

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ - FAG
RAFAEL AUGUSTO CONTE

**DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UM PÓRTICO ROLANTE DE
PEQUENO PORTE**

CASCADEL – PR

2017

RAFAEL AUGUSTO CONTE

**DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UM PÓRTICO ROLANTE DE
PEQUENO PORTE**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Professor Orientador: EngMec. Me. Carlos Alberto Breda.

CASCADEL – PR

2017

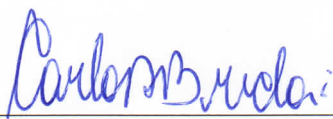
CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ - FAG

RAFAEL AUGUSTO CONTE

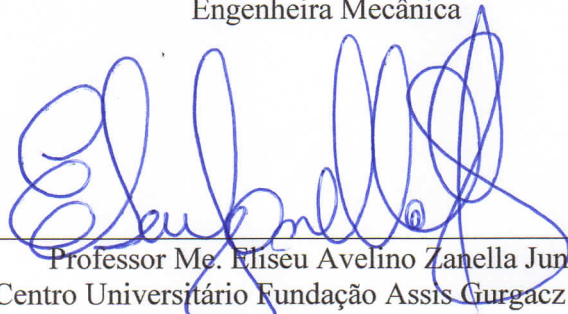
**DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UM PÓRTICO ROLANTE DE
PEQUENO PORTE**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica, da FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Carlos Alberto Breda.

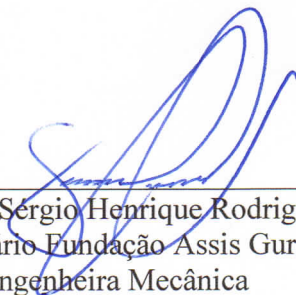
BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof. Me. Carlos Alberto Breda
Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – FAG
Engenharia Mecânica



Professor Me. Eliseu Avelino Zanella Junior
Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – FAG
Engenharia Mecânica



Professor Me. Sérgio Henrique Rodrigues Mota
Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – FAG
Engenharia Mecânica

Cascavel, 07 de dezembro de 2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por guiar-me neste caminho.

Aos meus pais, Otamar Antonio Conte e Vânia Regina Johann Conte, irmãos Leonardo Antonio Conte e João Pedro Conte, pois sempre me apoiaram e me deram a direção certa para seguir o caminho, mesmo em momentos difíceis.

A Diana Stela Schneider pelo apoio e a meu tio Osmar Antonio Conte, pelo incentivo antes e durante o curso.

Ao orientador professor Engenheiro Mecânico Me. Carlos Alberto Breda, pelo apoio, paciência e determinação para que o trabalho se concretizasse, e pelos ensinamentos durante a graduação.

A Celidio Meinerz, que disponibilizou sua empresa para a pesquisa no TCC e durante a graduação.

A todos que contribuíram para que o trabalho fosse concretizado e auxiliaram durante a minha graduação.

RESUMO

A agilidade e a qualidade na execução de serviços fazem parte da gestão de indústrias e empresas, por meio de um cliente cada vez mais exigente. A mecanização e a automação industrial estão crescendo para que seja possível atender a estas demandas. Este Trabalho de Conclusão de Curso – TCC refere-se ao dimensionamento de um projeto estrutural de um pórtico rolante, para uma empresa de manutenção agrícola, com objetivo de auxiliar na movimentação e na elevação de cargas e mecanismos que necessitam de um esforço auxiliar. Fazendo assim, obter uma maior eficiência no conjunto da manutenção. Para o estudo, foram utilizadas normas ABNT NBR 8400 (1984), ABNT NBR 8800 (2008), ABNT NBR 10084 (1987), ABNT NBR 14768 (2001) e projetos e teses de dimensionamento de estruturas mecânicas para a elaboração e determinação de alguns cálculos, afim de que haja coerência no trabalho. Realizado na cidade de Vila Nova, Toledo – PR, durante o ano de 2017, na empresa Mecânica Agrícola Tupi, prestadora de serviços mecânicos. Efetuados cálculos e esforços referentes à estrutura, como de Momento Máximo na Viga, Módulo Elástico, Deflexão Máxima, Momento de Inércia, Solicitações Verticais e Horizontais dentre outros que podem ser observados no decorrer do trabalho, com algumas imagens, tabelas e desenhos para facilitar a compreensão. Podendo assim, obter os resultados de um projeto estrutural de elevação e movimentação de carga de acordo com os objetivos propostos.

Palavras chave: Pórtico rolante, dimensionamento, viga.

ABSTRACT

The agility and the quality in the execution of services are part of the management of industries and companies, through an increasingly demanding customer. Mechanization and industrial automation are growing so that these demands can be met. This Work of Completion of Course - TCC refers to the design of a structural design of a rolling gantry for an agricultural maintenance company, aiming to assist in the movement and elevation of loads and mechanisms that require an auxiliary effort. By doing this, you achieve greater efficiency in the maintenance set. For the study, ABNT NBR 8400 (1984), ABNT NBR 8800 (2008), ABNT NBR 10084 (1987), and ABNT NBR 14768 (2001) standards were used as well as design and thesis for the design of mechanical structures for the elaboration and determination of some calculations, so that there is coherence in the work. Held in the city of Vila Nova, Toledo - PR, during the year 2017, in the company Mecânica Agrícola Tupi, provider of mechanical services. Calculations and efforts related to the structure, such as Maximum Beam Moment, Static Module, Maximum Deflection, Moment of Inertia, Vertical and Horizontal Requests, among others, can be observed during the course of the work, with some images, tables and drawings to facilitate understanding. This way, to obtain the results of a structural project of elevation and movement of load according to the proposed objectives.

Key-words: Moving gantry, scaffolding, beam.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Massa equivalente	32
Equação 2 – Força de inércia média	32
Equação 3 – Período de oscilação	32
Equação 4 – Coeficiente de aceleração ou desasseleração	33
Equação 5 – Força de inércia devido a carga	34
Equação 6 – Coeficiente das reações transversais	34
Equação 7 – Carga de reação	36
Equação 8 – Solicitação ao carregamento horizontal	36
Equação 9 – Momento máximo	37
Equação 10 – Módulo estático	38
Equação 11 – Momento de inércia	38
Equação 12 – Peso da estrutura	39
Equação 13 – Solicitação do movimento vertical	40
Equação 14 – Solicitação do movimento horizontal	40
Equação 15 – Força de inércia do sistema de elevação	40
Equação 16 – Força de inércia na viga	41
Equação 17 – Somatório de forças em Y	42
Equação 18 - Área da seção transversal da viga	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Máquinas de Elevação.....	15
Figura 2 – Pórtico Monoviga Caixaõ	20
Figura 3 – Pórtico Rolante Biviga	20
Figura 4 – Semi-pórtico Rolante	21
Figura 5 – Esquema de Locomoção 1	22
Figura 6 – Esquema de Locomoção 2	22
Figura 7 – Local de Implantação do Pórtico Rolante	23
Figura 8 – Pórtico Equipado com Univiga	24
Figura 9 – Ilustração de Pórtico Rolante Univiga	24
Figura 10 – Catálogo Talha Elétrica.....	30
Figura 11 – Valores para o Coeficiente R.	33
Figura 12 – Coeficiente que Determina as Reações Transversais Devidas ao Rolamento.	34
Figura 13 – Reações do Trole.....	35
Figura 14 – Esquema da Viga Principal do Pórtico.....	36
Figura 15 – Diagrama de Forças	42
Figura 16 – Estrutura de Sustentação	43
Figura 17 – Roda Livre.....	44
Figura 18 – Medida do Sistema de Roda Livre	45
Figura 19 – Ilustração Final do Pórtico	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de Utilização	17
Tabela 2 – Estados de Carga	18
Tabela 3 – Classe de Utilização.....	25
Tabela 4 – Estados de Carga	26
Tabela 5 – Estados de Tensões de um Elemento.....	26
Tabela 6 – Classificação da Estrutura do Equipamentos.....	27
Tabela 7 – Coeficiente de Majoração	28
Tabela 8 – Classe de Funcionamento	28
Tabela 9 – Grupo dos Mecanismos	29
Tabela 10 – Valores do Coeficiente Dinâmico.....	31
Tabela 11 – Tempos de Aceleração e Acelerações	32
Tabela 12 – Tensões Admissíveis a Tração ou Compressão Simples.....	37
Tabela 13 – Tensões das Vigas.....	38
Tabela 14 – Propriedade do Perfil	39
Tabela 15 – Perfil Estrutura Sustentação.....	43
Tabela 16 – Lista de Materiais	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos Específicos	11
1.2 JUSTIFICATIVA	12
1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	13
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1 MOVIMENTAÇÃO DE CARGA.....	14
2.2 TIPOS DE MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO E TRANSPORTE	14
2.3 PÓRTICOS ROLANTES	18
2.3.1 Tipos de Pórticos Rolantes	19
2.3.2 Limitação dos Pórticos Rolantes	21
2.3.3 Sistema de Translação do Pórtico.....	21
3 METODOLOGIA.....	23
3.1 MÉTODOS UTILIZADOS	24
3.1.1 Estrutura do Equipamento	24
3.1.2 Fatores Estruturais	25
3.1.3 Estruturas em Grupo.....	27
3.1.4 Mecanismos em Função do Serviço	28
3.2 SISTEMA DE ELEVAÇÃO PRINCIPAL	29
3.3 SOLICITAÇÕES SEGUNDO NBR 8400	30
3.3.1 Solicitações Estáticas.....	31
3.3.2 Solicitação ao Movimento Vertical	31
3.3.3 Solicitação ao Movimento Horizontal.....	31
3.3.4 Solicitação Devido ao Movimento Transversal.....	34
3.3.5 Efeito de Choque	35
3.3.6 Deflexão na Viga Principal.....	35
3.4 PRÉ DIMENSIONAMENTO DA VIGA PRINCIPAL.....	35
3.4.1 Reações do Trole	35
3.4.2 Momento Máximo na Viga	37
3.4.3 Módulo Estático Mínimo.....	38

3.4.4 Momento de Inércia da Viga	38
3.4.5 Peso da Estrutura	39
3.4.6 Solicitação Devido ao Movimento Vertical	40
3.4.7 Solicitação Devido ao Movimento Horizontal	40
3.4.8 Força de Inércia do Sistema de Elevação	40
3.4.9 Força de Inércia Distribuída na Viga	41
3.5 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE SUSTENTAÇÃO	41
3.5.1 Força Atuante no Apoio	41
3.5.2 Fixação das Partes	43
3.5.3 Rodas de Movimentação do Pórtico	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5 CONCLUSÃO.....	48
5.1 TRABALHOS FUTUROS	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
ANEXOS	52
PERFÍS ESTRUTURAIS	52

1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste Trabalho de Conclusão de Curso – TCC é de apresentar principais parâmetros de projeto de um pórtico de pequeno porte, para a elevação e transporte de cargas em oficinas agrícolas, retíficas de motores, mecânicas em geral, ou ambientes que atendam a necessidade do projeto. Utilizados para elevação e movimentação de motores, caixas de redução, chapas, ferramentarias e afins.

A movimentação de cargas é disposta para a elevação, movimentação e descarga de objetos que pode ser efetuada através de equipamentos mecânicos ou de forma manual.

Com isso, a movimentação mecânica de elevação é a melhor opção para o transporte de cargas em indústrias, oficinas, canteiros de obras, áreas de pouco espaço e com cargas pesadas, ou que precisam de uma movimentação a longas distâncias (RUDENKO, 1976).

O estudo foi desenvolvido durante o ano de 2017, em Vila Nova, Toledo – PR. Para tal, foi utilizada de uma metodologia de dimensionamento citada na norma ABNT, NBR 8400 (1984), juntamente com SORDI (2016), BRASIL (1988), RUDENKO (1976), dentre outros estudos e normas que estão identificados nas referências bibliográficas. Com isso, foi possível obter uma sistemática de cálculos para o dimensionamento do pórtico.

Contudo, é buscada a eficiência no dimensionamento e na determinação dos cálculos para que se obtenha coerência, para que o estudo possa ser elaborado de uma forma fácil e exata, atendendo todos os requisitos por norma, e satisfazendo as exigências de projeto.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Projetar um pórtico de pequeno porte, para ser instalado em uma mecânica agrícola, com capacidade de içamento de 5 toneladas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Fazer medições no local onde o pórtico ira ser instalado (mecânica agrícola).

- Desenvolver um projeto estrutural para a elevação de carga dentro da normativa ABNT, NBR 8400 (1984), dentre outras citadas na bibliografia, que complementam o estudo de estrutura e movimentação mecânica.
- Dimensionar a estrutura para capacidade de carga, e a locomoção do pórtico dentro do ambiente.

1.2 JUSTIFICATIVA

A prestadora de serviços necessita de um equipamento que auxilie na movimentação de objetos dentro da empresa, que se obtenha um ganho no tempo da manutenção e operação e devidamente o lucro por tempo de execução e qualidade dos serviços.

Com a implantação do pórtico reduz-se a custo de mão-de-obra, materiais e despesas em geral, além de melhorar a ergonomia e a facilidade do trabalho sem gerar fadiga aos trabalhadores.

A instalação de um pórtico, ou máquina de elevação e transporte em oficinas, é uma das melhores opções para a viabilidade e a facilidade do manuseio de peças pesadas. Assim, pode-se mover determinada carga de um ponto a outro com facilidade e sem exigências de grandes esforços físico dos trabalhadores, obtendo diminuição de problemas físicos e/ou doenças relacionadas ao trabalho. Também é possível direcionar a carga para qualquer ponto que fique abaixo do pórtico.

Com isso, a implantação de mecanismos que auxiliam na movimentação como o pórtico rolante em empresas que exigem desta demanda, favorece para que o estudo tenha desenvolvimento também em outros locais de trabalho, como em siderurgias, aviação, portos.

Contudo, a contribuição acadêmica pela pesquisa e a finalização do TCC com estudo aplicado, serve como base para elaboração de novos projetos mecânicos, que tenham como objetivo redução de mão de obra relacionada a gastos desnecessários na empresa, enfatizando a lucratividade com a agilidade e precisão na prestação de serviços.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Será possível a implantação de um pórtico de pequeno porte, com capacidade de içamento de até 5 toneladas, em empresa de prestação de serviços de mecânica agrícola? Quais os passos que deverão ser seguidos para a implantação desse mecanismo?

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Este projeto se limita a um dimensionamento básico de um pórtico rolante, com capacidade de içamento de 5 toneladas, para uma empresa prestadora de serviços de mecânica agrícola. Não será objeto do trabalho o dimensionamento elétrico e de automação do sistema. Entretanto, serão citados os mecanismos que serão utilizados.

O dimensionamento foi realizado em uma oficina agrícola, com dimensões de 11,5m de largura 14m de comprimento e 4,5m de altura. Todo o estudo será feito para transporte em vão livre neste local.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MOVIMENTAÇÃO DE CARGA

A grande variedade de tipos de máquinas de elevação existente torna sua classificação extremamente difícil. Essa tarefa é, além disso, muito complicada por que essa classificação pode basear-se em várias características como: projeto, finalidades, tipos de movimentos (RUDENKO, 1976).

Segundo Brasil (1988), as máquinas de elevação transporte se destinam a movimentação horizontal e vertical na indústria, nos canteiros de obra, de equipamentos e materiais, sendo decisivas quando se necessita agilidade e precisão.

Os principais parâmetros técnicos das máquinas de elevação são: capacidade de elevação, peso morto da máquina, velocidade dos vários movimentos, altura de elevação e dimensões geométricas da máquina. Como área de vão livre, alcance e posicionamento (RUDENKO, 1976).

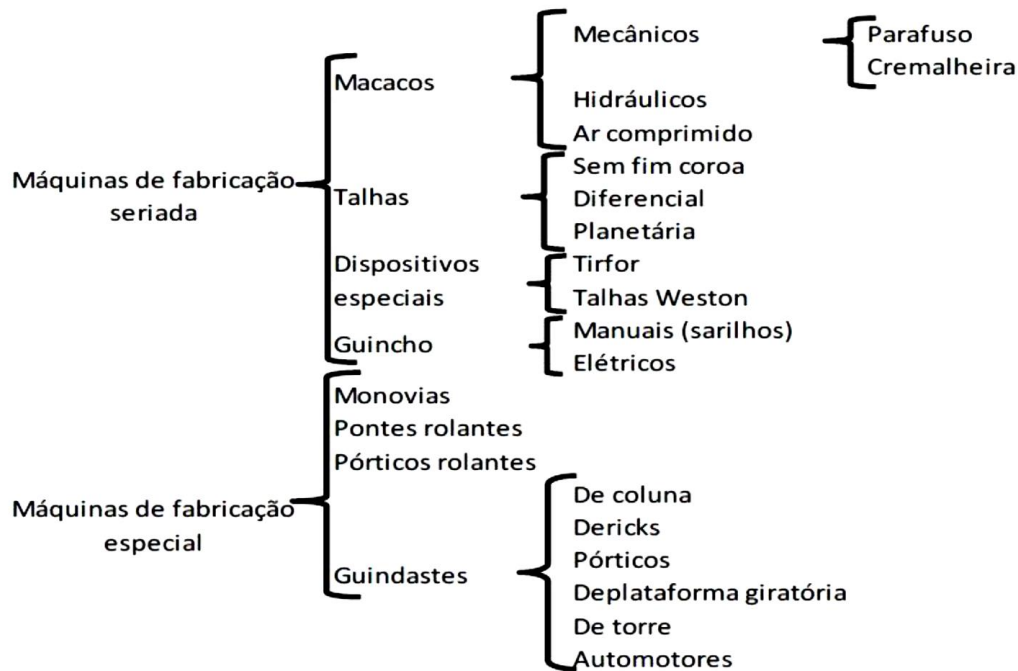
Para Nassar (2004), a necessidade de movimentação de cargas nos diversos ambientes de mineração, industrial, portuário e de comércio aumenta de forma conjunta ao crescimento econômico exigindo equipamentos específicos que necessitam uma grande aplicação dos conhecimentos de engenharia.

2.2 TIPOS DE MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO E TRANSPORTE

Segundo Brasil (1988), a classificação das máquinas de elevação se dá devido algumas se enquadrarem no tipo de fabricação seriada para atender a necessidades correntes de movimentação de cargas, os demais implicam em projeto especial e específico para finalidade industrial bem característica.

Com a Figura 1, podemos entender melhor os tipos de máquinas de elevação.

Figura 1 – Máquinas de Elevação



Fonte: Brasil (1988).

Para Brasil (1988), esses equipamentos são descritos da seguinte forma:

- Macacos: Destinado à elevação de pequenas cargas, com ou sem deslocamento horizontal, e para pequenas distâncias;
- Talha: São máquinas constituídas por um redutor de velocidade ligado a um e polias de acionamento e suspensão de cargas;
- Dispositivos especiais: Tem a mesma finalidade das talhas, porem utilizando um sistema patenteado de multiplicadores de força;
- Guinchos: Compostos essencialmente de tambor com cabo, freio, redutor, motor e chassis, destinam-se a elevação ou ao arraste de cargas de grandes alturas ou distâncias;
- Monovias: São talhas dotadas de um sistema de translação sobre a aba inferior de uma viga I, motorizadas ou manuais;
- Pontes rolantes: Possuem uma estrutura horizontal em ponte que permite o movimento transversal de um guincho simultâneo ou não com a translação da própria ponte;
- Pórticos rolantes: Diferem das pontes rolantes por possuírem estrutura própria e autonomia para sua translação, não usando as colunas do edifício;

- Guindastes: Classifica-se como guindaste qualquer máquina de levantamento dotada de lança. Também nessas máquinas a peça básica é o guincho.

Entretanto essa classificação não é a única encontrada. Segundo a literatura de Nassar (2004), os tipos de máquinas de elevação são classificados da seguinte forma:

I. Veículos de Transporte.

A) Veículos para transporte manual (carrinhos, carros).

B) Veículos motorizados (carro, trator, empilhadeira). Elétricos, diesel ou gás.

II. Meios de Elevação.

A) Talhas.

- Polias;
- Talhas helicoidais;
- Talhas de engrenagem frontal;
- Talhas elétricas;
- Carros de ponte para talhas.

B) Guinchos.

- Guinchos de cremalheira;
- Macaco de rosca;
- Macaco hidráulico;
- Guinchos manuais;
- Guincho móvel manual;
- Guinchos acionados por motor elétrico;

C) Guindastes.

- Guindastes de ponte (pontes rolantes);
- Guindastes móveis de paredes;
- Guindastes de cavaletes (pórticos e semi-pórticos);
- Pontes de embarque;
- Guindaste de cabo.

III. Transportadores Contínuos.

A) Correias Transportadoras.

B) Transportadores Articulado: Esteira Articulada, Transportador de Canecas,

Transportador Circular, Transportador Raspador e Transportador de Correntes.

C) Hélices Transportadoras.

D) Transportadores Oscilantes.

E) Mesas de Rolos

F) Instalações Pneumáticas e Hidráulicas de Transporte.

Todavia, segundo ABNT, NBR 8400 (1984), as estruturas e equipamentos são divididos pelos serviços de execução, e são levados em conta dois fatores fundamentais, que podemos visualizar nos dois grupos a seguir:

- I. Classe de utilização: caracteriza a frequência de uso dos equipamentos.
Tabela 1.
- II. Estado de tensões: caracteriza em que proporção o equipamento levanta a carga máxima, ou somente uma carga reduzida, ao longo da sua vida útil.
Tabela 2.

Tabela 1 – Classes de Utilização

Classe de utilização	Frequência de utilização do movimento de levantamento	Número 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	$6,5 \times 10^5$
D	Utilização em serviço intensivo severo, efetuado, por exemplo, em mais de um turno	$2,0 \times 10^5$

Fonte: ABNT, 1984.

Tabela 2 – Estados de Carga

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

Fonte: ABNT, 1984.

A escolha correta da máquina de elevação e transporte é fundamental para que o trabalho ou serviço seja realizado conforme o desejado, e dentro dos padrões estabelecidos em normas.

2.3 PÓRTICOS ROLANTES

Segundo Sobue (2005), os pórticos surgiram no início do século XIX, após o desenvolvimento das máquinas a vapor, dos motores de combustão interna e elétricos. Entre os tipos de pórticos os mais encontrados são os pórticos rolantes, nos quais o sistema de levantamento está suspenso por um carro. Este tipo de pórtico é utilizado quando a utilização de trilhos suspensos é impraticável.

De acordo com Brasil (1988), os pórticos se diferem das pontes rolantes apenas por serem independentes da estrutura do edifício, possuindo quatro colunas portantes montadas sobre quatro chassis de rodas.

Para Passos (2011), o sistema de elevação semelhante ao das pontes rolantes e comando desde o piso, por botoeiras ou cabina, podendo esta ser fixa na viga ou móvel junto ao carro.

Os movimentos de translação do carro e do pórtico permitem a colocação da carga com bastante liberdade. O corpo principal é constituído por pórticos, que dependendo do nível de cargas a movimentar serão construídos por perfis laminados ou vigas caixão. Os pórticos assentam sobre uma plataforma móvel sobre carris. (RIBEIRO, 2011).

O pórtico rolante, devido ao seu tipo de construção, não necessita de nenhum apoio em edifícios ou armazém como no caso dos semipórtico, sendo por isso considerado uma solução ideal para o transporte de materiais em espaços livres ou até mesmo em áreas que não foram dimensionados para este fim. (PASSOS, 2011).

Com isso, os pórticos rolantes atendem muito bem a necessidade de movimentação de cargas aéreas e não comprometem a estrutura do edifício, tendo como ponto positivo a flexibilidade de mover toda a estrutura para outro ponto em uma possível instalação futura.

2.3.1 Tipos de Pórticos Rolantes

Como geralmente os pórticos são construídos em ocasiões bem específicas, eles possuem diversas formas. Os principais tipos de pórticos são:

- Univiga ou Monoviga;

Segundo Remor (2012), o pórtico possui sua talha suspensa pelos flanges inferiores e as cabeceiras são fixadas sobre as colunas de sustentação do pórtico e nas extremidades da viga principal. Porém os componentes usados varia de acordo com as necessidades de cada operação.

As vigas do tipo caixão se diferem das vigas I, ou de perfis, por terem o formato de uma caixa, ou caixão. Contudo, as vigas de perfis possuem um formato de I.

Figura 2 – Pórtico Monoviga Caixaão



Fonte: Ribeiro, (2011).

- Biviga ou Dupla-viga;

Para Remor (2012), estes pórticos diferenciam-se dos univigas, somente por ser composto por duas vigas principais, o que possibilita uma capacidade de elevação de carga maior, geralmente são utilizados com cargas acima de 20 toneladas.

Figura 3 – Pórtico Rolante Biviga



Fonte: Ribeiro, (2011).

- Semi-pórtico;

Para Remor (2012), o semi-pórtico possuem sustentação por colunas em somente um dos lados da viga superior, e a outra extremidade superior é sustentada por uma viga ou um trilho apoiada na estrutura de um edifício ou armazém, assim como a ponte rolante. Podendo ela ser univiga ou dupla-viga, conforme figura abaixo.

Figura 4 – Semi-pórtico Rolante



Fonte: Ribeiro, (2011).

2.3.2 Limitação dos Pórticos Rolantes

Segundo Tamasauskas (2000), os pórticos resolvem o problema de manuseio e movimentação de cargas em lugares em que não há estrutura, ou ela não é adequada para receber uma ponte rolante, porém a sua utilização pode encarecer muito o custo do transporte de objetos, o que provoca o uso mais contínuo em locais maiores.

Outras desvantagens dos pórticos rolantes é a limitação do espaço por parte dos trilhos de tráfego, que são usados para o movimento do pórtico. Juntamente com a limitação da locomoção justamente por necessitar desses trilhos.

O pórtico também é uma estrutura que pode ser mais cara que uma ponte rolante, por ter maior dimensionamento e maior estrutura desenvolvida.

2.3.3 Sistema de Translação do Pórtico

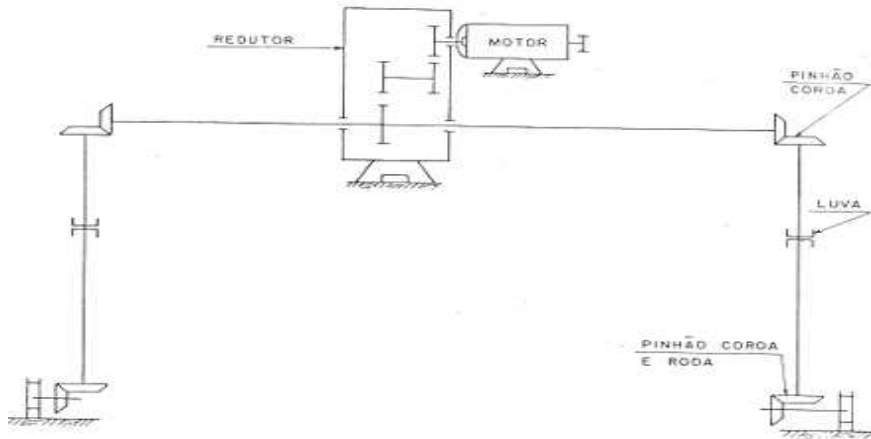
O que mais se difere das pontes rolantes é a movimentação dos pórticos rolantes. Que pode ser mecanizada ou deslocada manualmente.

A opção por deslocamento manual, o próprio operador terá que empurrar a estrutura ou o carrinho do sistema de içamento para a movimentação.

Segundo Brasil (1988), o acionamento das rodas motoras pode ser colocado na viga o motor e o redutor, assim, o eixo horizontal aciona o vertical através de uma coroa e pinhão

cônico e este por sua vez aciona a roda também por uma relação de coroa e pinhão, como mostra Figura 5 abaixo.

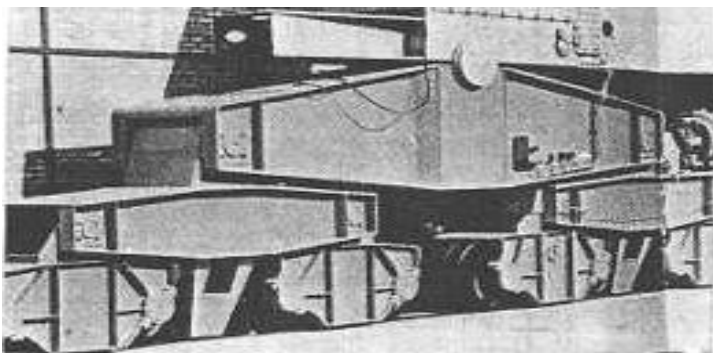
Figura 5 – Esquema de Locomoção 1



Fonte: Brasil (1988).

Entretanto, há outro modo de conduzir essa movimentação, com o motor e redutor instalados diretamente nas rodas de sustentação do pórtico. Assim, não a relação de transmissão tão longa. Também, é possível dimensionar um sistema de balança para cada ponto de sustentação, com uma travessa inferior acionando diretamente as rodas motoras como é utilizado em algumas pontes rolantes, e em grandes cargas (BRASIL, 1988). Para melhor visualização podemos observar a Figura 6 logo abaixo.

Figura 6 – Esquema de Locomoção 2



Fonte: Brasil (1988).

3 METODOLOGIA

O objetivo deste trabalho foi projetar um pórtico rolante para movimentação de motores, caixas de cambio, diferenciais, dentre outras peças que necessitam de esforço físico, realizado em uma empresa de manutenção agrícola. O dimensionamento englobou a parte estrutural e também sua movimentação ao longo da oficina. Não fazendo parte o dimensionamento da parte elétrica e sua automação, mas com especificação do modelo que será utilizado no projeto.

Contudo, juntamente com o proprietário da empresa, foi realizado um estudo de dinâmica do local, verificando as dimensões do ambiente a possível delimitação de carga e os objetos que o mecanismo terá que suspender, juntamente com a carga horária de trabalho. Para melhor visualização, a Figura 7 mostrará o local do estudo.

Figura 7 – Local de Implantação do Pórtico Rolante



Fonte: (Autor).

Para o dimensionamento da parte estrutural do pórtico terá como base para estudo a norma ABNT, NBR 8400 (1984), que define o calculo de equipamentos para levantamento e movimentação de cargas.

Após a definição da estrutura do equipamento será iniciada a base de cálculos para o dimensionamento estrutural e de movimentação do pórtico. Os cálculos serão baseados nas normas ABNT, NBR 8400 (1984), NBR 10084 (1987), NBR 14768 (2001), dentre os arquivos publicados que fazem referência a esse contexto.

Foi utilizado um pórtico rolante com uma univiga, uma viga de estilo I, ou de perfil, com um equipamento de içamento elétrico que poderá se locomover no trilho da viga, e este

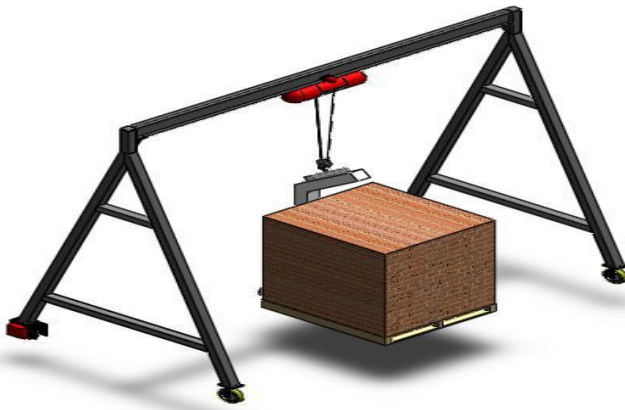
irá fazer o papel de sustentação das cargas no estabelecimento. Juntamente com a parte estrutural, está à base de sustentação da univiga, e o equipamento de movimentação da estrutura, que é localizado na roda. Segue exemplos nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 – Pórtico Equipado com Univiga



Fonte: (CSM – Engenharia de Movimentação).

Figura 9 – Ilustração de Pórtico Rolante Univiga



Fonte: Remor, (2012).

3.1 MÉTODOS UTILIZADOS

3.1.1 Estrutura do Equipamento

Neste projeto foi dimensionado um pórtico rolante para movimentação de cargas em uma oficina agrícola. Com isso, foram enfatizadas algumas restrições para a instalação:

- Objetivo: Transporte de materiais, peças e componentes mecânicos;

- Ambiente: Interior da oficina, sem que haja variação brusca na temperatura e na velocidade do vento;
- Horas trabalhadas: 8 horas por dia;
- Carga útil: 5 toneladas. Entretanto, a maior parte da movimentação será efetuada com 1/3 da carga, ou 30% aproximadamente;
- Vão de largura: 10 metros;
- Altura de elevação: 4,5 metros.

3.1.2 Fatores Estruturais

Para a determinação dos fatores para os devidos cálculos, será seguido a ABNT, NBR 8400 (1984), onde relata que primeiramente a estrutura deve ser separada em um grupo inicial. Para isso, são levados em conta dois fatores: a classe de utilização e o estado de carga.

Tabela 3 – Classe de Utilização

Classe de utilização	Frequência de utilização do movimento de levantamento	Número 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	$6,5 \times 10^5$
D	Utilização em serviço intensivo severo, efetuado, por exemplo, em mais de um turno	$2,0 \times 10^5$

Fonte: ABNT, 1984.

Tabela 4 – Estados de Carga

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

Fonte: ABNT, 1984.

Alguns estados de tensões estão submetidos em equipamentos secundários e não no equipamento principal de sustentação, então o fator é determinado, conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Estados de Tensões de um Elemento

Estado de tensões	Definição	Fração mínima de tensão máxima
0 (muito leve)	Elemento submetido excepcionalmente à sua tensão máxima e comumente a tensões muito reduzidas.	$P=0$
1 (leve)	Elemento submetido raramente à sua tensão máxima, mas comumente a tensões da ordem de 1/3 da tensão máxima.	$P=1/3$
2 (médio)	Elemento frequentemente submetido à sua tensão máxima e comumente a tensões compreendidas entre 1/3 a 2/3 da tensão máxima.	$P=2/3$
3 (pesado)	Elemento regularmente submetido à sua tensão máxima.	$P=1$

Fonte: ABNT, 1984.

3.1.3 Estruturas em Grupo

Os diversos grupos indicados na Tabela 6 classificam a estrutura para os equipamentos como um conjunto e determinam o valor do coeficiente da majoração M_x , que por sua vez caracteriza o dimensionamento da estrutura, (ABNT, NBR 8400 (1984)).

Segundo Brasil (1988), aplica-se um coeficiente M_x , que serve para algumas imperfeições de cálculos ou imprevistos, também conhecidas por coeficiente de majoração. Este valor é obtido em função do grupo que a máquina foi qualificada, como pode ser visto na Tabela 7.

Para o efeito de fadiga do material, é preciso que o ciclo de levantamento ou a classe que ele foi submetido seja elevado, obtendo uma maior repetição do movimento. Entretanto, isso deve ser obedecido para todos os mecanismos que constituem a estrutura. Como toda a estrutura irá ser projetada com a mesma tensão admissível e o mesmo material, anula-se a hipótese de fadiga da estrutura.

Para os cálculos de fadiga, não é sempre possível utilizar o grupo do equipamento como critério único para a verificação de todos os elementos da estrutura, pois o número de ciclos de solicitação e os estados de tensões podem, para certos elementos, ser sensivelmente diferentes da classe de utilização e dos estados de carga do equipamento; nestes casos deve-se determinar para tais elementos o grupo a ser utilizado na verificação à fadiga. (ABNT NBR, 8400, p.7).

Tabela 6 – Classificação da Estrutura do Equipamentos

Estado de cargas (ou estado de tensões para um elemento)	Classe de utilização e número convencional de ciclos de levantamento (ou de tensões para um elemento)			
	A $6,3 \times 10^4$	B $2,0 \times 10^5$	C $6,3 \times 10^5$	D $2,0 \times 10^6$
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: ABNT, 1984.

Tabela 7 – Coeficiente de Majoração

Grupos	1	2	3	4	5	6
Mx	1	1	1	1,06	1,12	1,20

Fonte: ABNT, 1984.

3.1.4 Mecanismos em Função do Serviço

Para a melhor definição do equipamento, ele é dividido conforme o serviço exercido. Primeiramente será classificada a classe do funcionamento, que pode ser visualizado na Tabela 8. Caracterizando o tempo médio em horas de funcionamento diário do mecanismo. (ABNT, NBR 8400 (1984)).

Tabela 8 – Classe de Funcionamento

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

Fonte: ABNT, 1984.

Foi verificada a classe de funcionamento como a V2, por ser um mecanismo que não é utilizado com muita frequência na empresa. Segundo ABNT, NBR 8400 (1984), as classes de V1 a V5 referem-se a mecanismos utilizados de modo regular.

Com isso, foi definido que o estado de solicitação do mecanismo, que caracteriza em que proporção um mecanismo, ou um elemento de mecanismo, é submetido à sua solicitação máxima ou somente a solicitações reduzidas. Definido como grau 2, onde os “mecanismos ou elementos de mecanismos submetidos, durante tempos sensivelmente iguais, a solicitações reduzidas, médias e máximas.” Com o valor da solicitação máxima igual a $P=1/3$ (ABNT, NBR 8400 (1984)).

Portanto, define-se o grupo do mecanismo com a Tabela 9 a seguir.

Tabela 9 – Grupo dos Mecanismos

Estado de Solicitação	Classe de Funcionamento						
	V0,25	V0,5	V1	V2	V3	V4	V5
1	1 Bm	1 Bm	1 Bm	1 Am	2 m	3 m	4 m
2	1 Bm	1 Bm	1 Am	2 m	3 m	4 m	5 m
3	1 Bm	1 Am	2 m	3 m	4 m	5 m	5 m

Fonte: ABNT, 1984.

3.2 SISTEMA DE ELEVAÇÃO PRINCIPAL

Para dar continuidade nos cálculos da estrutura, necessita-se dos valores do peso próprio do carro, suas distâncias entre centros de rodas. Todavia, o objetivo do trabalho é o dimensionamento estrutural do pórtico, então foi selecionado um sistema de içamento pré-fabricado, que será utilizado no deslocamento horizontal e vertical da carga na viga.

O sistema de elevação será composto por um sistema de trole e talha por corrente do modelo Powerstar por trole elétrico de 5 toneladas.

Este sistema está protegido por eventual falha por fadiga, pois a recomendação de trabalho do mesmo excede a movimentação que o pórtico irá desenvolver.

A classificação H4 (300 arranques hora ou 30 minutos ininterruptos de operação) confere à Powerstar grande robustez e força onde os trabalhos mais severos são exigidos com frequência, e suas duas versões de motores, de 5 hp ou 7,5 hp proporcionam grande eficiência na operação. (CM do Brasil, 2017).

A Figura 10 demonstra o sistema utilizado, que foi extraído do catálogo do fabricante.

3.3.1 Solicitações Estáticas

Solicitação que enfatizam o cálculo da estrutura estática, o carregamento desfavorável:

- Devido ao peso dos elementos (Sg);
- Devido à carga de serviço (SL).

3.3.2 Solicitação ao Movimento Vertical

Proveniente do içamento desuniforme e choques no sentido vertical. Calcula-se o coeficiente dinâmico (ψ) = 1,15.

Tabela 10 – Valores do Coeficiente Dinâmico

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: ABNT, 1984.

3.3.3 Solicitação ao Movimento Horizontal

Devido ao movimento do trole, temos a aceleração e desaceleração média, que pode ser analisada na Tabela 11.

Tabela 11 – Tempos de Aceleração e Acelerações

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: ABNT, 1984.

$$Vd = 0,25 \text{ (m/s)}$$

$$Tm = 3,2 \text{ (s)}$$

$$Jm = 0,078 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

- Massa equivalente. Representada pela massa do sistema de elevação trole e talha.

$$meq = 217 \text{ (kg)} \quad (1)$$

- Força de inércia média. Obtida pela equação (2).

$$Fcm = (m_1 \times Jm) \text{ [N]} \quad (2)$$

$$Fcm = 390 \text{ (N)}$$

Onde:

Fcm: Força de inércia média (N);

m₁: massa elevada (Kg);

Jm: Aceleração ou desaceleração média (m/s²).

- Período de oscilação. Obtida pela equação (3).

$$T1 = \left(2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \right) \text{ [s]} \quad (3)$$

$$T1 = 4,25 \text{ (s)}$$

Onde:

T1: Período de oscilação (s);

l: Comprimento de suspensão da carga (m);

g: Aceleração da gravidade (m/s²).

- Força de inércia devido à carga.

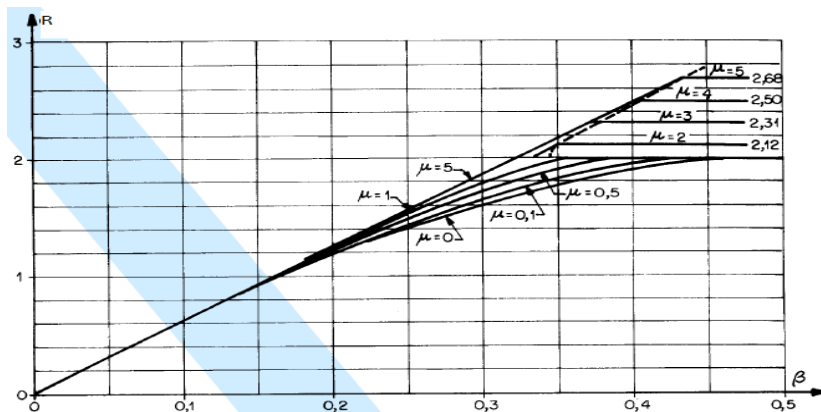
Segundo ABNT NBR 8400 (1984), para o coeficiente (μ), quando o sistema possui um controle na aceleração e desaceleração da movimentação o valor nominal para cálculo é ($\mu = 0$). O sistema de içamento que será utilizado (talha e trole), possui seu próprio controle eletrônico de movimentação, definido pelo fabricante.

Para o coeficiente que corresponde à duração média da aceleração ou desaceleração pelo período de oscilação (β), foi determinado pela equação (4).

$$\beta = \left(\frac{Tm}{T1} \right) \quad (4)$$

$$\beta = 0,75$$

Figura 11 – Valores para o Coeficiente R.



Fonte: ABNT, 1984, adaptado pelo autor (2017).

Com isso, é obtido o valor nominal de R através dos valores de β e μ . ($R = 2$).

Para o cálculo da força de inercia devido a carga, observar equação (5).

$$FC_{max} = (R \times F_{cm}) [N] \quad (5)$$

$$FC_{max} = 780 (N)$$

Onde:

FC_{max} : Força de inércia devido a carga (N);

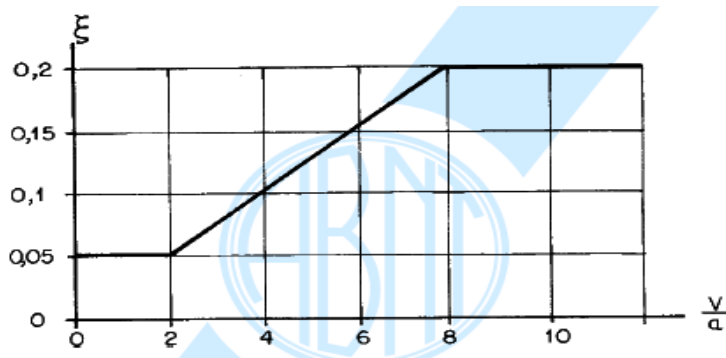
R: Coeficiente;

F_{cm} : Força de inércia média (N).

3.3.4 Solicitação Devido ao Movimento Transversal

As reações das forças horizontais transversais ocorrem quando duas rodas giram sobre um trilho, originando forças perpendiculares, ABNT NBR 8400 (1984). Para calcular essa solicitação, vamos determinar o coeficiente (ξ) da Figura 12, acompanhando a equação (6).

Figura 12 – Coeficiente que Determina as Reações Transversais Devidas ao Rolamento.



Fonte: ABNT, 1984

$$\left(\frac{V}{a}\right) = 0,74 \quad (6)$$

$$\xi = 0,05$$

Onde:

V: Vão troler (mm);

a: Distância entre eixos do troler (mm).

3.3.5 Efeito de Choque

Quando as cargas suspensas podem oscilar, não se leva em consideração os efeitos de choque para velocidade de deslocamento ($V_d < 0,7$ (m/s), (ABNT NBR 8400 (1984)).

$$V_d = (0,25 \text{ m/s} < 0,7 \text{ m/s}).$$

3.3.6 Deflexão na Viga Principal

A ABNT NBR 8800 (2008), estabelece que, para pontes rolantes com capacidade de levantamento inferiores a 200 KN, a flecha máxima admissível ($\delta m = L/600$). Onde L é o comprimento da viga principal em milímetros. Todavia, será utilizado para fins de cálculo ($L/600$). Onde foi obtido $\delta m = 16,66$ (mm).

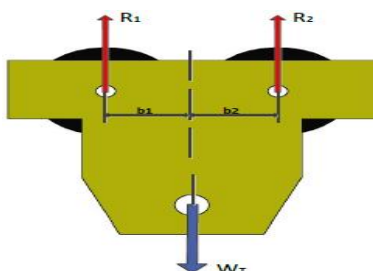
3.4 PRÉ DIMENSIONAMENTO DA VIGA PRINCIPAL

3.4.1 Reações do Trole

Para a obtenção da solicitação do movimento transversal do trole, é necessário o carregamento total do sistema de elevação (W_t), somado a carga nominal da ponte, multiplicado pelo coeficiente (ξ) calculado na equação (6). Os valores de (b_1 e b_2) são distâncias das rodas do trole até o centro da aplicação da carga. Conforme se observa na equação (7).

Na Figura 13, podemos observar o modelo esquemático das forças.

Figura 13 – Reações do Trole.



Fonte: Sordi, 2016.

$$R1 = R2 = \left(\frac{Wt}{2}\right) [Kgf] \quad (7)$$

$$R1 = R2 = 2.608,5 \text{ (Kgf)}$$

Onde:

R1 e R2: Cargas de reação (Kgf).

Wt: Carga de içamento somado ao peso do trole (Kg);

$$RT1 = RT2 = ((R1 = R2) * \xi) [Kgf] \quad (8)$$

$$RT1 = RT2 = 130,42 \text{ (Kgf)}$$

Onde:

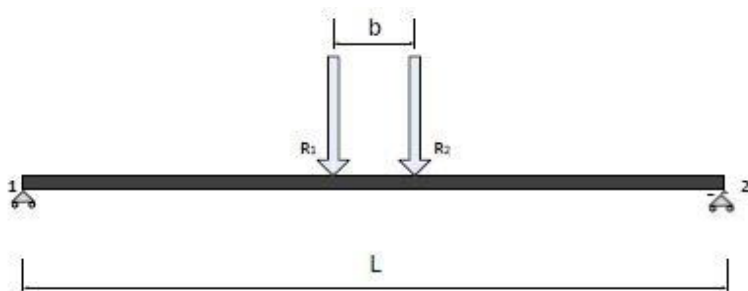
RT1 = RT2: Solicitação ao carregamento horizontal (Kgf);

R1 = R2: Cargas de reação (Kgf);

ξ : Coeficiente da equação [6].

Com a Figura 14, pode-se observar o esquema de distribuição de forças na viga com a reação do trole. Onde, (L) representa o comprimento da viga (10 m), (R1 e R2) as reações dos esforços do trole, e (b) a distância das rodas do trole.

Figura 14 – Esquema da Viga Principal do Pórtico



Fonte: Sordi, 2016, adaptado pelo autor (2017).

3.4.2 Momento Máximo na Viga

Para calcular o momento máximo na viga utilizamos a equação (9) abaixo com os coeficientes da Tabela 7 e 10.

$$Mm = \left(Mx * \psi * R1 * \left(\frac{L - b}{2} \right) \right) [Nm] \quad (9)$$

$$Mm = 143,16 (KNm)$$

Onde:

Mm: Momento máximo na viga (KNm);

Mx: Coeficiente de majoração;

ψ : Coeficiente dinâmico;

R1: Carga de reação do trole (Kgf);

L: Comprimento viga (m);

b: Distância entre eixos trole (m).

De acordo com a ABNT NBR 8400 (1984), a viga classificada como 1, normal sem vento, tem o Fator de Segurança (FS) = 1,5. Entretanto, a tensão de escoamento é obtida a partir do material utilizado.

Tabela 12 – Tensões Admissíveis a Tração ou Compressão Simples

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

Fonte: ABNT, 1984.

Foi selecionado um perfil para o pórtico, baseado no catálogo da Gerdau, onde foi selecionado o aço ASTM – A572 grau 50 onde sua tensão de escoamento $\sigma_e = 345$ (MPa), comprovado na Tabela 13.

Tabela 13 – Tensões das Vigas

	ASTM A 572 Grau 50	ASTM A 572 Grau 60*	ASTM A 992*
Limite de Escoamento (MPa)	345 mín.	415 mín.	345 a 450
Limite de Resistência (MPa)	450 mín.	520 mín.	450 mín.
Alongamento após ruptura (%)	18 mín.	16 mín.	18 mín.

Fonte: Gerdau, 2017, adaptado pelo autor (2017).

Perante isso, foi calculada a tensão admissível $\sigma_a = 230$ (Mpa).

3.4.3 Módulo Estático Mínimo

$$W_x = \left(\frac{M_m * 10^6}{\sigma_a} \right) [cm^3] \quad (10)$$

$$W_x = 622,43 (cm^3)$$

Onde:

W_x : Módulo estático mínimo (cm^3);

M_m : Momento máximo (KNm);

σ_a = Tensão admissível (MPa).

3.4.4 Momento de Inércia da Viga

$$I_x = \left(\frac{(2 * R1 * \psi) * L^3}{48 * E * \delta m} \right) [cm^4] \quad (11)$$

$$I_x = 36.597,26 (cm^4)$$

Onde:

I_x : Momento de inércia (cm^4);

$R1$: Carga de reação do trole (Kgf);

ψ : Coeficiente dinâmico;

L^3 : Comprimento da viga (mm);

E: Módulo da elasticidade (205 GPa), segundo Gerdau 2017;

δm : Deflexão máxima (mm).

Segundo Sordi (2016), com os valores de W_x e I_x , podemos selecionar uma viga comercial. Portanto, utilizamos o catálogo da Gerdau (2017), e foi definida a viga do perfil I (W 460 x 82), que atende os valores calculados, que pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14 – Propriedade do Perfil

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b _f mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm ²	EIXO X - X			EIXO Y - Y			u m ² /m	Bitola in x lb/ft
				t _w mm	t _f mm				I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm		
W 460 x 52,0	52,0	450	152	7,6	10,8	428	404	66,6	21.370	949,8	17,91	634	83,5	3,09	1,47	W 18 x 35
W 460 x 60,0	60,0	455	153	8,0	13,3	428	404	76,2	25.652	1.127,6	18,35	796	104,1	3,23	1,49	W 18 x 40
W 460 x 68,0	68,0	459	154	9,1	15,4	428	404	87,6	29.851	1.300,7	18,46	941	122,2	3,28	1,50	W 18 x 46
W 460 x 74,0	74,0	457	190	9,0	14,5	428	404	94,9	33.415	1.462,4	18,77	1.661	174,8	4,18	1,64	W 18 x 50
W 460 x 82,0	82,0	460	191	9,9	16,0	428	404	104,7	37.157	1.615,5	18,84	1.862	195,0	4,22	1,64	W 18 x 55
W 460 x 89,0	89,0	463	192	10,5	17,7	428	404	114,1	41.105	1.775,6	18,98	2.093	218,0	4,28	1,65	W 18 x 60
W 460 x 97,0	97,0	466	193	11,4	19,0	428	404	123,4	44.658	1.916,7	19,03	2.283	236,6	4,30	1,66	W 18 x 65
W 460 x 106,0	106,0	469	194	12,6	20,6	428	404	135,1	48.978	2.088,6	19,04	2.515	259,3	4,32	1,67	W 18 x 71

Fonte: Gerdau, 2017, adaptado pelo autor (2017).

3.4.5 Peso da Estrutura

O Peso da Estrutura é composto pelo peso do sistema de elevação, juntamente com o peso da viga. Considerando uniformemente distribuído na estrutura (Sge).

$$Sge = \left(\left(\frac{meq}{10} \right) + mv \right) [Kgf/m] \quad (12)$$

$$Sge = 1016,95 \text{ (N/m)}$$

Onde:

Sge: Peso da estrutura (Kgf/m);

meq: Massa sistema de elevação (Kg);

mv: Massa viga (Kg/m).

3.4.6 Solicitação Devido ao Movimento Vertical

$$S_v = (M_x * \psi * (2 * R_1) * g) [KN] \quad (13)$$

$$S_v = 58,85 \text{ (KN)}$$

Onde:

S_v : Solicitação do movimento vertical (KN);

M_x : Coeficiente de majoração;

ψ : Coeficiente dinâmico;

R_1 : Carga de reação do trole (Kgf);

g : Aceleração da gravidade (9,81 m/s²).

3.4.7 Solicitação Devido ao Movimento Horizontal

$$S_h = (M_x * (2 * R_{T1}) * g) [KN] \quad (14)$$

$$S_h = 2,56 \text{ (KN)}$$

Onde:

S_h : Solicitação do movimento horizontal (KN);

M_x : Coeficiente de majoração;

R_{T1} : Solicitação ao carregamento horizontal (Kgf);

g : Aceleração da gravidade (9,81 m/s²).

3.4.8 Força de Inércia do Sistema de Elevação

$$F_l = (R * (m_{eq} + m_1) * J_m * M_x) [Kgf] \quad (15)$$

$$F_l = 813,85 \text{ (N/m)}$$

Onde:

Fl: Força de inércia do sistema de elevação (Kgf);

R: Coeficiente, Figura 13;

meq: Massa do sistema de elevação (Kg);

m1: Massa de içamento (Kg);

Jm: Aceleração ou desaceleração média (m/s²);

Mx: Coeficiente de majoração.

3.4.9 Foça de Inércia Distribuída na Viga

$$Fv = \left(\frac{(R * mv * Jm * Mx)}{L} \right) [Kgf/m] \quad (16)$$

$$Fv = 125,45 \text{ (N/m)}$$

Onde:

Fv: Força de inércia na viga (Kgf/m);

R: Coeficiente, Figura 13;

mv: Massa viga principal (Kg);

Jm: Aceleração ou desaceleração média (m/s²);

Mx: Coeficiente de majoração;

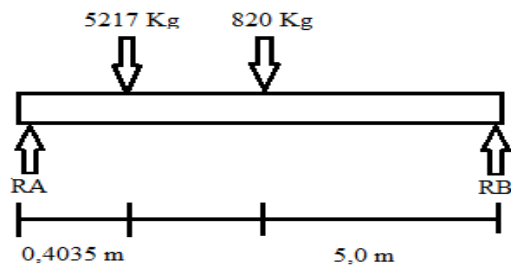
L: Comprimento da viga (m).

3.5 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE SUSTENTAÇÃO

3.5.1 Força Atuante no Apoio

Com o peso total da viga de 820 Kg, o peso do trole 217 Kg, e a carga que irá ser elevada 5000 Kg, desenvolveu-se um diagrama de forças para calcular o momento e a força atuante no pé de apoio do pórtico, contado com a distância que o trole pode chegar da extremidade 0,4035 m, conforme pode ser entendido na Figura 15.

Figura 15 – Diagrama de Forças



Fonte: Autor, 2017.

$$\sum Fy = (RA - 5217 - 820 + RB) [Kgf] \quad (17)$$

$$\sum MA = 0$$

$$(RB * 10) - (820 * 5) - (5217 * 0,4035) = 0$$

$$RB = - 620,5 (Kgf)$$

$$(RA - 5217 - 820 + 620,5) = 0$$

$$RA = - 5416,5 (Kgf)$$

Onde:

RA: Contra força em A (Kgf);

RB: Contra força em B (Kgf).

Contudo, com a força atuante de uma extremidade da viga, considerando que o trole esteja todo para um lado, calcula-se a área da viga para uma seleção em catálogo, utilizando a formula 18 abaixo.

$$\sigma_a = \left(\frac{F}{A} \right) [cm^2] \quad (18)$$

$$A = 230,98 (mm^2)$$

$$A = 2,3098 (cm^2)$$

Onde:

σ_a : Tensão admissível (Kgf/mm²);

F: Força atuante (Kgf);

A: Área (mm²).

Com a medida da área transversal da viga, escolheu-se em catálogo a viga do perfil tipo I para atender o requisito. Foi definida pela menor área encontrada, mesmo tendo um valor maior que o calculado ($A = 16,6 \text{ cm}^2$), analisado na Tabela 15.

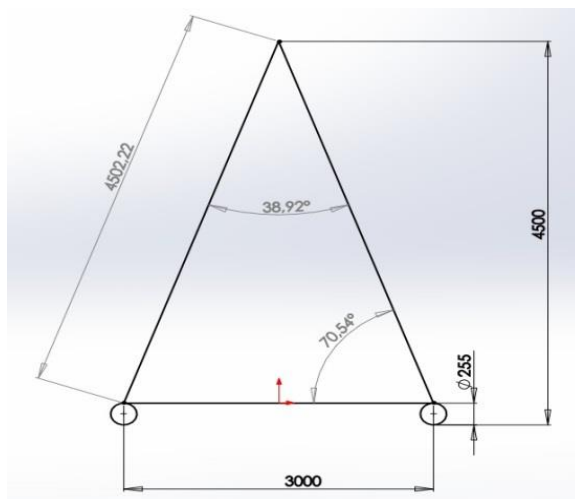
Tabela 15 – Perfil Estrutura Sustentação

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b _f mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm ²	EIXO X - X			EIXO Y - Y			u m ² /m	Bitola in x lb/ft
				t _w mm	t _f mm				I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm		
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	82	16,4	2,22	0,67	W 6 x 8,5

Fonte: Gerdau, 2017, adaptado pelo autor (2017).

Para melhor área de movimentação e atuação dentro da empresa, foi definida a distância entre os dois pontos de apoio de sustentação de 3 m, assim, o pórtico poderá movimentar cargas em todo o chão da empresa, que pode ser acompanhado pela Figura 16.

Figura 16 – Estrutura de Sustentação



Fonte: Autor, 2017.

3.5.2 Fixação das Partes

Como a força do movimento horizontal obtida na equação 14 é relativamente baixa, cerca de 261 (Kgf), não será efetuado cálculo para os parafusos de fixação da viga principal na estrutura de sustentação e também não será efetuado cálculos para as soldas devidamente realizadas.

3.5.3 Rodas de Movimentação do Pórtico

De acordo com a força de reação calculada na equação 17, ($RA = 5416,5 \text{ Kgf}$) e juntamente com o peso da estrutura de sustentação ($162,5 \text{ Kg}$), foram selecionadas as rodas para movimentação do pórtico diretamente no catálogo do fabricante.

Cada ponto de apoio recebe uma roda, que exerce uma força de aproximadamente ($2789,5 \text{ Kgf}$) dividindo a carga total em duas. O mesmo é adotado para o outro lado da estrutura, sendo que foi utilizada a maior carga de reação calculada.

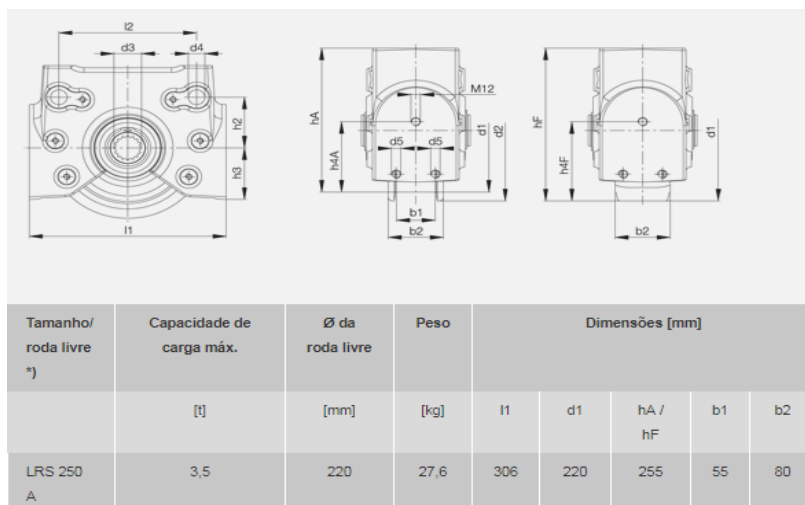
Figura 17 – Roda Livre



Fonte: DEMAG, 2017.

Na Figura 17, pode-se compreender como é modelo utilizado para a estrutura, que é chamado de Roda Livre, mas tem a opção de acoplagem de um motor elétrico, caso aja um projeto ou determinação futura da empresa, para a locomoção automatizada.

Figura 18 – Medida do Sistema de Roda Livre



Fonte: DEMAG, 2017, adaptado pelo autor (2017).

Foi selecionado conforme dimensionamento e determinação da carga de 2789,5 Kgf, o modelo (LRS 250 A) com capacidade de (3500 Kg), de acordo com a Figura 18.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados esperados fazem referência aos objetivos específicos do trabalho, que é o dimensionamento estrutural de um pórtico rolante, para ser instalado em uma empresa de manutenção agrícola, onde o equipamento ajudará na suspensão movimentação de cargas, facilitando e modernizando o trabalho e a mão de obra para a empresa agrícola.

Para a viga principal da estrutura, a obtenção dos valores do módulo estático mínimo ($W_x = 622,43 \text{ cm}^3$) e o momento de inércia ($I_x = 36.597,26 \text{ cm}^4$), selecionando uma viga do perfil I em um catálogo do fabricante que atendesse esses requisitos.

Assim, posteriormente para o dimensionamento dos pés de apoio do pórtico foi calculado o valor da área da seção transversal da viga que deveria atender para que a sustentação fosse concedida ($A = 2,3098 \text{ cm}^2$). Com isso, definiu-se a viga em catálogo, Contudo, para fins de padrão de estrutura e dimensionamento, foi utilizado o mesmo tipo de material em toda estrutura.

Também foram selecionadas as rodas de sustentação do pórtico, de acordo com o peso total da estrutura, buscado em catálogos de fabricantes a que mais se adequava.

Foi elaborada uma tabela com os materiais selecionados, que pode ser acompanhado na Tabela 16 abaixo.

Tabela 16 – Lista de Materiais

MATERIAIS	MODELOS	FABRICANTE	QUANTIDADE
Viga I Principal	W 460 x 82,0	Gerdau	10 m
Viga I para Sustentação	W 150 x 13,0	Gerdau	25 m
Trole Talha	Powerstar elétrico por corrente de 5 toneladas	CM do Brasil	1
Rodas Sustentação Pórtico	LRS 250 A	Demag	4

Fonte: Autor, 2017.

Para o desenvolvimento prático do projeto terá que ser utilizado conforme a Tabela 16, uma viga W 460 x 82,0 com 10 m de comprimento para ser utilizada como viga principal, também 25 m de viga W 150 x 13,0 para fabricação dos pés de apoio do pórtico.

Para o sistema de locomoção, utilizará um conjunto trole talha Powerstar elétrico de 5 toneladas que será utilizado para deslocamento de cargas na viga principal, e 4 rodas de

sustentação do tipo LRS 250 A, que farão o papel de locomoção longitudinal e sustentação de toda a estrutura dentro da empresa.

Com isso, podemos ter uma visão geral de como ficará o pórtico segundo a Figura 19 abaixo.

Figura 19 – Ilustração Final do Pórtico



Fonte: Autor, 2017.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo o dimensionamento de um pórtico rolante. Para que fosse concedido foram pesquisadas formas para um projeto coerente e de fácil dimensionamento, segundo normas ABNT NBR 8400 (1984), ABNT NBR 8800 (2008), ABNT NBR 10084 (1987), ABNT NBR 14768 (2001). Juntamente com estudos e teses de dimensionamento de estruturas mecânicas, que podem ser encontradas na bibliografia. Foram efetuados alguns cálculos e esforços referentes à estrutura, como de Momento Máximo na Viga, Módulo Estático, Deflexão Máxima, Momento de Inércia, Solicitações Verticais e Horizontais dentre outros que podem ser observados no decorrer do trabalho, e esboçado com algumas imagens, tabelas e desenhos para facilitar a compreensão.

Foi realizada a pesquisa de alguns materiais encontrados em catálogos de fabricantes, como a viga as vigas W 460 x 82,0 e W 150 x 13,0 juntamente com o trole e talha Powerstar elétrico e as rodas LRS 250 A, para o dimensionamento do pórtico. Encontrado em catálogos de fabricantes que disponibilizam suas mercadorias na web.

Conclui-se que, com o presente trabalho foi possível definir as vigas de sustentação e os apoios do pórtico, juntamente com as solicitações para que a viga possa suportar a carga em suas movimentações e carregamentos de acordo com o que foi estipulado nos objetivos propostos, com a definição do sistema de içamento e as rodas de sustentação de toda a estrutura.

Todavia, define-se o quanto a engenharia mecânica esta presente no dia-a-dia, e o quanto ela é importante para um mecanismo ou uma estrutura mecânica, que envolva o conhecimento de engenharia para elaboração do desenvolvimento de cálculos e a extração de informações em normas e aplicações práticas. Tornando assim, o profissional de engenharia uma pessoa importante no papel de dimensionamentos de mecanismos e estruturas que estão em meio à população, e que trazem certos riscos físicos. Todavia, facilitando e auxiliando a mão-de-obra e trazendo lucros por qualidade e produtividade.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Mesmo atingindo os objetivos apresentados no projeto inicial, é possível ter algumas sugestões de melhorias e trabalhos futuros:

- ❖ O dimensionamento de um sistema hidráulico ou elétrico para a locomoção longitudinal do pórtico, sem que aja a intervenção da “força humana” para tal movimento, juntamente com um sistema automatizado para facilitar os movimentos.
- ❖ A readequação da estrutura por meio de materiais estratégicos, ou mais sofisticados, para que seja possível a redução do peso da mesma e a compactação do espaço que é ocupado por ela.
- ❖ Cálculo do sistema de fixação da estrutura, sendo ele por parafuso ou solda.
- ❖ O orçamento total do pórtico, para um estudo de viabilidade de construção.

Com estes projetos futuros, pode ser obtida uma estrutura mecânica de um padrão mais sofisticado, envolvendo maior custo para produção, mas aumentando o espaço de trabalho para a empresa e facilitando ainda mais a movimentação de cargas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8400 – Cálculo de Equipamentos para Levantamento e Movimentação de Cargas**, Rio de Janeiro. 1984.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8800 – Projeto de Estruturas de Aço e Concreto de Edifícios**, Rio de Janeiro. 2008.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR10084 - Cálculo de estruturas suporte para equipamento para levantamento e movimentação de cargas**. Rio de Janeiro. 1987.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14768 – Guindaste Articulado Hidráulico – Requisitos**, São Pulo. 2001.

BRASIL, H. V. **Máquinas de Levantamento**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A. 1988.

CSM – **Engenharia de Movimentação**. Disponível em <<http://www.csm.ind.br/engenharia/>> acesso em: 25 mai. 2017.

CM do Brasil - **Columbus McKinnon**. Elevação e transporte de carga. Disponível em <<http://www.cmdobrasil.com.br/index.html>> acesso em : 12 set. 2017.

DEMAG – **Empresa de Movimentação Interna de Materiais**. Disponível em <<http://www.demagcranes.com.br/Demag-Brasil>> acesso em: 04 nov. 2017.

GERDAU – **Empresa Siderúrgica do Brasil**. Disponível em <<https://www.gerdau.com.br/pt/produtos/perfis-estruturais-gerdau#ad-image-0>> acesso em: 13 set. 2017.

NASSAR, W. R. **Apostila de máquinas de elevação e transporte**. São Paulo, Universidade de Santa Cecília. 2004.

PASSOS, Lucas da Costa dos. **Apostila: Técnicas de instalação, operação, manutenção testes e inspeção: pontes rolantes, guindastes giratórios e acessórios de movimentação de cargas**. Make Engenharia, Acessoria e Desenvolvimento. 2011.

REMOR, Gustavo Strassburger. **Projeto Conceitual de um Pórtico Rolante para Movimentação de Pallets**. São Paulo, FAHUR – Faculdade Horizontal. 2012.

RIBEIRO, Fernando José Granja. **Dimensionamento de um Pórtico Rolante**. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2011.

RUDENKO, N. **Máquinas de Elevação e Transporte**. Rios de Janeiro: Livros técnicos e científicos, Editora S.A. 1976.

SOBUE, Gustavo. **Modelagem Paramétrica de Pórticos Rolantes: Estabilidade Estrutural e Otimização**. Dissertação de mestrado – Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo. 2005.

SORDI, Giovanni. **Dimensionamento da Viga Principal de uma Ponte Rolante**. Monografia de Graduação – Centro Universitário UNIVATES. Lajeado. 2016.

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

ANEXOS

PERFÍS ESTRUTURAIS

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b ₁ mm	ESPESSURA				d'	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r _x cm	I _x cm ⁴	RSEBELTEZ		C _x cm ³	u m ² /m	BITOLA mm x kg/m
				t ₁ mm	t ₂ mm	t ₃ mm	h mm			l _x cm ²	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	l _y cm ²	W _y cm ³	r _y cm	Z _y cm ³			ABA - t ₁ b ₁ /t ₁	ALMA - t ₂ d'/t ₂			
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	2,60	1,72	10,20	27,49	4,181	0,67	W 150 x 13,0	
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48	6,683	0,89	W 150 x 18,0	
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,8	139	119	29,0	1.229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48	20,417	0,88	W 150 x 22,5 (H)	
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,8	10,3	139	115	31,5	1.384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,06	4,95	17,48	10,206	0,89	W 150 x 24,0	
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1.739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94	30,277	0,90	W 150 x 29,8 (H)	
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2.244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,84	14,67	39,930	0,91	W 150 x 37,1 (H)	
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1.305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44	8,222	0,77	W 200 x 15,0	
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1.686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,59	4,02	7,85	29,31	11,098	0,79	W 200 x 19,3	
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2.029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42	13,868	0,79	W 200 x 22,5	
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2.611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	3,54	7,85	7,92	29,34	32,477	0,92	W 200 x 26,6	
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3.168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	26,50	40,822	0,93	W 200 x 31,3	
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3.437	342,0	8,67	379,2	784	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90	69,502	1,03	W 200 x 35,9 (H)	
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4.114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	4,53	23,19	7,03	21,86	83,948	1,04	W 200 x 41,7 (H)	
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4.543	447,6	8,81	495,3	1.535	151,2	5,12	229,5	5,58	22,01	9,23	22,36	141,342	1,19	W 200 x 46,1 (H)	
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5.298	514,4	8,90	572,5	1.784	174,9	5,16	265,8	5,61	33,34	8,10	19,85	166,710	1,19	W 200 x 52,0 (H)	
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4.977	488,0	8,55	551,3	1.873	161,7	4,96	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28	155,075	1,20	HP 200 x 53,0 (H)	
W 200 x 59,0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	6.140	584,8	8,99	655,9	2.041	199,1	5,18	303,0	5,64	47,69	7,22	17,32	195,418	1,20	W 200 x 59,0 (H)	
W 200 x 71,0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	7.680	709,2	9,17	803,2	2.537	246,3	5,28	374,5	5,70	81,66	5,92	15,80	249,976	1,22	W 200 x 71,0 (H)	
W 200 x 86,0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	9.488	855,7	9,26	984,2	3.139	300,4	5,32	458,7	5,77	142,19	5,07	12,06	317,844	1,23	W 200 x 86,0 (H)	
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	2.291	182,6	9,96	211,0	91	18,1	1,99	28,8	2,48	2,54	9,53	45,92	13,735	0,88	W 250 x 17,9	
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	2.939	231,4	10,09	267,7	123	24,1	2,06	38,4	2,54	4,77	7,39	37,97	18,629	0,89	W 250 x 22,3	
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	3.473	270,2	10,31	311,1	149	29,3	2,14	46,4	2,58	7,06	6,07	36,10	22,955	0,89	W 250 x 25,3	
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	4.046	311,2	10,51	357,3	178	34,8	2,20	54,9	2,62	10,34	5,10	34,38	27,636	0,90	W 250 x 28,4	
W 250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	4.937	382,7	10,83	428,5	473	64,8	3,35	99,7	3,86	10,44	8,02	36,03	73,104	1,07	W 250 x 32,7	
W 250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6	6.057	462,4	11,05	517,6	594	80,8	3,46	124,1	3,93	17,63	6,56	33,27	93,242	1,08	W 250 x 38,5	
W 250 x 44,8	44,8	266	148	7,6	13,0	240	220	57,6	7.158	538,2	11,15	606,3	704	95,1	3,50	146,4	3,96	27,14	5,69	28,95	112,398	1,09	W 250 x 44,8	
HP 250 x 62,0 (H)	62,0	246	256	10,5	10,7	225	201	79,6	8.728	709,6	10,47	790,5	2.995	234,0	6,13	357,8	6,89	33,46	11,96	19,10	417,130	1,47	HP 250 x 62,0 (H)	
W 250 x 73,0 (H)	73,0	253	254	8,6	14,2	225	201	92,7	11.257	889,9	11,02	983,3	3.880	305,5	6,47	463,1	7,01	56,94	8,94	23,33	552,900	1,48	W 250 x 73,0 (H)	
W 250 x 80,0 (H)	80,0	256	255	9,4	15,6	225	201	101,9	12.550	980,5	11,10	1.088,7	4.313	338,3	6,51	513,1	7,04	75,02	8,17	21,36	622,878	1,49	W 250 x 80,0 (H)	
HP 250 x 85,0 (H)	85,0	254	280	14,4	14,4	225	201	108,5	12.280	966,9	10,64	1.093,2	4.225	325,0	6,24	499,6	7,00	82,07	9,03	13,97	605,403	1,50	HP 250 x 85,0 (H)	
W 250 x 89,0 (H)	89,0	260	256	10,7	17,3	225	201	113,9	14.237	1.095,1	11,18	1.224,4	4.841	378,2	6,52	574,3	7,06	102,81	7,40	18,82	712,351	1,50	W 250 x 89,0 (H)	
W 250 x 101,0 (H)	101,0	264	257	11,9	19,6	225	201	128,7	16.352	1.238,8	11,27	1.395,0	5.549	431,8	6,57	656,3	7,10	147,70	6,56	16,87	828,031	1,51	W 250 x 101,0 (H)	
W 250 x 115,0 (H)	115,0	269	259	13,5	22,1	225	201	146,1	18.920	1.406,7	11,38	1.597,4	6.405	494,6	6,62	752,7	7,16	212,00	5,86	14,87	975,265	1,53	W 250 x 115,0 (H)	
W 310 x 21,0	21,0	303	101	5,1	5,7	292	272	27,2	3.776	249,2	11,77	291,9	98	19,5	1,90	31,4	2,42	3,27	8,86	53,25	21,628	0,98	W 310 x 21,0	
W 310 x 23,8	23,8	305	101	5,6	6,7	292	272	30,7	4.346	265,0	11,89	333,2	116	22,9	1,94	36,9	2,45	4,65	7,54	48,50	25,594	0,99	W 310 x 23,8	
W 310 x 28,3	28,3	309	102	6,0	8,9	291	271	36,5	5.500	366,0	12,28	412,0	158	31,0	2,08	49,4	2,55	8,14	5,73	45,20	35,441	1,00	W 310 x 28,3	
W 310 x 32,7	32,7	313	102	6,6	10,8	291	271	42,1	6.570	419,8	12,49	485,3	192	37,6	2,13	59,8	2,58	12,91	4,72	41,12	43,612	1,00	W 310 x 32,7	
W 310 x 38,7	38,7	310	165	5,8	9,7	291	271	49,7	8.581	553,6	13,14	615,4	727	88,1	3,82	134,9	4,38	13,20	8,51	46,66	163,728	1,25	W 310 x 38,7	
W 310 x 44,5	44,5	313	186	6,6	11,2	291	271	57,2	9.997	638,8	13,22	712,8	855	103,0	3,87	158,0	4,41	19,90	7,41	41,00	194,433	1,26	W 310 x 44,5	
W 310 x 52,0	52,0	317	167	7,6	13,2	291	271	67,0	11.909	751,4	13,33	842,5	1.026	122,9	3,91	188,8	4,45	31,81	6,33	35,61	236,422	1,27	W 310 x 52,0	
HP 310 x 79,0 (H)	79,0	299	306	11,0	11,0	277	245	100,0	16.316	1.091,3	12,77	1.210,1	5.258	343,7	7,25	525,4	8,20	46,72	13,91	22,27	1.089,258	1,77	HP 310 x 79,0 (H)	
HP 310 x 93,0 (H)	93,0	303	308	13,1	13,1	277	245	119,2	19.682	1.299,1	12,85	1.450,3	6.387	414,7	7,32	635,5	8,26	77,33	11,76	18,69	1.340,320	1,78	HP 310 x 93,0 (H)	
W 310 x 97,0 (H)	97,0	308	305	9,9	15,4	277	245	123,6	22.284	1.447,0	13,43	1.594,2	7.286	477,8	7,68	725,0	8,38	92,12	9,90	24,77	1.558,682	1,79	W 310 x 97,0 (H)	
W 310 x 107,0 (H)	107,0	311	308	10,9	17,0	277	245	136,4	24.839	1.597,3	13,49	1.768,2	8.123	530,9	7,72	806,1	8,41	122,86	9,00	22,48	1.754,271	1,80	W 310 x 107,0 (H)	
HP 310 x 110,0 (H)	110,0	308	310	15,4	15,5	277	245	141,0	23.703	1.539,1	12,97	1.730,8	7.707	497,3	7,39	763,7	8,33	125,66	10,00	15,91	1.646,104	1,80	HP 310 x 110,0 (H)	
W 310 x 117,0 (H)	117,0	314	307	11,9	18,7	277	245	149,9	27.563	1.755,6	13,56	1.952,6	9.024	587,9	7,76	893,1	8,44	161,61	8,21	20,55	1.965,950	1,80	W 310 x 117,0 (H)	

Fonte: Gerdau, 2017.

W 310 x 107,0 (H)	107,0	311	306	10,9	17,0	277	245	136,4	24,839	1,597,3	13,49	1,788,2	8,123	530,9	7,72	806,1	8,41	122,86	9,00	22,48	1,754,271	1,80	W 310 x 107,0 (H)
HP 310 x 110,0 (H)	110,0	308	310	15,4	15,5	277	245	141,0	23,703	1,539,1	12,97	1,730,8	7,707	497,3	7,39	763,7	8,33	125,66	10,00	15,91	1,646,104	1,80	HP 310 x 110,0 (H)
W 310 x 117,0 (H)	117,0	314	307	11,9	18,7	277	245	149,9	27,563	1,755,6	13,56	1,952,8	9,024	587,9	7,76	893,1	8,44	161,61	8,21	20,55	1,965,950	1,80	W 310 x 117,0 (H)
HP 310 x 125,0 (H)	125,0	312	312	17,4	17,4	277	245	159,0	27,076	1,735,6	13,05	1,963,3	8,823	565,6	7,45	870,8	8,38	177,98	8,97	14,09	1,911,029	1,81	HP 310 x 125,0 (H)
W 360 x 32,9	32,9	349	127	5,8	8,5	332	308	42,1	8,358	479,0	14,09	547,8	291	45,9	2,63	72,0	3,20	9,15	7,47	53,10	84,111	1,17	W 360 x 32,9
W 360 x 39,0	39,0	353	128	6,5	10,7	332	308	50,2	10,331	585,3	14,35	687,7	375	58,6	2,73	91,9	3,27	15,83	5,96	47,32	109,551	1,18	W 360 x 39,0
W 360 x 44,0	44,0	352	171	6,9	9,8	332	308	57,7	12,258	696,5	14,58	784,3	818	95,7	3,77	148,0	4,43	16,70	8,72	44,70	209,091	1,35	W 360 x 44,0
W 360 x 51,0	51,0	355	171	7,2	11,8	332	308	64,8	14,222	801,2	14,81	899,5	968	113,3	3,87	174,7	4,49	24,65	7,37	42,75	284,994	1,36	W 360 x 51,0
W 360 x 57,8	57,8	358	172	7,9	13,1	332	308	72,5	16,143	901,8	14,92	1,014,8	1,113	129,4	3,92	199,8	4,53	34,45	6,56	38,96	330,394	1,37	W 360 x 57,8
W 360 x 64,0	64,0	347	203	7,7	13,5	320	288	81,7	17,890	1,031,1	14,80	1,145,5	1,885	185,7	4,80	284,5	5,44	44,57	7,52	37,40	523,362	1,46	W 360 x 64,0
W 360 x 72,0	72,0	350	204	8,8	15,1	320	288	91,3	20,189	1,152,5	14,86	1,285,9	2,140	208,8	4,84	321,8	5,47	61,18	6,75	33,47	599,082	1,47	W 360 x 72,0
W 360 x 79,0	79,0	354	205	9,4	16,8	320	288	101,2	22,713	1,283,2	14,98	1,437,0	2,416	235,7	4,89	361,9	5,51	82,41	6,10	30,88	685,701	1,48	W 360 x 79,0
W 360 x 91,0 (H)	91,0	353	254	9,5	16,4	320	288	115,9	26,755	1,515,9	15,19	1,680,1	4,483	353,0	6,22	538,1	6,90	92,61	7,74	30,34	1,268,709	1,68	W 360 x 91,0 (H)
W 360 x 101,0 (H)	101,0	357	255	10,5	18,3	320	288	129,5	30,279	1,896,3	15,29	1,888,9	5,063	397,1	6,25	606,1	6,93	128,47	6,97	27,28	1,450,410	1,68	W 360 x 101,0 (H)
W 360 x 110,0 (H)	110,0	360	256	11,4	19,9	320	288	140,8	33,155	1,841,9	15,36	2,059,3	5,570	435,2	6,29	684,5	6,96	161,93	6,43	25,28	1,609,070	1,69	W 360 x 110,0 (H)
W 360 x 122,0 (H)	122,0	363	257	13,0	21,7	320	288	155,3	36,599	2,016,5	15,35	2,269,8	6,147	478,4	6,29	732,4	6,98	212,70	5,92	22,12	1,787,806	1,70	W 360 x 122,0 (H)
W 410 x 38,8	38,8	399	140	6,4	8,8	381	357	50,3	12,777	640,5	15,94	736,8	404	57,7	2,83	90,9	3,49	11,89	7,95	55,84	153,190	1,32	W 410 x 38,8
W 410 x 46,1	46,1	403	140	7,0	11,2	381	357	59,2	15,690	778,7	16,27	891,1	514	73,4	2,95	115,2	3,55	20,06	6,25	50,94	196,571	1,33	W 410 x 46,1
W 410 x 53,0	53,0	403	177	7,5	10,9	381	357	68,4	18,734	929,7	16,55	1,052,2	1,009	114,0	3,84	176,9	4,56	23,38	8,12	47,63	387,194	1,48	W 410 x 53,0
W 410 x 60,0	60,0	407	178	7,7	12,8	381	357	76,2	21,707	1,068,7	16,88	1,201,5	1,205	135,4	3,98	209,2	4,65	33,78	6,95	46,42	467,404	1,49	W 410 x 60,0
W 410 x 67,0	67,0	410	179	8,8	14,4	381	357	86,3	24,678	1,203,8	16,91	1,362,7	1,379	154,1	4,00	239,0	4,67	48,11	6,22	40,59	538,546	1,50	W 410 x 67,0
W 410 x 75,0	75,0	413	180	9,7	16,0	381	357	95,8	27,816	1,337,3	16,98	1,518,6	1,559	173,2	4,03	269,1	4,70	65,21	5,63	36,80	612,784	1,51	W 410 x 75,0
W 410 x 85,0	85,0	417	181	10,9	18,2	381	357	108,6	31,658	1,518,4	17,07	1,731,7	1,804	198,3	4,08	310,4	4,74	94,48	4,97	32,72	715,165	1,52	W 410 x 85,0
W 460 x 52,0	52,0	450	152	7,8	10,8	428	404	66,6	21,370	949,8	17,91	1,095,9	834	83,5	3,09	131,7	3,79	21,79	7,04	53,21	304,837	1,47	W 460 x 52,0
W 460 x 60,0	60,0	455	153	8,0	13,3	428	404	76,2	25,652	1,127,6	18,35	1,292,1	796	104,1	3,23	163,4	3,89	34,60	5,75	50,55	387,230	1,49	W 460 x 60,0
W 460 x 68,0	68,0	459	154	9,1	15,4	428	404	87,6	29,851	1,300,7	18,46	1,495,4	941	122,2	3,28	192,4	3,93	52,29	5,00	44,42	461,163	1,50	W 460 x 68,0
W 460 x 74,0	74,0	457	190	9,0	14,5	428	404	94,9	33,415	1,462,4	18,77	1,657,4	1,681	174,8	4,18	271,3	4,93	52,97	6,55	44,89	811,417	1,64	W 460 x 74,0
W 460 x 82,0	82,0	460	191	9,9	16,0	428	404	104,7	37,157	1,615,5	18,84	1,836,4	1,862	195,0	4,22	303,3	4,96	70,62	5,97	40,81	915,745	1,64	W 460 x 82,0
W 460 x 89,0	89,0	463	192	10,5	17,7	428	404	114,1	41,105	1,775,6	18,98	2,019,4	2,093	218,0	4,28	339,0	5,01	92,49	5,42	38,44	1,035,073	1,65	W 460 x 89,0
W 460 x 97,0	97,0	466	193	11,4	19,0	428	404	123,4	44,658	1,916,7	19,03	2,187,4	2,283	236,6	4,30	368,8	5,03	115,05	5,08	35,44	1,137,180	1,66	W 460 x 97,0
W 460 x 106,0	106,0	469	194	12,6	20,6	428	404	135,1	48,978	2,088,6	19,04	2,394,8	2,515	259,3	4,32	405,7	5,05	148,19	4,71	32,05	1,260,063	1,67	W 460 x 106,0
W 530 x 66,0	66,0	525	165	8,9	11,4	502	478	83,6	34,971	1,332,2	20,46	1,558,0	857	103,9	3,20	168,0	4,02	31,52	7,24	53,73	562,854	1,67	W 530 x 66,0
W 530 x 72,0	72,0	524	207	9,0	10,9	502	478	91,6	39,989	1,525,5	20,89	1,755,9	1,615	158,0	4,20	244,8	5,16	33,41	9,50	53,13	1,060,548	1,84	W 530 x 72,0
W 530 x 74,0	74,0	529	166	9,7	13,6	502	478	95,1	40,989	1,548,9	20,76	1,804,9	1,041	125,5	3,31	200,1	4,10	47,39	6,10	49,26	688,558	1,68	W 530 x 74,0
W 530 x 82,0	82,0	528	209	9,5	13,3	501	477	104,5	47,589	1,801,8	21,34	2,058,5	2,028	194,1	4,41	302,7	5,31	51,23	7,86	50,25	1,340,255	1,85	W 530 x 82,0
W 530 x 85,0	85,0	535	168	10,3	16,5	502	478	107,7	48,453	1,811,3	21,21	2,099,8	1,263	152,2	3,42	241,6	4,17	72,93	5,03	46,41	845,463	1,89	W 530 x 85,0
W 530 x 92,0	92,0	533	209	10,2	15,6	502	478	117,6	55,157	2,069,7	21,65	2,369,8	2,379	227,6	4,50	354,7	5,36	75,50	6,70	46,84	1,588,565	1,86	W 530 x 92,0
W 530 x 101,0	101,0	537	210	10,9	17,4	502	470	130,0	62,196	2,316,5	21,87	2,640,4	2,693	256,5	4,55	400,6	5,40	106,04	6,03	43,14	1,812,734	1,86	W 530 x 101,0
W 530 x 109,0	109,0	539	211	11,6	18,8	501	469	139,7	67,226	2,494,5	21,94	2,847,0	2,952	279,8	4,60	437,4	5,44	131,38	5,61	40,47	1,991,291	1,87	W 530 x 109,0
W 610 x 101,0	101,0	603	228	10,5	14,9	573	541	130,3	77,003	2,554,0	24,31	2,922,7	2,951	258,8	4,76	405,0	5,76	81,68	7,65	51,54	2,544,966	2,07	W 610 x 101,0
W 610 x 113,0	113,0	608	228	11,2	17,3	573	541	145,3	88,196	2,901,2	24,84	3,312,9	3,426	300,5	4,86	469,7	5,82	116,50	6,59	46,34	2,981,078	2,08	W 610 x 113,0
W 610 x 125,0	125,0	612	229	11,9	19,6	573	541	160,1	99,184	3,241,3	24,89	3,697,3	3,933	343,5	4,96	536,3	5,89	159,50	5,84	45,45	3,441,786	2,09	W 610 x 125,0
W 610 x 140,0	140,0	617	230	13,1	22,2	573	541	179,3	112,619	3,650,5	25,06	4,173,1	4,515	392,6	5,02	614,0	5,94	225,01	5,18	41,27	3,981,687	2,10	W 610 x 140,0
W 610 x 155,0	155,0	611	324	12,7	19,0	573	541	198,1	129,583	4,241,7	25,58	4,749,1	10,783	665,6	7,38	1,022,6	6,53	200,77	8,53	42,60	9,436,714	2,47	W 610 x 155,0
W 610 x 174,0	174,0	616	325	14,0	21,6	573	541	222,8	147,754	4,797,2	25,75	5,383,3	12,374	761,5	7,45	1,171,1	6,58	268,88	7,52	38,63	10,915,665	2,48	W 610 x 174,0

Fonte: Gerdau, 2017.