

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS ESCOLA
SUPERIOR DE TECNOLOGIA ENGENHARIA
MECÂNICA

DIMENSIONAMENTO DA VIGA PRINCIPAL DA PONTE
ROLANTE PARA MOVIMENTAÇÃO DE OBJETOS DE
FERRAMENTAL

Aluno: Cauê Lima Fortunato da Silva

Orientador: Prof. Doutor Hugo Mario Tavares Junior

MANAUS – 2022

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONASESOLA
SUPERIOR DE TECNOLOGIA ENGENHARIA
MECÂNICA

DIMENSIONAMENTO DA VIGA PRINCIPAL DA PONTE
ROLANTE PARA MOVIMENTAÇÃO DE OBJETOS DE
FERRAMENTAL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica da Universidade
Estadual do Amazonas (UEA), como
requisito final para obtenção do grau de
Engenheiro Mecânico.

MANAUS – 2022

CAUÊ LIMA FORTUNATO DA SILVA

DIMENSIONAMENTO DA VIGA PRINCIPAL
DA PONTE ROLANTE PARA
MOVIMENTAÇÃO DE OBJETOS DE
FERRAMENTAL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de
Graduação em Engenharia
Mecânica da Universidade
Estadual do Amazonas (UEA),
como requisito final para obtenção
do grau de Engenheiro Mecânico.

Nota Obtida: 10,0 (DEZ VÍRGULA ZERO)

Aprovada em 31/05/2022

BANCA EXAMINADORA



Orientador: Prof. Hugo Mario Tavares Junior, Dr.



Avaliador: Prof. Arlindo Pires Lopes, Phd



Avaliador: Prof. Gabriel Federico Rivero Llerena, Dr.

RESUMO

Pontes rolantes são equipamentos utilizados para a movimentação de objetos que, em geral, possuem grandes volumes ou que sejam muito pesados. Ela é composta de: 1) dois trilhos paralelos assentados em vigas longitudinais opostas que, por sua vez, estão apoiadas em pilares; 2) viga principal (viga móvel) que atravessa o vão; e 3) talha, equipamento que permite elevar ou baixar um objeto. Desse modo, a operação cinemática se dá nas direções longitudinal, transversal e vertical e pode ser realizada em ciclos. Neste trabalho apresenta-se o dimensionamento da viga principal da ponte rolante para movimentação de moldes e ferramentas para a limpeza do material na oficina. O procedimento de cálculo estrutural é baseado nas normas NBR 8400 (ABNT NBR 8400:1984) e NBR 8800 (ABNT NBR 8800:2008). A NBR 8400 estabelece diretrizes básicas para o cálculo das partes estruturais e componentes mecânicos dos equipamentos de levantamento e movimentação de cargas; enquanto que a NBR 8800 regulamenta projeto de estruturas de aço.

Palavras chaves: Ponte rolante, Cálculo estrutural, Movimentação de carga.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Ponte rolantes para movimentação de grandes cargas.....	5
Figura 2 - Vista superior área de movimentação dos objetos	6
Figura 3 - Vista lateral da área de movimentação	6
Figura 4 - Viga Principal da ponte rolante.....	7
Figura 5 - Cabeceira.....	7
Figura 6 - Carro da ponte rolante.....	8
Figura 7 - Talha	9
Figura 8 - Univiga de uma ponte rolante	9
Figura 9 - bi viga de uma ponte rolante	9
Figura 10 - Fluxograma de metodologia aplicada	12
Figura 11– Viga principal da ponte rolante com carga no meio da estrutura	22
Figura 12– Diagrama de corpo livre com carga no meio da estrutura.....	23
Figura 13- Viga principal da ponte rolante com carga na extremidade da estrutura.....	24
Figura 14- Diagrama de corpo livre com carga na extremidade da estrutura	25
Figura 15 - Tabela de perfis comercial Guerdal	27

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Classes de utilização do equipamento	13
Tabela 2 – Estado de tensões de um elemento	14
Tabela 3 – Classificação da estrutura dos equipamentos	16
Tabela 4 – Valores do coeficiente de majoração para equipamentos industriais	17
Tabela 5 – Valores do coeficiente dinâmico	17
Tabela 6 – Classe de funcionamento.....	18
Tabela 7 – Estado de solicitações dos mecanismos	19
Tabela 8 – Grupo dos mecanismos	19
Tabela 9 – Valores de q	20
Tabela 10 – tensões admissíveis simples	26
Tabela 11– Valores limites de λ	32
Tabela 12– Valores dos coeficientes de ponderação das resistências	33
Tabela 13 - Comparativo de valor de trabalho vs valor admissível	34

SUMARIO

1	Introdução	5
2	Pontes rolantes.....	7
2.1	Componentes principais de uma ponte rolante	7
2.2	Tipo de viga principal	9
2.3	Aspectos do funcionamento das pontes rolantes	10
2.3.1	Movimentação de cargas	10
2.3.2	Máquinas de elevação de transporte	10
3	Dimensionamento	12
3.1	Norma para o projeto	13
3.2	Classe de utilização do equipamento	13
3.3	Estado de tensões	13
3.4	Definições utilizadas pela norma	14
3.4.1	Carga útil.....	14
3.4.2	Carga de serviço.....	14
3.4.3	Turno.....	15
3.5	Características do problema	15
3.5.1	Frequência de movimentação	15
3.5.2	Dimensões da carga	15
3.5.3	Tempo para realizar a movimentação.....	15
3.5.4	Carga nominal.....	15
3.5.5	Altura de elevação	15
3.5.6	Velocidade de elevação	15
3.5.7	Velocidade de deslocamento	15
3.6	Classificação do problema segundo NBR 8400.....	15
3.6.1	Classe de utilização de cargas	15
3.6.2	Estado de tensões	16
3.6.3	Classificação da estrutura dos equipamentos e coeficientes de majoração	16
3.6.4	Determinação do coeficiente dinâmico	17
3.6.5	Classe de funcionamento	18
3.6.6	Classificação do estado de solicitação	18

3.6.7 Grupo de mecanismos	19
3.6.8 Determinação do coeficiente q	19
3.6.9 Determinação dos casos de solicitação	20
3.7 Determinação das solicitações do problema.....	20
3.7.1 Cálculo da carga	20
3.7.2 Cálculo do momento fletor	21
3.8 Dimensionamento da viga	25
3.8.1 Determinando o módulo de resistência à flexão	26
3.8.2 Teste a tensão de cisalhamento	29
3.8.3 Tensão de cisalhamento de trabalho	29
3.8.4 Deslocamento máximo	30
3.8.5 Flambagem local	31
4 Conclusão.....	35
5 Referência.....	36

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico da indústria, um problema encontrado foi quanto a movimentação de cargas. Em 1830 surge a primeira ponte rolante como equipamento capaz de realizar a esse tipo de operação, e em 1840 iniciou-se a produção em larga escala, e ao longo da evolução da industrial este equipamento acompanhou a evolução, sendo atualmente, capaz de realizar a movimentação de cargas nas 3 direções espaciais e com diferentes massas e dimensões (projetado de acordo com necessidade de atendimento de processo), sendo encontrado em diferentes aplicabilidades, como oficinas mecânicas, galpão de logística, movimentação de produtos e matéria prima entre outros.

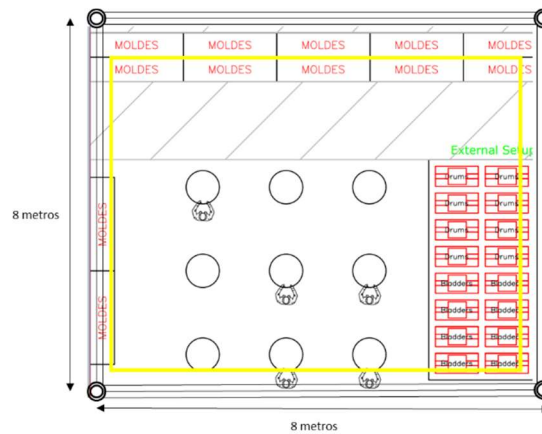
Figura 1 - Ponte rolantes para movimentação de grandes cargas



Disponível em: <<https://www.institutosc.com.br/web/blog/6-cuidados-necessarios-para-operar-pontes-rolantes>>. Acesso em: 26/03/2022

Em uma empresa hipotética do Polo Industrial de Manaus, no segmento de fabricação de pneus, existe uma oficina, com área de atuação conforme desenho abaixo, para a limpeza de material ferramental e moldes. Os objetos a serem movimentados têm massa variando entre 200 kg e 1000 kg, sendo necessário realizar esta operação em todos os dias da semana por 24h.

Figura 2 - Vista superior área de movimentação dos objetos



Fonte : Autor (2022)

Em amarelo, de movimentação dos objetos, com dimensão de 6x6 metros.

Figura 3 - Vista lateral da área de movimentação



Fonte: Autor (2022)

Neste trabalho propõe-se uma ponte rolante para solucionar a movimentação destas cargas na área de 8x8 m da oficina. Além disso, dimensiona-se a viga principal para suportar as cargas impostas na movimentação de acordo com as normas NBR 8400 (ABNT NBR 8400:1984) e NBR 8800 (ABNT NBR 8800:2008).

2. PONTES ROLANTES

2.1 COMPONENTES PRINCIPAIS DE UMA PONTE ROLANTE

Pontes rolantes são compostas de diversos elementos, com variadas funções. Cada elemento citado abaixo representa uma função e deve ser dimensionado para o cenário que está sendo implementado na ponte rolante.

Viga principal (viga móvel): elemento estrutural onde é concentrado a força aplicada, pois é o elemento que é percorrido pelo carro. O componente deve ser suportar todo esforço exercido sem sofrer ruptura e deformação excessiva, que comprometeria o funcionamento.

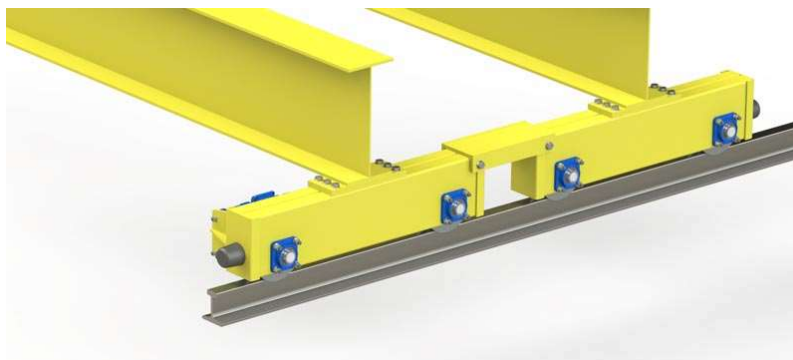
Figura 4 - Viga Principal da ponte rolante



Disponível em: <http://www.csm.ind.br/wp-content/uploads/sites/18/2016/12/ponte-rolante-csm-galpao.jpg> . Acesso em: 26/03/2022

Cabeceiras: elemento localizado nas extremidades da viga principal, onde se encontram rodas apoiadas sobre os trilhos, responsáveis por guiar a translação horizontal da viga principal.

Figura 5 - Cabeceira



Disponível em: <<https://www.moviservi.com.br/produto/cabeceira/>>. Acesso em:

24/02/2022

Carro: acoplado à viga principal, é o dispositivo responsável pela movimentação dos objetos na transversal e vertical da ponte rolante. Nele se encontra a talha anexada.

Figura 6 - Carro da ponte rolante



Disponível em: <<https://www.hovam.com.br/trolley-para-talha-eletrica-hovam>>. Acesso em: 24/02/2022

Talha: Dispositivo acoplado ao carro, responsável pela elevação da carga, com os principais componentes sendo um tambor para o recolhimento do cabo e algum tipo de dispositivo para fixação da carga (podendo ser em formato de gancho, rede etc.).

Figura 7 - Talha



Disponível em: <<https://montekpontesrolantes.com.br/produtos/talhas-eletricas-de-cabo-de-aco/>>. Acesso em: 24/02/2022

2.2 TIPOS DE VIGA PRINCIPAL

Viga principal uni viga

Como o próprio nome sugere, trata-se de uma única viga, bi apoiada, normalmente utilizada para movimentação de menor porte, sendo comum ser encontrada em serralherias, oficinas mecânicas etc.

Figura 8 - Univiga de uma ponte rolante



Disponível em: <<https://www.bravometal.com/caminho-de-rolamento/>>.

Acesso em: 24/02/2022

Ponte rolante bi viga

Estrutura com duas vigas com o carro apoiado nas duas estruturas, suportando cargas maiores superiores, normalmente encontrada em setor de logística para movimentação de material de grande porte.

Figura 9 - bi viga de uma ponte rolante



Disponível em: <<https://www.brevil.ind.br/produto/ponte-rolante-biviga>>. Acesso em:

24/02/2022

2.3 ASPECTOS DO FUNCIONAMENTO DAS PONTES ROLANTES

2.3.1 Movimentação de cargas

O que é?

É uma operação utilizada para deslocar cargas de um ponto de saída até o destino, com auxílio de maquinário, equipamentos e até mesmo manualmente.

Onde é aplicada?

Em diversos ramos do setor produtivo, podendo ser aplicada em canteiros de construções cíveis, movimentação em estoques e armazéns e até movimentação do produto final.

Como é feita?

Majoritariamente, realizada a operação com auxílio de maquinário e equipamentos próprios para tal serviço, tais como pontes rolantes, caminhões “munk”, empilhadeiras etc. Para ser realizada a movimentação é imprescindível a segurança da carga e das pessoas em volta, sendo fundamento que o equipamento que está realizando a operação seja capaz de realizar com controle e precisão.

Facilitando o transporte do material, sendo capaz de minimizar tempo gasto com a operação e esforço físico. Para Passos (2011), a movimentação de cargas torna-se indiscutível para o desenvolvimento

humano, tanto para implementação de grandes obras ou para realização de trabalhos.

2.3.2 Máquinas de elevação e transporte

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.

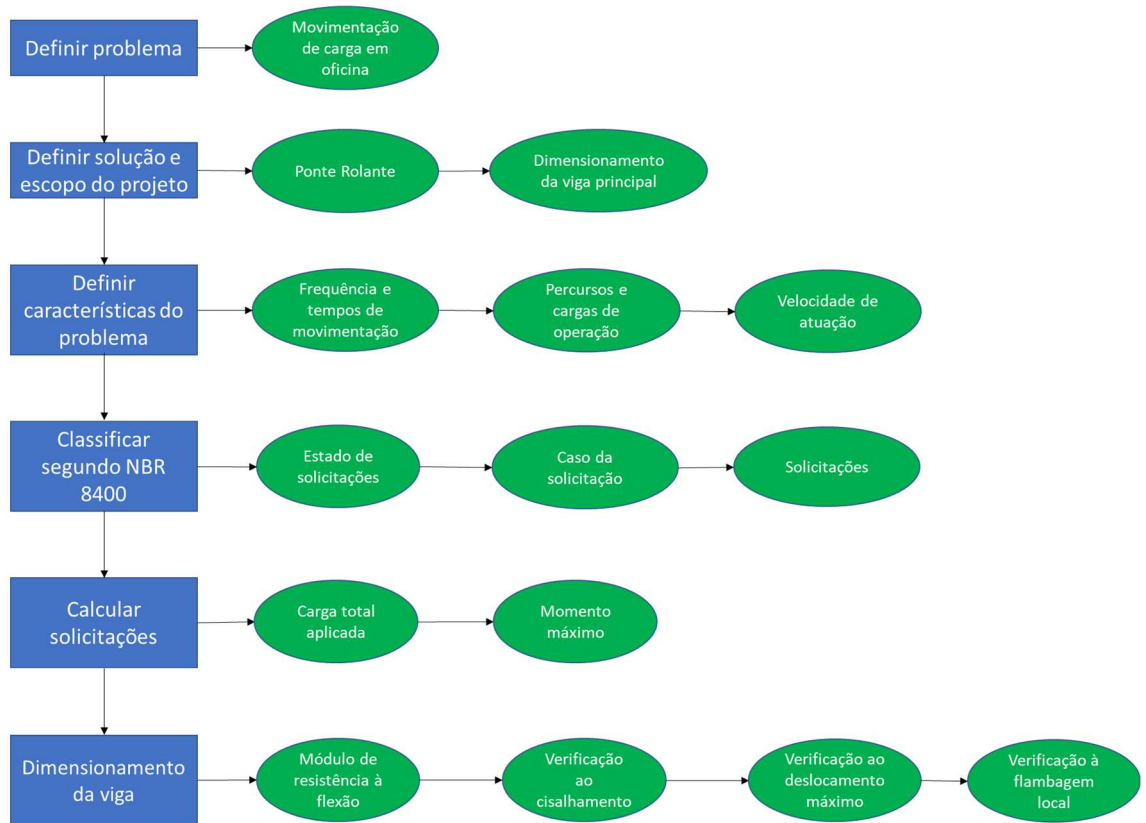
Grupo de mecanismos projetado para elevar e movimentar as cargas, sendo capaz de realizar operações periódicas, dependendo de sua aplicação.

Movimentações realizadas na horizontal e vertical de materiais dentro de diversos ramos da indústria, realizadas com agilidade e precisão, mostram que estes equipamentos são primordiais para o avanço do mercado no global.

3 DIMENSIONAMENTO

Para projetar a viga principal é necessário definir o escopo de atendimento do processo no qual o dispositivo irá atuar. Será levantado dados de dimensões do material que será movimentado, tempos de atuação, percurso e área de atuação, e cargas transportadas. O trabalho visa dimensionar a viga principal do equipamento atendendo requisitos estabelecidos, com segurança, com a menor quantidade de material possível, tendo em vista o custo alto atrelado ao aço para confecção do mesmo. Para realizar este trabalho, seguiremos o fluxograma abaixo:

Figura 10 - Fluxograma de metodologia aplicada



Fonte: Autor (2022)

O fluxo principal em azul, representa macro etapas para o andamento do projeto, em verde são decisões, testes e cálculos necessários para cada macro etapa.

Neste projeto definimos a solução para o problema, e escopo de estudo. Após isto iremos definir características necessárias de atendimento, classificação segundo a NBR 8400, calcular solicitações aplicadas e por fim iremos dimensionar a viga seguindo a NBR 8800.

3.1 NORMA PARA O PROJETO

Para o dimensionamento do dispositivo neste trabalho, será utilizado como base a norma ABNT NBR 8400 - Cálculo de equipamento para elevação e movimentação de cargas. Norma está, que estabelece para o projeto diretrizes bases para o cálculo do dimensionamento mínimo de cada componente do dispositivo, com o objetivo de garantir a funcionalidade e segurança do mesmo.

3.2 CLASSE DE UTILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO

A classe de utilização de cargas é uma estimativa de número de ciclos que será realizada pela estrutura ao longo de sua vida útil.

Número convencional de ciclos de levantamento (N_x)

$$N_x = \frac{\text{Número de ciclos}}{\text{hora}} * \frac{\text{Horas de jornada}}{\text{dia}} * \frac{\text{dias de utilização}}{\text{ano}} * \text{Tempo de vida esperado}$$

Tabela 1 - Classes de utilização do equipamento

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

Fonte: ABNT 8400 1984

A tabela 1 classifica a classe de utilização do equipamento estudado, de acordo com o número de ciclos de levantamento de carga.

3.3 ESTADO DE TENSÕES

Estado de tensão é a proporção com que o equipamento executa sua tarefa com a carga máxima ao longo de sua vida útil.

Tabela 2 – Estado de tensões de um elemento

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 $1/3$ 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 8400:1984

A tabela 2 relaciona o estado de carga com a frequência de levantamento da fração de carga máxima. O estado de carga 0 (muito leve), irá comumente levantar cargas muito reduzidas e excepcionalmente a carga nominal, e o estado de carga 3 (pesado), irá trabalhar regularmente com carga nominal do equipamento.

3.4 DEFINIÇÕES UTILIZADAS PELA NORMA

A norma estabelece a definição de alguns termos utilizados para o dimensionamento.

3.4.1 Carga Útil

Carga que é sustentada pelo gancho ou outro elemento de içamento.

3.4.2 Carga de Serviço

Carga útil acrescida da carga dos acessórios de içamento (moitão, gancho, caçamba).

3.4.3 Turno

Período de 8 h de trabalho.

3.5 CARACTERÍSTICA DO PROBLEMA

3.5.1 Frequência da Movimentação

A talha realiza movimentação em torno do perímetro indicado a cada 30 min, sem pausas.

3.5.2 Dimensões da Carga

As cargas que serão movimentadas têm a dimensão de 1000x1000 mm.

3.5.3 Tempo Para Realizar a Movimentação

A operação de limpeza do material citado, leva cerca de 26 min, é necessário considerar que a talha percorra a distância de 17 metros em 4 min (2 min para ida e 2 min para volta)

3.5.4 Carga Nominal

A carga de nominal será 1000 kg.

3.5.5 Altura de Elevação

A altura de elevação será de 4 metros.

3.5.6 Velocidade de Elevação

A velocidade de elevação será de 0,16 m/s.

3.5.7 Velocidade de Deslocamento

A velocidade de deslocamento será de 0,5 m/s.

Os dados foram levantados de acordo com a necessidade de atendimento do serviço e do tempo necessário para realizar a atividade.

3.6 CLASSIFICAÇÃO DO PROBLEMA SEGUNDO A NBR 8400

3.6.1 Classe de Utilização de Cargas

A estrutura, irá realizar a operação 4 vezes por hora, em uma jornada de 21 horas no dia, durante 355 dias no ano e com um tempo de vida esperado de 15 anos, logo:

$$N_x = 4,46 * 10^5 \text{ Ciclos}$$

Pela tabela 1, de classe de utilização, o protótipo se enquadra na classe de utilização C, com até $6,3 * 10^5$ ciclos.

3.6.2 Estado de Tensões

Para esta situação, trabalharemos 35 vezes por dia (do total de 84 vezes por dia), com carga de 200 kg, o restante das operações, será realizada com carga nominal de 1000 kg.

$$\text{Carga média} = \frac{25 * 200 + 1000 * 59}{84} = 762kg$$

Logo, a carga média esperada para utilização da estrutura é de 762 kg, onde se classifica segundo a tabela 2 como estado de carga 3 (pesado).

3.6.3 Classificação da Estrutura dos Equipamentos e Coeficiente de Majoração

Levando em conta a classe de utilização de cargas e estado de tensões, podemos determinar a classificação da estrutura, em seu devido grupo, para então estabelecer o coeficiente de majoração.

Tabela 3 – Classificação da estrutura dos equipamentos

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

Fonte: ABNT 8400 1984

Com classe de utilização C e estado de carga 3, temos que a classificação da estrutura do equipamento é do grupo 6.

Determinado então o coeficiente de majoração, para equipamentos industriais, que por sua vez caracteriza o dimensionamento da estrutura.

Tabela 4 – Valores do coeficiente de majoração para equipamentos industriais

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

Fonte: ABNT 8400 1984.

Logo,

$$M_x = 1,2$$

3.6.4 Determinação do Coeficiente Dinâmico

Proveniente de içamento brusco de cargas de serviço e de choques verticais devido o movimento realizado, multiplica-se as solicitações, por um fator de coeficiente dinâmico (ψ). Determinação do coeficiente dinâmico, será determinado levando em conta a velocidade de elevação da carga, citada acima, de 0,16 m/s.

Tabela 5 – Valores do coeficiente dinâmico

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

Fonte: ABNT 8400 1984

Como o problema se trata de pontes rolantes e a velocidade de elevação de carga está entre 0 e 0,25 m/s, teremos que o coeficiente dinâmico será:

$$\psi = 1,15$$

3.6.5 Classe de Funcionamento

O enquadramento da sua classe de funcionamento se dá pelo tempo médio de funcionamento diário (h) – o equipamento só é considerado em funcionamento quando está de fato em operação.

Tabela 6 – 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	$0,5 < t_m \leq 1$	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	$t_m \geq 16$	50000

Fonte: ABNT 8400 1984

Segundo a necessidade do cliente, a operação irá ocorrer a cada 30 minutos durante 4 minutos (2 minutos de ida e 2 minutos de retorno para posição inicial), em um período de 21 horas no dia. Logo, teremos um tempo médio diário estimado de 2,8 horas, sendo a classe de funcionamento V2.

3.6.6 Classificação do Estado de Solicitação

De acordo com a proporção que o mecanismo é submetido a sua solicitação máxima.

Tabela 7 – Estado de solicitações dos mecanismos

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

Fonte: ABNT 8400:1984

A operação será na maior parte das vezes, com carga máxima ou próximas da máxima. Tendo isto em vista, o estado de solicitação será 3.

3.6.7 Grupo dos Mecanismos

A partir das classes de funcionamento e dos estados de solicitação, classifica-se os mecanismos em grupos.

Tabela 8 – Grupo dos mecanismos

Estado de solicitação	Classes de funcionamento						
	V 0,5	V 0,5	V 1	V 2	V 3	V 4	V 5
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 8400:1984

Com estado de solicitação 3 e classe de funcionamento V 2, temos o grupo de mecanismo 3m.

3.6.8 Determinação do Coeficiente q

O coeficiente é proposto para minimizar a possibilidade de a tensão ultrapassar a tensão calculada, por erros de cálculos e imprevistos.

Tabela 9 – Valores de q

Grupos de mecanismos	q
1 Bm	1
1Am	1
2 m	1,12
3 m	1,25
4 m	1,4
5 m	1,6

Fonte: ABNT 8400:1984

Com o grupo definido como 3 m, o q será 1,25.

3.6.9 Determinação dos casos de solicitação

3.6.9.1 Caso I – Serviço normal sem vento

3.6.9.2 Caso II – Serviço normal com vento limite de serviço

3.6.9.3 Caso III – Solicitações excepcionais

Para este caso, como será uma ponte rolante é um local abrigado, vamos considerar o caso I.

3.7 DETERMINAÇÃO DAS SOLICITAÇÕES DO PROBLEMA

3.7.1 Cálculo da carga

Para o cálculo da carga total (C), seguindo a norma NBR8400, desconsiderando o esforço aerodinâmico, pela estrutura estar abrigada e o esforço de oscilação horizontal desconsiderado por sistema possuir sistema de freios

$$C = M_x(S_G + \psi S_L + S_H) + S_W$$

Onde:

C – Carga total

S_G – Solicitações devido ao peso próprio

S_L – Solicitações de carga de serviço

S_H – Solicitações horizontais

S_W – Solicitações devido ao efeito do vento

Ψ – Coeficiente dinâmico

M_x – Coeficiente de majoração

Para carga do sistema da talha, foi considerado uma talha comercial com massa de 200 kg.

$$C = 1,2(200 + \psi * 1200)$$

Logo:

$$C = 1896 \text{ kg}$$

Cálculo da força aplicada sobre a viga

$$F = C * g$$

Onde:

F – Força aplicada na viga

C – Carga total

g – Gravidade

$$F = 1896 \text{ [kg]} * 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$F = 1896 \text{ [kg]} * 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

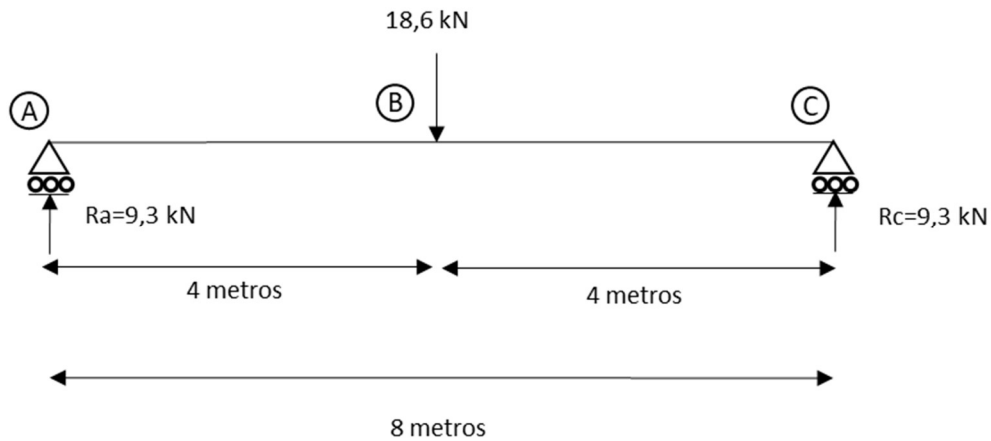
$$F = 18,6 \text{ [kN]}$$

3.7.2 Cálculo do Momento Fletor

Será simulado dois cenários, primeiro com força aplicada no meio da estrutura e o segundo cenário com a força aplicada na extremidade da estrutura, a partir disso, será avaliado a posição menos favorável para estrutura.

3.7.2.1 Força no Meio da Estrutura

Figura 11– Viga principal da ponte rolante com força aplicada no meio da estrutura



Fonte: Autor (2022)

Reações de apoio:

Para o cálculo das reações de apoio, utilizaremos as equações de equilíbrio. Onde $\sum M^A$ será o somatório de momento em torno do ponto "A" precisa ser igual a 0 e $\sum F_y$ será o somatório de força no eixo "Y" precisa ser igual a 0.

$$\sum M^A = 0$$

$$R_c * 8 - 18,6 * 4 = 0$$

$$R_c = 9,3 \text{ kN}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + 9,3 - 18,6 = 0$$

$$R_A = 9,3 \text{ kN}$$

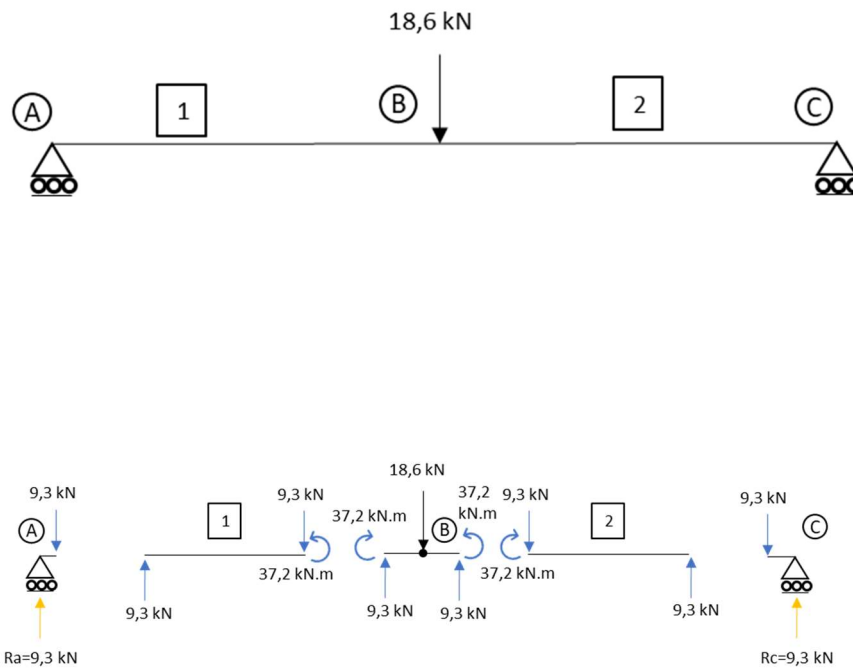
Onde:

R_c – Reação de apoio do ponto C

R_A – Reação de apoio do ponto A

Diagrama de corpo livre

Figura 12– Diagrama de corpo livre com força aplicada no meio da estrutura



Fonte: Autor (2022)

Equações de momento fletor

a) Elemento 1

$$M_{ab} = 9,3 * x$$

Onde:

M_{ab} – momento fletor em função do x

x – posição a longo do intervalo ab

Com o x variando entre 0 e 4

b) Elemento 2

$$M_{bc} = 37,2 - 9,3 * x$$

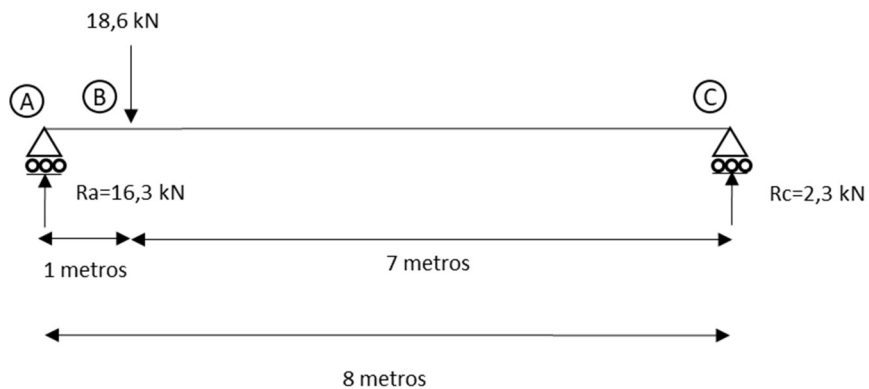
M_{bc} – momento fletor em função do x

x – posição a longo do intervalo bc

Com o x variando entre 0 e 4

3.7.2.2 Força na Extremidade da Estrutura

Figura 13- Viga principal da ponte rolante com força aplicada na extremidade da estrutura



Autor (2022)

Reações de apoio:

$$\sum M^A = 0$$

$$R_c * 8 - 18,6 * 1 = 0$$

$$R_c = 2,3 \text{ kN}$$

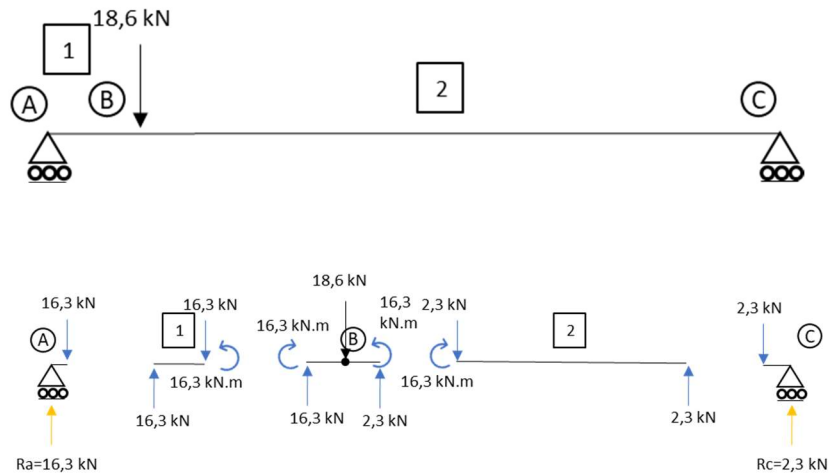
$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + 2,3 - 18,6 = 0$$

$$R_A = 16,3 \text{ kN}$$

Diagrama de corpo livre

Figura 14- Diagrama de corpo livre com força aplicada na extremidade da estrutura



Fonte: Autor (2022)

Equações de momento fletor

a) Elemento 1

$$M_{ab} = 16,3 * x$$

Com o x variando entre 0 e 1

b) Elemento 2

$$M_{bc} = 16,3 - 2,3 * x$$

Com o x variando entre 0 e 7

Após o cálculo das reações e encontrada as equações de esforço cortante e momento fletor, encontramos que para o momento fletor, a situação que exige mais é no meio da estrutura, com um momento máximo de 37,2 kN.m.

3.8 DIMENSIONAMENTO DA VIGA

Para o dimensionamento da viga, utilizaremos a norma NBR 8400:2008 e NBR 8800:2008. Foi selecionado o aço ASMT A572 grau 50, com tensão de escoamento (σ_e) de 345 MPa

3.8.1 Determinando Módulo de Resistência à Flexão

Iremos encontrar o módulo de resistência à flexão inicial, estabelecer um perfil de atendimento mínimo para atendimento, encontrando a massa da própria viga para o correto dimensionamento

$$W_{min} = \frac{|M_{m\acute{a}x}|}{\sigma_{adm}}$$

Onde:

W_{min} – módulo de resistência mínimo

$M_{m\acute{a}x}$ – Momento máximo

σ_{adm} – tensão admissível

Como citado no item 3.6.7, temos um caso de estrutura classificada como caso I (para serviços normais sem vento). Segundo a NBR 8400:1984, para encontramos o valor de tensão admissível temos a seguinte relação para cada caso:

Tabela 10 – tensões admissíveis simples

Casos de solicitação	Caso I	Caso II	Caso III
Tensão admissível σ_{adm}	$\sigma_e/1,5$	$\sigma_e/1,33$	$\sigma_e/1,1$

Fonte: ABNT 8400:1984

Logo, temos que

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_e}{1,5}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_e}{1,5}$$

$$W_{min} = \frac{|M_{m\acute{a}x}|}{\sigma_{adm}}$$

$$W_{min} = \frac{37,2 * 10^3 [N.m]}{230 * 10^6 [\frac{N}{m^2}]}$$

$$W_{min} = \frac{37,2 * 10^6 [N.mm]}{230 [\frac{N}{mm^2}]}$$

$$W_{min} = 161,17 * 10^3 mm^3$$

Determinado o m3dulo de resist4ncia m3nimo inicial, selecionaremos o perfil, na tabela de perfis comerciais da Gerdau.

Figura 15 - Tabela de perfis comercial Gerdal

Bitola mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b _y mm	Espessura		h mm	d' mm	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r _t cm	I _t cm ⁴	Esbeltez		C _r cm ⁶	u m ³ /m
				t _q mm	t _s mm				I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm	Z _y cm ³			ABA - λ _y b _y /2t _r	ABA - λ _w d'/2t _w		
				W 310 x 28,3	28,3				309	102	6,0	8,9	291	271	36,5	5.500			356,0	12,28		
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 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 44,5	44,5	313	166	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 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
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	1210,1	5.258	343,7	7,25	525,4	8,20	46,72	13,91	22,27	1.089.258	1,77
HP 310 x 93,0 (H)	93,0	303	308	13,1	13,1	277	245	119,2	19.682	1.299,1	12,85	1450,3	6.387	414,7	7,32	635,5	8,26	77,33	11,76	18,69	1.340.320	1,78
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	1594,2	7.286	477,8	7,68	725,0	8,38	92,12	9,90	24,77	1.558.682	1,79

Fonte: Gerdau a3o minas, adaptada pelo autor (2022)

Massa da viga: 22,5 kg /m

For3a uniformemente distribu3da ser3 a massa da viga por metro vezes a gravidade adotada com 9,81 m/s²

For3a uniformemente distribu3da (q) = 220,7 N/m

A partir disto, encontraremos um novo módulo de resistência a flexão mínimo, dado por:

$$W_{min} = \frac{|M_{m\acute{a}x}|}{\sigma_{adm}} = \frac{\gamma}{\sigma_{adm}} \left(\frac{P * L}{4} + \frac{q * L^2}{8} \right)$$

Onde:

$M_{m\acute{a}x}$ – Momento máximo da viga.

P – Força aplicada na viga pela carga içada

L – Comprimento total da viga

q – Força Uniformemente distribuída

γ – Fator de segurança (adotado de 1,2)

$$W_{min} = \frac{1,2}{230} \left(\frac{18,6 * 10^3 * 8}{4} + \frac{220,7 * 8^2}{8} \right)$$

$$W_{min} = \frac{1,2}{300} \left(\frac{18,6 * 10^3 * 8}{4} + \frac{175,6 * 8^2}{8} \right)$$

$$W_{min} = 203,3 * 10^3 \text{ mm}^3$$

Com o módulo de resistência a flexão, selecionaremos o perfil com menor massa por metro, respeitando seu modulo, e será testado se o perfil atende a tensão de cisalhamento admissível, o deslocamento máximo e o a flambagem lateral.

Escolhido o perfil W310 x 38,7, da tabela de perfis comercial da Gerdau.

3.8.2 Teste a Tensão de Cisalhamento

Segundo a norma NBR 8400:1984, elementos solicitados ao cisalhamento puro, a tensão admissível ao cisalhamento é dada pela fórmula:

$$\tau_a = \frac{\sigma_{adm}}{\sqrt{3}}$$

$$\tau_a = \frac{230}{\sqrt{3}}$$

$$\tau_a = 132,8 \text{ MPa}$$

Onde:

τ_a – Tensão admissível ao cisalhamento

3.8.3 Tensão de Cisalhamento de Trabalho

$$\tau_{cisx} = \frac{|V_{max}|}{A_{alma}}$$

Onde:

τ_{cisx} – Tensão de trabalho de cisalhamento

V_{max} – Esforço cortante máximo

A_{alma} – Área da alma

$$\tau_{cisx} = \gamma * \frac{1}{A_{alma}} * \left(\frac{P}{2} + \frac{q * L}{2} \right)$$

$$\tau_{cisx} = 12,1 \text{ MPa}$$

$\tau_{cisx} < \tau_a$ com a tensão de cisalhamento de trabalho respeitando a tensão de cisalhamento admissível. Viga aprovada em análise da tensão de cisalhamento.

3.8.4 Deslocamento Máximo

Segundo a norma NBR 8800:2008, para o caso de pontes rolantes com capacidade inferior a 200 kN, temos um deslocamento máximo permitido.

$$\delta_{max} = \frac{L}{600}$$

Tal que temos o $L = 8000$ mm, logo o deslocamento máximo permitido para este caso será de 20 mm.

$$\delta_{max} = 13,33 \text{ mm}$$

O deslocamento de trabalho, pode ser encontrado através da equação, utilizando a carga de trabalho que será içada e a carga referente a massa da própria viga:

$$\delta = \frac{P * L^3}{48 * E * I} + \frac{q * L^4}{384 * E * I}$$

Onde:

P – Força aplicada na estrutura

q – Força uniformemente distribuída

L – Comprimento da viga analisada

E – Modulo de elasticidade

I – Momento de Inercia

δ – Deslocamento da viga

Os aços no geral possuem propriedades mecânicas muito parecidas para efeito de cálculo, logo, será considerado um módulo de elasticidade $E = 200 \text{ GPa}$.

Com o $I = 85,8 * 10^6 \text{ mm}^4$, retirado da tabela de perfis comercial da Gerdau.

Desta maneira, temos o seguinte deslocamento máximo:

$$\delta = 11,7 \text{ mm}$$

δ de trabalho $< \delta_{max}$ respeitando o deslocamento máximo. Viga aprovada em análise de deslocamento.

3.8.5 Flambagem Local

3.8.5.1 Classificação da Seção da Viga

Iremos determinar a classificação da seção da viga, segundo a NBR8800:2008, conforme a flambagem local.

- a) Compacta $\lambda_b \leq \lambda_p$
- b) Semi compacta $\lambda_p < \lambda_b \leq \lambda_r$
- c) Esbelta $\lambda_r < \lambda_b$

Tabela 11– Valores limites de λ

	Aço	λ_p
Flambagem local da aba $\lambda_b = \frac{b_{aba}}{2 * t_{aba}}$	Geral	$0,38 * \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	MR250	10,7
	AR350	9,1
Flambagem local da alma $\lambda_b = \frac{b_{aba}}{2 * t_{aba}}$	Geral	$D * \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	MR250	106
	AR350	90

Fonte: ABNT 8800:2008, adaptado pelo autor (2022)

Sendo $D = 3,76$

Com isto, temos que:

Aba:

$$\lambda_b = 8,5$$

$$\lambda_b = 9,15$$

Alma:

$$\lambda_b = 46,6$$

$$\lambda_b = 90,5$$

Conclui – se que a seção é compacta.

3.8.5.2 Momento Resistente

O momento de resistência é definido pela equação:

$$M_r = \frac{Z * \sigma_e}{\gamma_{a1}}$$

M_r – Momento resistente

σ_e – Tensão de escoamento

γ_{a1} – Coeficiente de ponderação das resistências

Z - Modulo plástico da viga (encontrada na tabela de perfis comercial Gerdau)

$$Z_x = 615,4 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$Z_y = 134,9 * 10^3 \text{ mm}^3$$

E temos a tabela a seguir para encontrarmos o coeficiente de ponderação das resistências.

Tabela 12– Valores dos coeficientes de ponderação das resistências

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

^a Inclui o aço de fôrma incorporada, usado nas lajes mistas de aço e concreto, de pinos e parafusos.

Fonte: ABNT 8800:2008, adaptado pelo autor (2022)

$$M_{rx} = 193,0 \text{ kN.m}$$

$$M_{ry} = 42,3 \text{ kN.m}$$

O momento fletor resistente é maior que o momento fletor de trabalho. Viga aprovada em análise de flambagem lateral.

Após todas as análises finalizadas e aprovadas, o perfil selecionado está apto para ser utilizado como viga principal. Podendo observar os comparativos das simulações realizadas contra parâmetros máximos de atendimento na tabela 13

Tabela 13 - Comparativo de valor de trabalho vs valor admissível

Perfil Escolhido	W310x38,7		
	Valor de trabalho	Valor admissível	Percentual de atendimento
Tensão normal [Mpa]	62,7	230	27%
Tensão de cisalhamento [Mpa]	12,1	132,8	9%
Deslocamento [mm]	11,7	12,33	95%
Momento fletor [kN.m]	37,2	193	19%

Fonte: Autor (2022)

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposto uma ponte rolante para solucionar a movimentação de cargas em uma empresa hipotética do Polo Industrial de Manaus, no segmento de fabricação de pneus em virtude desses equipamentos serem capaz de realizar operação com precisão, agilidade e segurança.

Para a movimentação de cargas do cenário apresentado, foi dimensionada a viga principal da ponte rolante de acordo com a norma NBR 8400 e NBR 8800, onde estão apresentados critérios para o dimensionamento dessa estrutura. Foram, então, determinadas as cargas, os esforços, as tensões e as deformações que permitiram a seleção do perfil W310 X 38,7 comercializado pela Gerdau.

O perfil selecionado atende os requisitos normativos para as tensões normais e cisalhante, e também deslocamento máximo. Por fim, foi verificado a não ocorrência de flambagem lateral.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8400:1984 Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas. Brasil, ABNT. 1984.

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

BRAVO METAL, Univiga de uma ponte rolante. s/d. Imagem. Disponível em: <https://www.bravometal.com/caminho-de-rolamento/>. Acesso em: 24/02/2022

BREVIL, bi viga de uma ponte rolante. s/d. Imagem. Disponível em: <https://www.brevil.ind.br/produto/ponte-rolante-biviga> . Acesso em: 24/02/2022

BRITO, André Luis dos Santos. Projeto: Ponte rolante Univiga. Orientador: Marcio Rezende Santos. 2017. 45 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia mecânica, Instituto Federal de Minas Gerais, Arcos, 2017.

CSM Industria, Viga Principal da ponte rolante. s/d. Imagem. Disponível em: <http://www.csm.ind.br/wp-content/uploads/sites/18/2016/12/ponte-rolante-csm-galpao.jpg> . Acesso em: 26/03/2022

ECKERT, Eduardo. Dimensionamento da viga e trole transversal de uma ponte rolante para o núcleo de automação e processos de fabricação (NAFA). Orientador: Alexandre Aparecido Buenos. 2019. 79 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia mecânica, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 2019.

GERDAU. Tabela de bitolas. Disponível em: <http://www.gerdau.com.br/produtos-e-servicos/produtos-por-aplicacao-detalle-produto.aspx?familia=319> Acesso em: abril 2022.

HIBBELER, Russell Charles. Resistência dos materiais. 7.ed. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2015. 637. p.

HOVAM, Carro da ponte rolante. s/d. Imagem. Disponível em: <<https://www.hovam.com.br/trolley-para-talha-eletrica-hovam>>. Acesso em: 24/02/2022

INSTITUTO SANTA CATARINA, Ponte rolantes para movimentação de grandes cargas. s/d. Imagem. Disponível em: <https://www.institutosc.com.br/web/blog/6-cuidados-necessarios-para-operar-pontes-rolantes> . Acesso em: 26/03/2022

MICHELS, Ediun. Projeto Detalhado de uma Máquina de Elevação de Transporte. Orientador: Ricardo Ferreira Severo. 2011. 64 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia mecânica, Faculdade de Horizontina, Horizontina, 2012.

MONTEK PONTES ROLANTES, Talha. s/d. Imagem. Disponível em: <https://montekpontesrolantes.com.br/produtos/talhas-eletricas-de-cabo-de-aco/>. Acesso em: 24/02/2022

MORAES, Marcus Vinícius Amélio. Projeto conceitual e dimensionamento da estrutura de um pórtico rolante. Rondonópolis, 2013

MOVISERVI, Cabeceira. s/d. Imagem. Disponível em: <https://www.moviservi.com.br/produto/cabeceira/> . Acesso em: 24/02/2022

NASSAR, W. R. Apostila de Máquinas de Elevação e Transporte. Universidade de Santa Cecília - São Paulo. 2004.

PASSOS, L. d. Apostila: Técnicas de instalação, operação, manutenção testes e inspeção: pontes rolantes, guindastes giratórios e acessórios de movimentação de cargas. 2011

PFEIL, W. Estruturas de aço: dimensionamento prático. Rio de Janeiro: Livros Técnicos Científicos S.A, 2010

SORDI, Giovani. Dimensionamento da viga principal de uma ponte rolante. Orientador: Marcelo André Tos. 2016. 60 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia mecânica, Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2016.