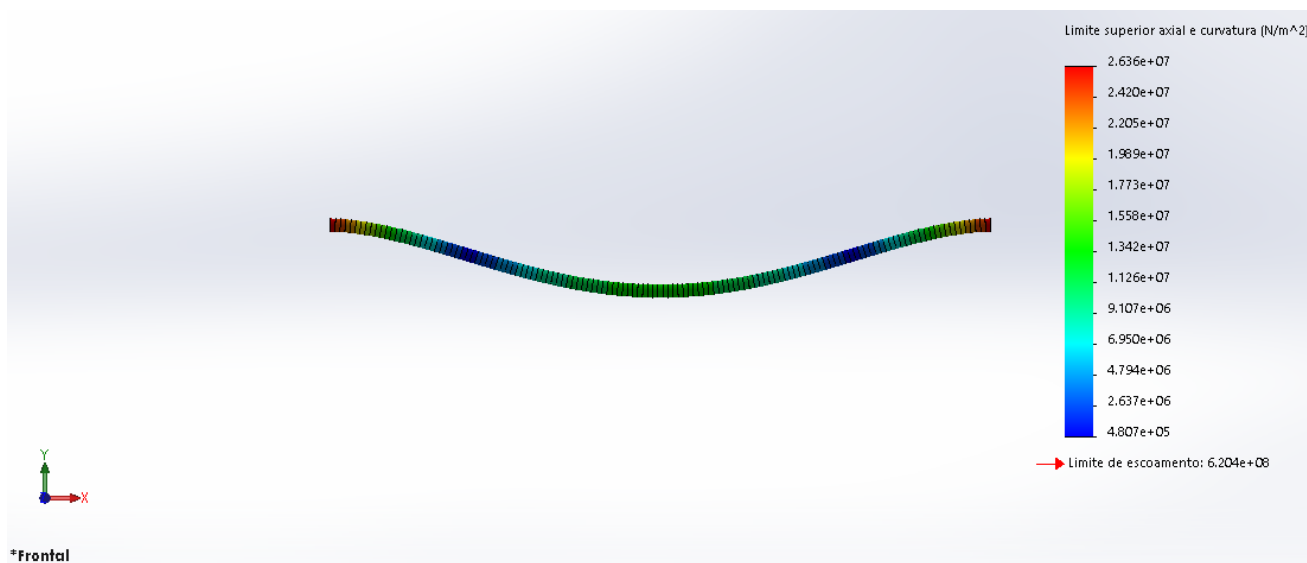
5.10 Análise dos esforços estruturais através de softwares

Foi realizado uma análise estática a partir do software Autodesk Inventor, Solidworks e Ftools (programa que simula vigas e seus esforços), que permitem criar protótipos virtuais tridimensionais. Buscou-se validar o que foi feito à mão na parte do que tange aos cálculos relacionadas a norma NBR 8400. Na prática, primeiramente modelou-se a viga selecionada em projeto no plano XY (frontal), foi adicionado as restrições geométricas como fixo nas duas extremidades da viga, colocou-se as reações causadas pelo trole mecânico (considerando a carga real calculada em projeto pela norma) e aplicou-se a simulação estática. Obteve-se a partir do Inventor os gráficos de momento fletor, esforço cortante, além da deformação sofrida pela viga, comprovando que está dentro do aceitável pela norma.

5.10.1 Esforços na viga principal

A Figura 19 abaixo mostra a tensão calculada pelo software, com a viga fixa nos dois lados e com a carga de 6000 N distribuída uniformemente em todo seu vão. A tensão máxima calculada pelo software foi de 26,36 MPa, um pouco distante da calculada pela norma, mas mesmo assim dentro do aceitável pela mesma.

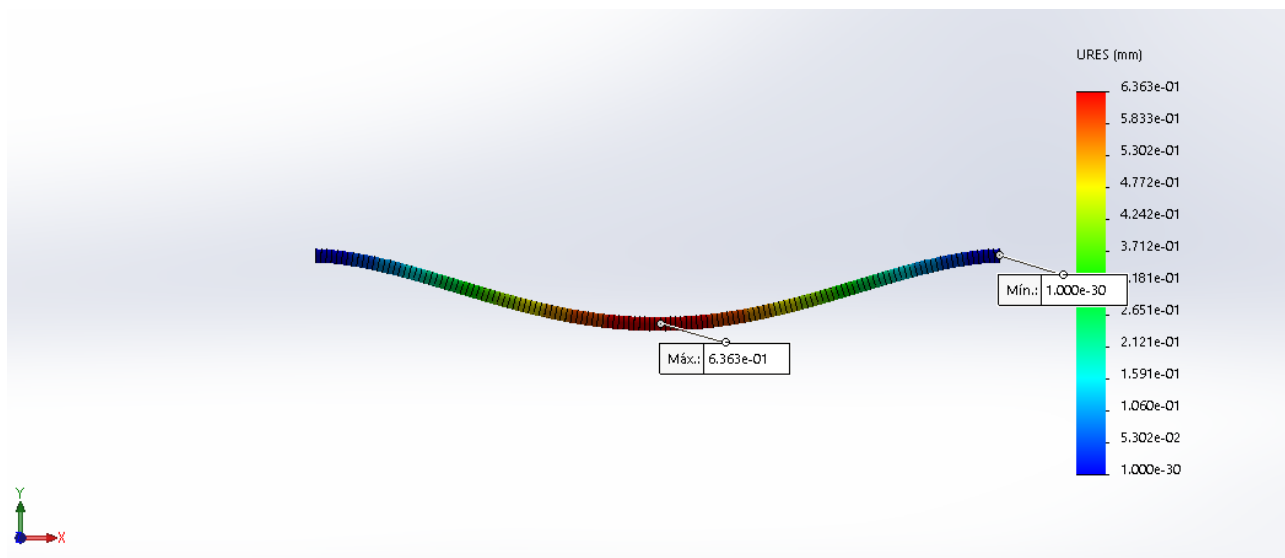
Figura 19 – Simulação da tensão na viga principal



Fonte: Autoria própria.

A Figura 20 mostra a simulação do deslocamento sofrido pela viga, podemos destacar que a deformação estática atingiu 0,6363 mm.

Figura 20 – Simulação do deslocamento da viga principal



Fonte: Autoria própria.

A Tabela 27 abaixo apresenta os resultados adquiridos pela simulação computacional, conseguindo parâmetros importantes como tensão máxima e deslocamento máximo.

Tabela 26 – Tabela resumo da simulação na viga

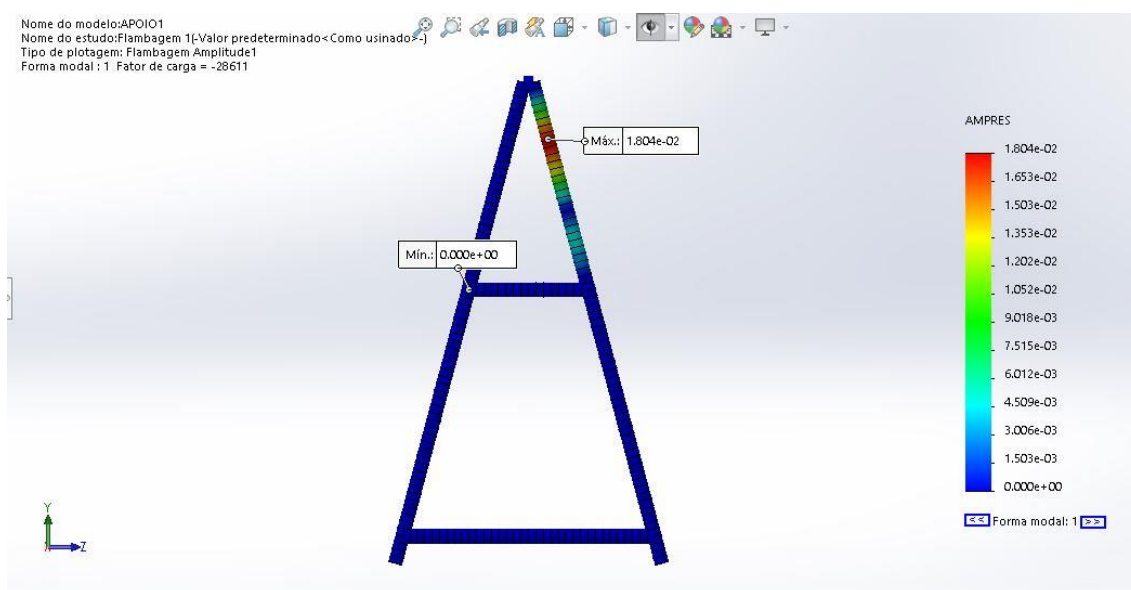
Força Aplicada	Tensão Máxima	Deslocamento máximo
6000 N	27 MPa	0,6363 mm

Fonte: Autoria própria.

5.10.2 Esforços na Perna

Na Figura 21 temos a análise de flambagem do conjunto de pernas que faz a sustentação da viga. Onde é possível notar a malha que o programa simulou buscando a redução dos erros.

Figura 21 – Simulação de flambagem no apoio

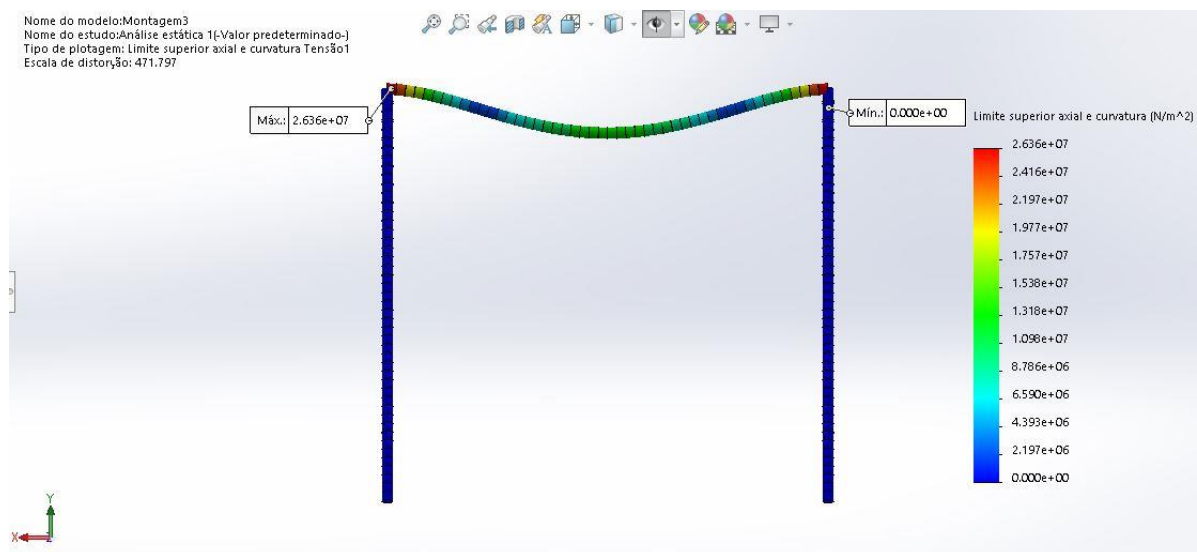


Fonte: Autoria própria.

5.10.3 Esforços na Estrutura

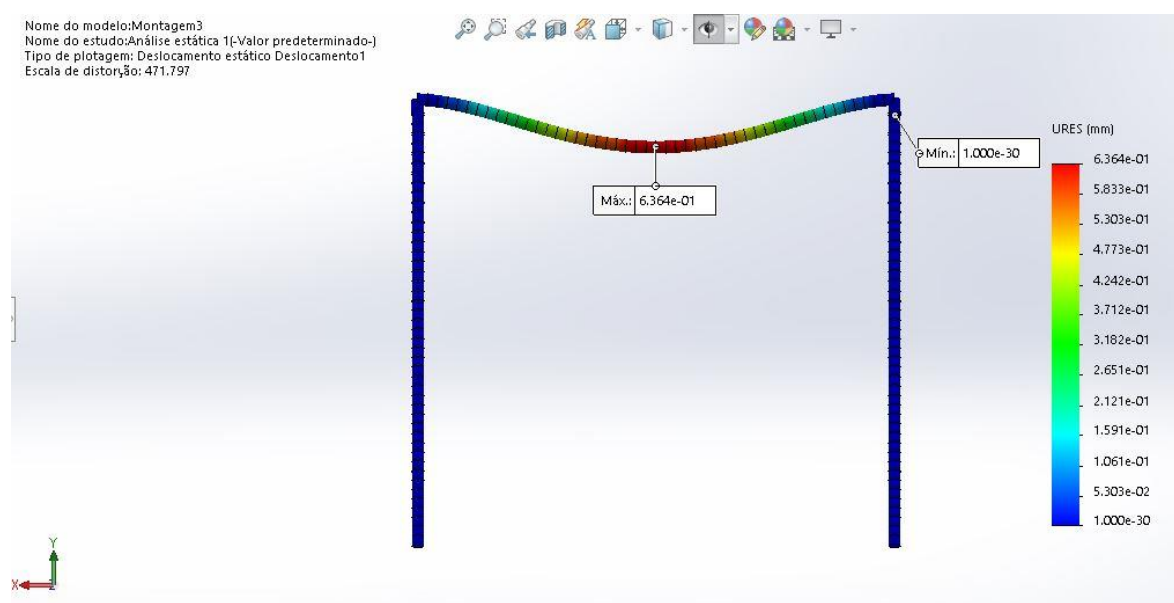
Foi modelado toda a estrutura do pórtico e feito uma análise estática, considerando as juntas fixas da estrutura, aplicando a carga distribuída ao longo da viga e gerando as imagens abaixo. A Figura 22 mostra o comportamento da tensão calculada pelo software, que ficou abaixo do calculado na norma e no memorial de cálculo. Na Figura 23 temos a simulação do pórtico, analisando a questão de deslocamento da viga.

Figura 22 – Simulação de tensão no pórtico



Fonte: Autoria própria.

Figura 23 – Simulação de deslocamento estático do pórtico



Fonte: Autoria própria.

5.11 Memorial de cálculo

Buscando uma análise complementar a norma, decidi estudar o comportamento da viga com base na resistência, pelo método calculado na disciplina de Resistência dos Materiais 1, em que se aplicou o método das secções e gerou gráficos de esforço cortante e momento fletor para a situação de aplicação.

Para realizar o diagrama de esforço cortante e momento fletor, é necessário achar as reações de apoio ao longo de toda a viga. Abaixo tem-se o cálculo realizado.

$$1. \sum F_Y = 0 \rightarrow A_y + B_y = 4,74 \text{ kN} * 2 \rightarrow A_y + B_y = 9,48 \text{ kN (I)}$$

$$2. \sum M_A = 0 \rightarrow -4,74 * 1,34 \text{ m} - 4,74 * 1,66 \text{ m} + B_y * 3 \text{ m} = 0$$

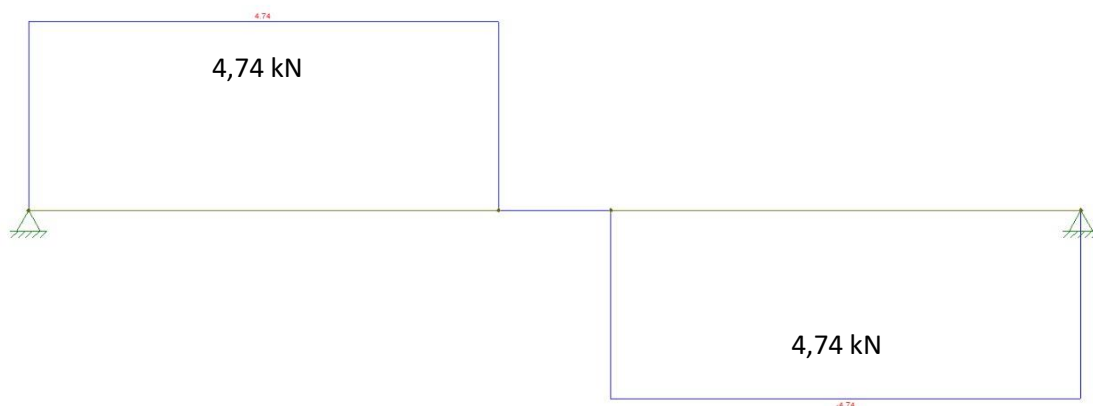
$$B_y = 4,74 \text{ kN (II)}$$

(II) em (I)

$$3. A_y = 4,74 \text{ kN}$$

Com esses dados em mãos, já pode-se realizar o gráfico de esforço cortante, demonstrado na Figura 24 abaixo.

Figura 24 – Esforço cortante na viga calculada pelo Ftools



Fonte: Autoria própria.

Dando continuidade ao cálculo, aplicou-se o método das secções para descobrir o momento máximo atuante na viga. Dividiu-se a viga em trechos buscando facilitar o cálculo. A Figura 25 mostra o gráfico de momento fletor da viga retirado do software Ftools, em que o valor obtido como momento máximo foi de 6,35 kNm, como calculado.

4. De 0 a 1

$$\sum M_1 = 0 \rightarrow -4,74 * x = M_1$$

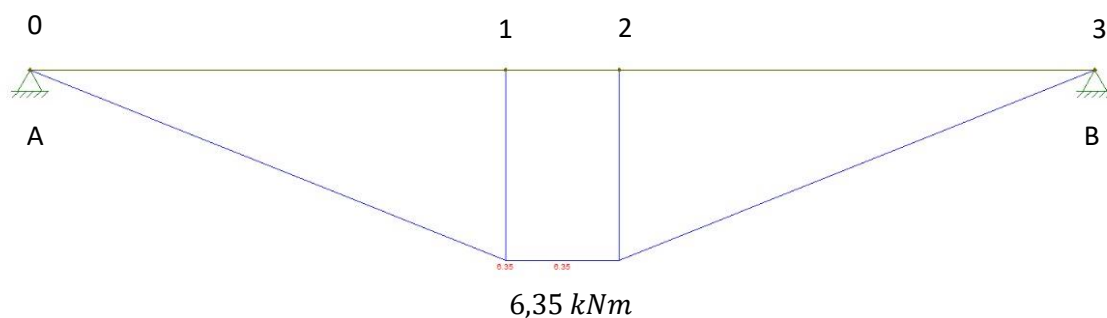
5. De 0 a 2

$$\sum M_2 = 0 \rightarrow -6,35 \text{ kNm} = M_2$$

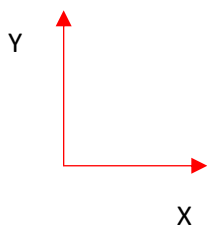
6. De 0 a 3

$$\sum M_3 = 0 \rightarrow 4,74 * x - 14,21 = M_3$$

Figura 25 – Momento fletor na viga calculada pelo Ftools



Fonte: Autoria própria.



Para selecionar a viga com base na resistência é necessário calcular dois parâmetros existentes nos catálogos de perfis estruturais. Então, a seguir tem-se o cálculo do módulo resistente que é a razão do Momento fletor máximo sofrido pela viga sobre a tensão admissível do material selecionado (SAE 2330). O outro parâmetro utilizado é a Tensão de cisalhamento média ao longo da viga, calculado dividindo o Esforço cortante máximo pela área da alma da viga selecionada. Pelos cálculos realizados e pelo diagrama é possível notar que:

- Tensão admissível: 474 MPa ;
- Esforço cortante máximo: $4,74 \text{ kN}$;
- Momento fletor máximo: $6,3516 \text{ kNm}$.

Então:

$$W_{min} = \frac{|M_{Fmax}|}{\sigma_{adm}} = \frac{6,35 \times 10^6 \text{ Nmm}}{474 \text{ N/mm}^2} = 13,4 \text{ cm}^3$$

$$\tau_m = \frac{|Q_{max}|}{A_{alma}} = \frac{4,74 \times 10^3}{1470 \text{ mm}^2} = 3,22 \text{ MPa}$$

Com isso, podemos concluir que pela norma fez-se uma escolha da viga, e com base na resistência poderia ter sido escolhida outra especificação de viga. Contudo, os cálculos que foram realizados no tópico anterior servem como complemento ao projeto.

6 PLANILHA DE CUSTO

Abaixo tem-se uma tabela resumo em que foi projetado quanto será gasto para a fabricação do pórtico proposto, visto que foi feita uma análise em mais fornecedores, porém não foi recebido retorno.

TABELA DE CUSTOS - PROJETO						
ITEM	Descrição	Qtd.	Fornecedor 1		Fornecedor 2	
			Valor unitário	Valor total	Valor unitário	Valor total
1	Tubo quadrado 80x80x5	215	R\$ 5,95	R\$ 1.279,25	R\$ 6,95	R\$ 1.494,25
2	Viga em I SB 120x12	33	R\$ 75,00	R\$ 2.475,00	R\$ 88,00	R\$ 2.904,00
3	Rodas em ferro	4	R\$ 28,00	R\$ 112,00	R\$ 35,00	R\$ 140,00
4	Serviços Técnicos (soldagem) Eletrodo revestido	20	R\$ 12,00	R\$ 240,00	R\$ 12,00	R\$ 240,00
5	Serviços Técnicos (Serralheiro)			R\$ 300,00		R\$ 300,00
6	Trole mecânico Berg Steel	1	R\$ 247,00	R\$ 247,00	R\$ 350,00	R\$ 350,00
7	Talha manual ColumbusMcKinnon	1	R\$ 640,00	R\$ 640,00	R\$ 480,00	R\$ 480,00
8	Frete (transporte de materiais)	1	R\$ 80,00	R\$ 80,00	R\$ 80,00	R\$ 80,00
			Valor total	R\$ 5.373,25	Valor total	R\$ 5.988,25

O custo para se fabricar um equipamento desse porte é um tanto elevado, porém em pesquisas realizadas durante o projeto, buscando equipamentos da mesma característica e capacidade de levantamento do proposto neste equipamento, o custo é bem mais elevado, variando entre R\$8000,00 a R\$20.000,00, chegando equipamentos com cerca de 40% acima do valor, a depender do fabricante.

7 ROTEIRO DE FABRICAÇÃO

Com os materiais necessários para a montagem do pórtico rolante, inicia-se a fase de fabricação. Primeiramente, é recomendável realizar o corte nos tamanhos indicados em projeto dos tubos quadrados para realizar as pernas do equipamento. Com todos os pedaços em tamanho ideal, coloca-se em um “gabarito” somente para garantir as dimensões especificadas em projeto. Em seguida, realiza-se a soldagem dos pontos necessários nas pernas, sendo 5 pontos de solda em cada perna do pórtico.

Para o procedimento de soldagem de aços, realiza-se inicialmente uma limpeza da peça removendo impurezas de óleo ou graxas, prepara a junta a ser soldada (os chanfros), regula a tocha e então inicia-se o processo. O metal de adição deve ser selecionado de forma a fornecer um depósito de material com resistência compatível com o aço de menor resistência. Buscando um baixo custo relativo a esse processo, atrelando a ajuda de um operador com habilidade, selecionou-se o processo de soldagem como sendo o eletrodo revestido, com uma fonte rotativa, uma tensão de 40 V e recomenda-se um pré-aquecimento de 100 °C, utilizando eletrodos com baixo nível de hidrogênio, como EXXXX-C1 Eletrodos de aço Ni com 2,00 a 2,75%Ni ou EXXXX-C2 Eletrodos de aço Ni com 3,00 a 3,75%Ni, visto que a liga de aço SAE 2330 detém de um 3% de níquel em sua composição e 0,3% de carbono. Finalizado a parte que sustentará a viga, é realizada a solda entre a viga e as pernas, fixando os dois extremos da viga. Para finalizar, realiza-se a solda nos apoios das rodas, com base de ferro.

PLANO DE MANUTENÇÃO - PÓRTICO ROLANTE

01- Os pontos que contém solda no decorrer da peça deverão estar devidamente decapados, sem nenhum tipo de resíduos tais como tintas, vernizes, colas ou qualquer tipo de sujidades ou resíduos de óleo, graxa etc;

02- Utilizar pinto off em todas as bases do Equipamento e peças de apoio, limpar bem e passar pano (não deixar nenhuma sujidade);

03- Se tiver Lanças automáticas ou lança manual, lixar solda da frente;

04- Quando Contratado executar o TESTE DE CARGA, cabe a Contratante disponibilizar compartimento para teste de carga (tipo big bag, cintas novas calibradas IMMETRO, balança, tarugos de metal calibrado ou sacos de areia pesados equivalente a 50% da capacidade que o equipamento suporta) e fornecer Declaração de Responsabilidade referente a Capacidade do Equipamento.

ESCOPO DO SERVIÇO

Pontos a serem analisados	OBSERVAÇÕES							
	Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data
Identificação do modelo da máquina;								
Especificações técnicas do fabricante;								
Verificação do Manual de Instrução Técnica Operacional e de Manutenção;								
Capacidade de carga;								
Características e propriedades;								
Rigidez estrutural;								
Influência do ambiente;								
Utilização a céu aberto;								
Utilização em galpões;								
Checkagem dos equipamentos de içamento;								
Estado de operação dos acessórios de guindar;								
Checkagem dos itens de segurança;								
Checkagem do funcionamento do equipamento;								
Conformidade do equipamento com as Normas Aplicáveis;								
Histórico de laudos de conformidade;								
Validade das vistorias, laudos, prontuários;								
Determinação da Periodicidade de manutenção;								
Descrição das intervenções a serem realizadas;								
Livro de manutenções preventivas e corretivas;								
Procedimentos em casos de detecção de peças ou componentes quebrados;								
Procedimentos de Substituição imediata de peças relativas a segurança;								
Condições de segurança do equipamento;								
Autorização formal do empregador;								
Procedimentos em Situações de impossibilidade do cumprimento dos requisitos normativos de segurança;								
Descrição do procedimento de isolamento e descarga de todas as fontes de energia;								
Descrição do Bloqueio mecânico e elétrico;								
Verificação de componentes submetidos a ruptura;								
Deteção de qualquer defeito em peça ou componente que comprometa a segurança;								
Procedimentos para substituição imediata de peças ou componentes de segurança;								
Avaliação qualitativa;								
Avaliação quantitativa;								
Registro fotográfico;								
Registro de Evidências;								

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho apresentou-se e foi aplicada a metodologia de projeto para a construção de um pórtico rolante, tendo como base principal, a norma ABNT NBR 8400. Tendo como apoio outras literaturas e metodologias de projeto, interligando pontos positivos entre elas, além de produtos já existentes no mercado.

As informações iniciais de projeto, foram muito importantes para definir a real utilização do equipamento, além de buscar atender à necessidade imposta pelo cliente. Com uma metodologia bem detalhada, sistemática e coesa se torna mais simples de a aplicação da mesma e a chegar no objetivo da melhor maneira possível suprimindo os requisitos de projeto.

Portanto, conclui-se que os objetivos propostos foram atingidos, além do mais foi possível aplicar diversos conhecimentos adquiridos ao longo desse tempo de curso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, D. C.; et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: Informação e documentação: Referências**. Rio de Janeiro, p. 24. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8400: Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas**. Rio de Janeiro: Abb Ltda., 1984. 108 p.

BACK, Nelson. Metodologia de Projeto de Produtos Industriais. **Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983**.

BRASIL, A. V. **Máquinas de levantamento**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1985.

CODINHOTO, R. **Diretrizes para o planejamento e controle integrado dos processos de projeto e produção na construção civil**. 2003. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em:. Acessado em: 09 abr. 2012.

COLUMBUS MCKINNON DO BRASIL LTDA. Catálogo: Linha de talhas manuais cm e yale. **Brasil, 2014**.

FONSECA, F. E. A. Proposta de um quadro referencial para o desenvolvimento de um sistema de medição desempenho para a gestão do ciclo de vida de produtos. **2010. 238p. Dissertação de (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010**.

FORCELLINI, Fernando A. O processo de projeto: **Apostila. Capítulo 2. 2002**.

GERDAU - Coletânea do Uso do Aço - Galpões em pórticos com Perfis Estruturais Laminados. **Disponível em: <<https://www2.gerdau.com.br/>>**.

HELDMAN, K. **Gerência de projetos: guia para o exame oficial do PMI**. 3ª ed. (Revisada e Atualizada). Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

MANTOVANI, C. A. Metodologia de projeto de produto. **Faculdade Horizontina 2011. Baseado em REIS, A. V. Desenvolvimento de concepção para a dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas**. Florianópolis. 2003. Tese – PPGEM – UFSC. Trabalho não publicado.

MENEZES, L. C. de M. **Gestão de projetos**. 1ª Ed. São Paulo: Atlas, 2001

MANTOVANI, C. A, **Metodologia de Projeto de Produto**. Apostila. Horizontina: Faculdade Horizontina, 2011. Baseada em Reis.

REIS, A. V. Desenvolvimento de concepções para a dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas. **Florianópolis, 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – PPGEM – UFSC. Trabalho não publicado.**

RUDENKO, N. (ES). **Maquinas de Elevação e Transporte.** Tradutor: João Plaza. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1976.

SHIGLEY, Joseph E, Charles R.Mischke, Richard G. Budynas. **Projeto de engenharia mecânica.** Porto Alegre: Bookman, 2005.

SOUZA, Vitor Messias Silva e. **PROJETO DETALHADO DE UM PÓRTICO ROLANTE.** 2014. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2014.

TAMASAUSKAS, A. Metodologia do Projeto Básico de Equipamento de Manuseio e Transporte de Cargas – Ponte Rolante – Aplicação não siderúrgica. **2000. Dissertação de mestrado - Escola Politécnica de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica, São Paulo, 2000.**

ANEXOS



Figura 01 – Pórtico rolante proposto.

Fonte: Autoria própria, 2019.

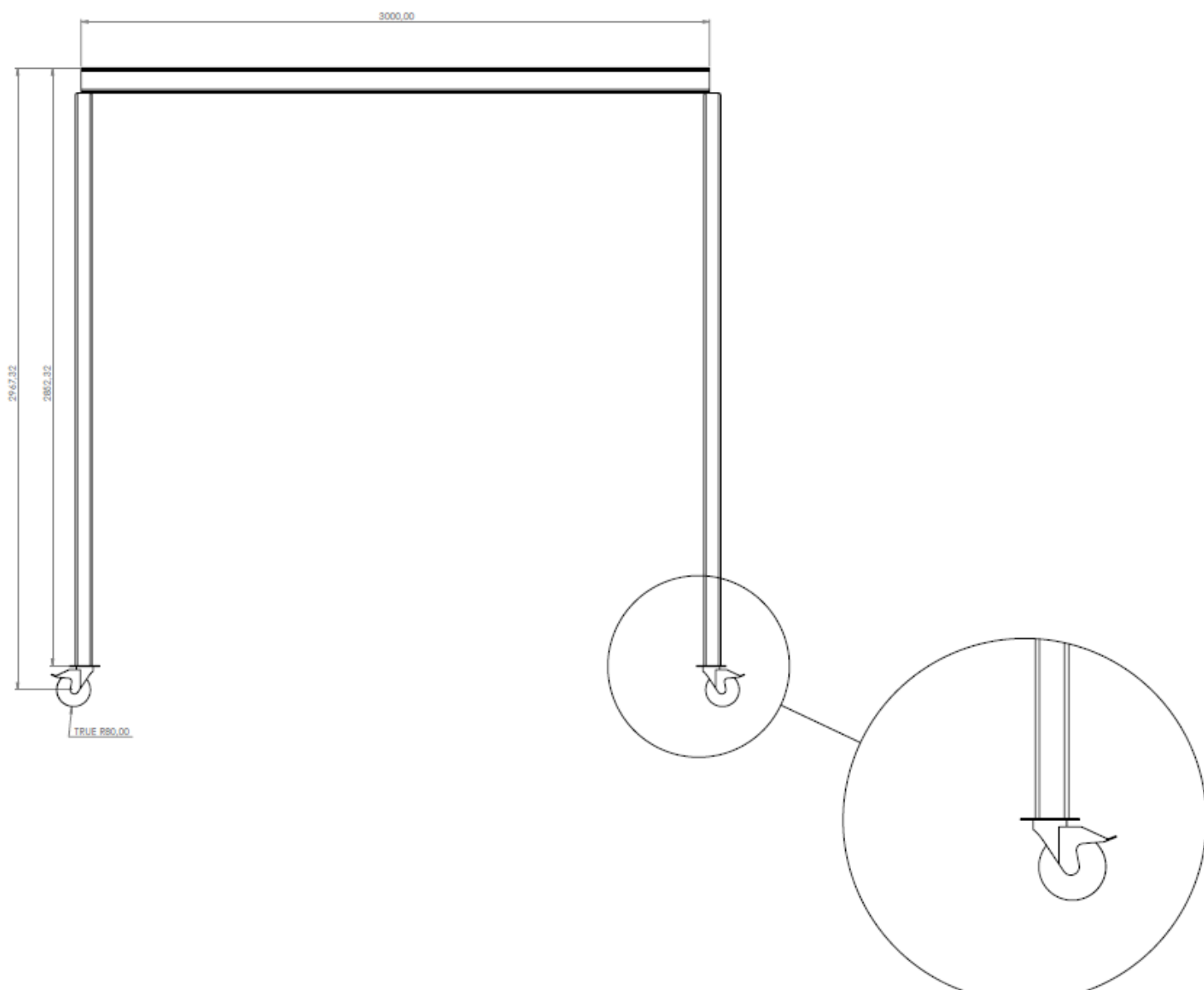


Figura 02 – Vista frontal do pórtico, com o detalhe da roda.

Fonte: Autoria própria, 2019.



Figura 03 – Vista superior do pórtico rolante.

Fonte: Autoria própria, 2019.

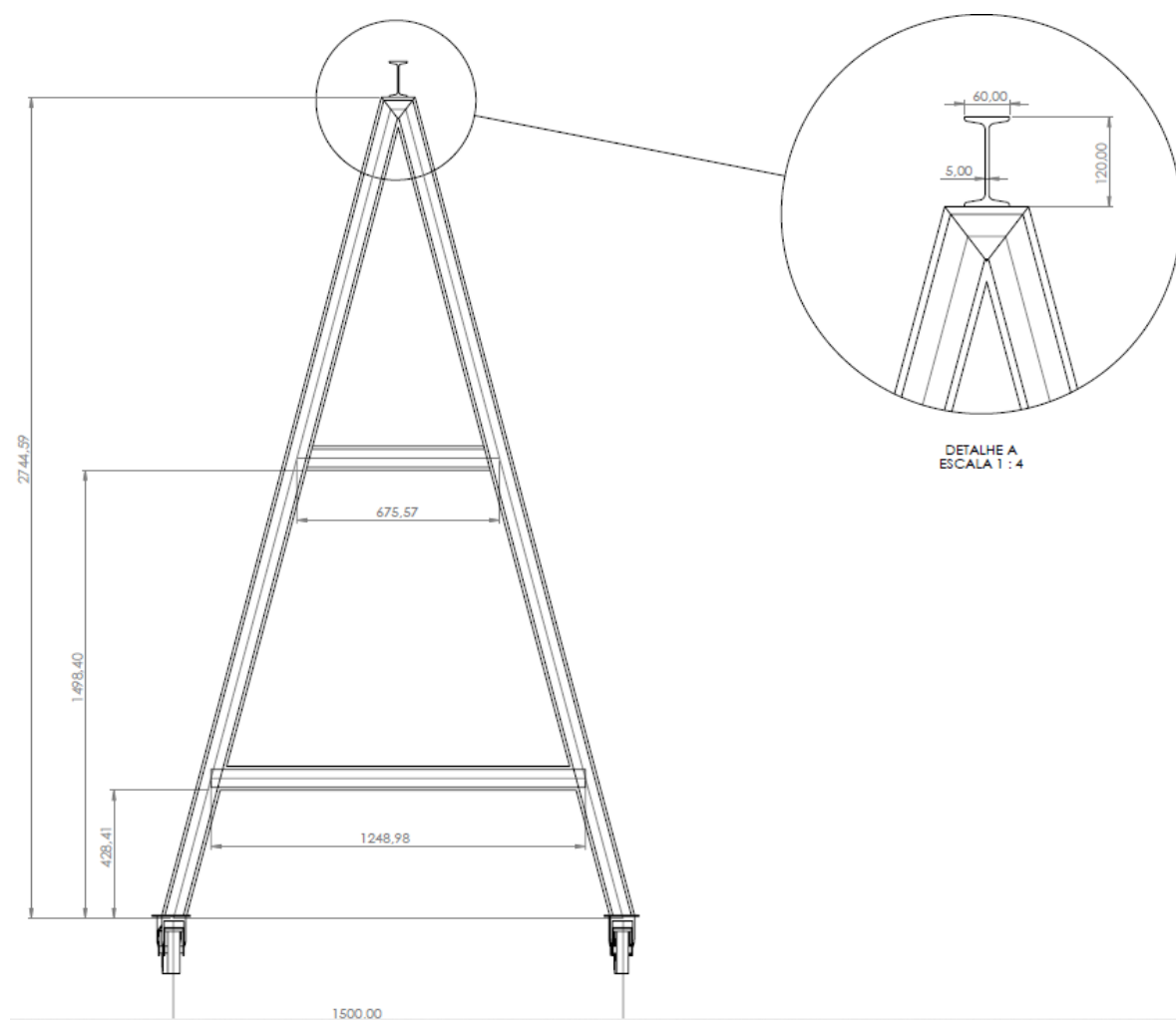


Figura 04 – Vista esquerda do pórtico rolante.

Fonte: Autoria própria, 2019.

